

Министерство образования Республики Беларусь  
Министерство природных ресурсов  
и охраны окружающей среды Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Международный государственный экологический  
институт имени А. Д. Сахарова»  
Белорусского государственного университета



# **САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2021 ГОДА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА**

## **SAKHAROV READINGS 2021: ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE XXI CENTURY**

**Материалы 21-й международной научной конференции**

20–21 мая 2021 г.  
г. Минск, Республика Беларусь

В двух частях  
Часть 2

Минск  
МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
2021

УДК 504.75(043)  
ББК 20.18  
С22

Материалы конференции изданы при поддержке Департамента по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС  
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь  
и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований

**Редколлегия:**

*Батян А. Н.*, доктор медицинских наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Бученков И. Э.*, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Головатый С. Е.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Голубев А. П.*, доктор биологических наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Журавков В. В.*, кандидат биологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Зафранская М. М.*, доктор медицинских наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Киевицкая А. И.*, кандидат технических наук,  
доктор физико-математических наук, доцент МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Лавринович Т. А.*, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Пашинский В. А.*, кандидат технических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Петренко С. В.*, кандидат медицинских наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Плавинский Н. А.*, кандидат исторических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Попов Б. И.*, кандидат технических наук, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

**Под общей редакцией:**

доктора физико-математических наук, профессора *С. А. Маскевича*,  
кандидата технических наук, доцента *М. Г. Герменчук*

С22 **Сахаровские** чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2021 : environmental problems of the XXI century : материалы 21-й международной научной конференции, 20–21 мая 2021 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – Ч. 2. – 440 с.

ISBN

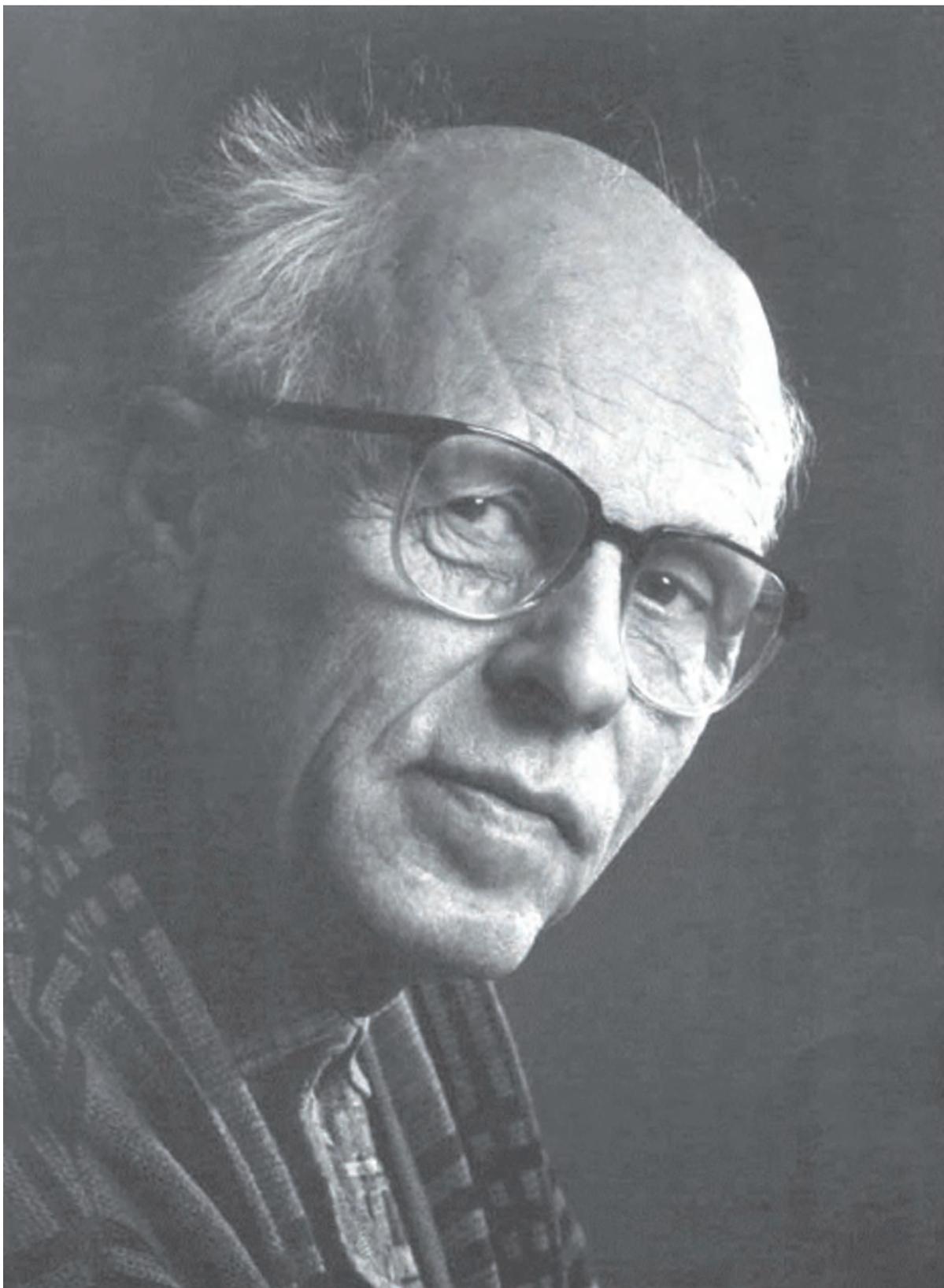
В сборник включены тезисы докладов по вопросам философии, социально-экономическим и био-этическим проблемам современности, образованию в интересах устойчивого развития, а также по медицинской экологии и биоэкологии. Рассматриваются аспекты радиобиологии, радиоэкологии и радиационной безопасности, информационных систем и технологий в экологии и здравоохранении, решения региональных экологических задач. Уделено внимание экологическому мониторингу и менеджменту, возобновляемым источникам энергии и энергосбережению.

Научные исследования рассчитаны на широкий круг специалистов в области экологии и смежных наук, преподавателей, аспирантов и студентов высших и средних учреждений образования.

УДК: 504.75(043)  
ББК 20.18

ISBN (ч. 2)  
ISBN (общ.)

© МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2021



**АНДРЕЙ ДМИТРИЕВИЧ САХАРОВ**  
(21 мая 1921–14 декабря 1989 г.)



Уважаемые участники и гости  
21-й международной научной  
конференции «Сахаровские чтения 2021  
года: экологические проблемы XXI века»!

От имени организационного комитета сердечно приветствую участников научного форума, который в этом году посвящен юбилейным датам: исполняется 100 лет Белорусскому государственному университету и 100 лет со дня рождения Андрея Дмитриевича Сахарова – академика, чье имя носит наш институт!

Программа проводимой в этом году конференции включает целый ряд вопросов: о роли науки в решении экологических проблем устойчивого развития; мирового противостояния COVID-19; развития ядерных технологий и обеспечения радиационной безопасности; эко-

логии и биомедицины; применения информационных систем и технологий для оценки и управления качеством окружающей среды.

В год 100-летнего юбилея Белорусского государственного университета важно признать необходимость продолжения развития традиций фундаментального образования, а также видения экологического образования как одного из главных ресурсов в укреплении национальной безопасности.

Участники конференции из 11-ти стран ближнего и дальнего зарубежья смогут плодотворно поработать в онлайн и офлайн режимах проведения конференции и обсудить важнейшие аспекты развития экологического образования в интересах устойчивого развития, определить современные требования к образовательным стандартам по специальностям экологического профиля, современные технологии обеспечения экологической безопасности.

Государственная политика Республики Беларусь направлена на повышение качества и уровня жизни ее граждан, дальнейшего роста их благосостояния, обеспечение мира и согласия в условиях устойчивого развития. В поиске ответов на глобальные экологические угрозы и вызовы, противостоять которым в одиночку не может ни одно государство – очень важен опыт коллег из других стран. Выносимые на обсуждение участники конференции вопросы никого из нас не могут оставить равнодушными, в современных условиях важно конструктивное взаимодействие и углубление сотрудничества учёных, всего экспертного сообщества.

Благополучие настоящих и будущих поколений в значительной степени зависит от того, насколько глубоко мы осознаем важность бережного отношения к природе, сохранения благоприятной окружающей среды, обеспечения экологической безопасности.

Полагаю, что наша международная научная конференция «Сахаровские чтения» всегда будет одной из самых значимых в Республике Беларусь научных площадок по изучению опыта, обмену знаниями и решению проблем экологического характера. В год знаменательных событий желаю всем участникам конференции продуктивной работы и выработки новых ориентиров развития науки в области экологии на благо будущих поколений.

Уверен, что работа конференции будет плодотворной и полезной, и вместе мы добьёмся значимых и достойных результатов!

Директор учреждения образования «Международный государственный  
экологический институт имени А.Д.Сахарова» Белорусского государственного  
университета, доктор физико-математических наук, профессор

С.А. Маскевич

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ  
В ПРОБЛЕМАХ МЕДИЦИНЫ**



# ВЛИЯНИЕ ФИБРИЛЛООБРАЗОВАНИЯ ИНСУЛИНА

## THE INFLUENCE OF INSULIN FIBRILLATION

**В. Ю. Абакумец, К. Я. Буланова**  
**V. Abakumets, K. Bulanava**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь*  
*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*  
*abakumecvika99@gmail.com*

Нарушение сворачивания белков приводит к тому, что развивается целый ряд системных и нейродегенеративных заболеваний – протеинопатии. При данных патологиях белки приобретают неправильную конформацию, отличную от нативной, становятся функционально неактивными, токсичными, склонными к агрегации и отложению в различных органах и тканях. время широко распространена гипотеза, согласно которой первичными цитотоксическими агентами при развитии протеинопатий являются олигомеры белков, которые склонны к агрегации. К группе данных заболеваний относятся болезнь Паркинсона, болезнь Крейтцфельда-Якоба, сахарный диабет 2-го типа и многие другие.

Violation of protein folding leads to the development of a number of systemic and neurodegenerative diseases-proteinopathy. In these pathologies, proteins acquire an incorrect conformation that differs from the native one, become functionally inactive, toxic, and prone to aggregation and deposition in various organs and tissues. There is a widespread hypothesis that the primary cytotoxic agents in the development of proteinopathies are protein oligomers that are prone to aggregation. These diseases include Parkinson's disease, Creutzfeldt-Jakob disease, type 2 diabetes, and many others.

*Ключевые слова:* инсулин, фибриллообразование, белок.

*Keywords:* insulin, fibrillation, protein.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-7-10>

Инсулин - является гормоном, который синтезируется поджелудочной железой с помощью особого типа клеток – бета-клетками [1]. Эти клетки локализуются в так называемых островках Лангерганса, которые исключая эти клетки, содержат и другие, например, синтезирующие гормон глюкагон, (D)-клетки, которые синтезируют соматостатин и F-клетки, продуцирующие панкреатический полипептид. Помимо этого, поджелудочная железа также участвует в пищеварении посредством выработки определенных ферментов. Данная функция не нарушена у людей с сахарным диабетом [1].

Инсулин очень необходим для нашего организма, так как механизм его действия для глюкозы подобен как ключик к замку, впускающий ее во внутрь клетки [1].

$\beta$ -клетки содержат в себе «глюкометр», он способен контролировать уровень глюкозы в крови, если он повышен - кровоток выходит достаточный объем инсулина. Потребляя пищу, уровень и концентрация инсулина в крови моментально увеличивается, что является важным для транспортировки глюкозы, полученной из пищи, в саму - это относится к людям, не страдающим сахарным диабетом. У таких людей глюкоза в норме не повышается более чем на 1-2 ммоль/л после еды [2].

Инсулин транспортируется кровью к разным клеткам организма и взаимодействует на их поверхности со специфическими рецепторами, в результате чего клетки приобретают проницаемость для глюкозы [3]. Но не все клетки организма нуждаются в инсулине как транспортера глюкозы. Есть так называемые «инсулиннезависимые» клетки, они способны адсорбировать глюкозу без содействия инсулина, по концентрационной зависимости глюкозы крови. Данные клетки локализуются в головном мозге, нервных волокнах, сетчатке глаза, почках и надпочечниках, также в сосудистой стенке и форменных элементах крови (эритроцитах) [2].

Образование фибрилл инсулина - это физический процесс, посредством которого частично развернутые молекулы инсулина взаимодействуют друг с другом, образуя линейные агрегаты. Экранирование гидрофобных доменов является основной движущей силой этого процесса, но образование межмолекулярного бета-листа может еще больше стабилизировать фибриллярную структуру [1]. Конформационное смещение С-конца В-цепи с экранированием неполярных остатков алифатического ядра, включая A2, A3, B11 и B15, играет решающую роль в процессе фибрилляции. Недавние исследования кристаллов и молекулярного моделирования показали, что при фибрилляции инсулина этот открытый домен взаимодействует с гидрофобным поверхностным доменом, образованным алифатическими остатками A13, B6, B14, B17 и B18, обычно скрытыми, когда три димера инсулина образуют гексамер. В экспериментах по иммунизации кроликов фибриллы инсулина не вызывали повышенного

иммунного ответа в отношении образования антител к инсулину IgG по сравнению с нативным инсулином. Напротив, IgE-ответ усиливался с увеличением содержания инсулина в фибриллярной форме. Рассмотрены стратегии и практические подходы к предотвращению образования фибрилл инсулином. Стабилизация гексамерной структуры инсулина и закупорка гидрофобных интерфейсов добавлением поверхностно-активных веществ являются наиболее эффективными средствами противодействия фибрилляции инсулина [1].

Белковые фибриллы - это полипептиды, которые богаты поперечной структурой  $\beta$ -листа и, как известно, нарушают нормальную функцию близлежащих клеток. Белковые фибриллы были связаны с более чем 20 заболеваниями человека, обычно классифицируемыми как амилоидоз, включая болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона, прионную болезнь и широкий спектр других заболеваний. В последнее время возрос интерес к пониманию влияния инженерных нано- и субмикронных частиц на фибрилляционное поведение белков. Есть две основные причины такого интереса. Во-первых, из-за патологической природы белковых фибрилл интенсивные исследования сосредоточены на поиске соединений, способных ингибировать их образование. В этой области наноматериалы стали потенциальными кандидатами, и в ряде исследований сообщалось об ингибировании фибрилляции различных белков при взаимодействии с инженерными наночастицами. Включение частиц субмикронного и нанометрового размера в различные промышленные и биомедицинские приложения привело к повышенному риску экспрессии. Поэтому с точки зрения нано-токсичности существует интерес к лучшему пониманию того, как наночастицы могут влиять на поведение фибрилляции белков. В результате влияние присутствия мелких частиц на поведение фибрилляции белков является предметом интереса уже более десяти лет [2]. В то время как большинство исследований было сосредоточено на влиянии частиц на фибрилляцию  $\beta$ -амилоида, из-за его роли в болезни Альцгеймера, влияние частиц на фибрилляцию других белков начинает привлекать внимание. Инсулин - это регулирующий гормон, который участвует в регуляции уровня глюкозы в крови и играет важную роль в метаболизме [3]. Инсулин состоит из 51 аминокислоты, состоящей из двух полипептидных цепей; A и B, с остатками 21 и 30 аминокислот соответственно. В A-цепи дисульфидная связь соединяет две цистеиновые аминокислоты (A6 и A11) [2]. Сама A-цепь связана с B-цепью двумя межцепочечными дисульфидными связями. Аминокислоты, связанные дисульфидными связями are A7-B7 и A20-B19. Инсулиновая фибрилляция была сообщена в местах повторных инъекций у пациентов с диабетом 2 типа и также может быть проблематичной во время производства и хранения белка. Считается, что фибрилляция инсулина происходит через механизм нуклеации - роста и усиливается условиями, способствующими денатурации белка. Несколько исследований показали, что мелкие частицы могут влиять на поведение фибрилляции инсулина [2]. Частицы, как сообщается, имеют разнообразные эффекты, начиная от стимулирования фибрилляции до отсутствия значительного влияния на фибрилляцию и, наконец, до ингибирования фибрилляции. В то время как эти исследования были проведены с различными частицами, отсутствие консенсуса в наблюдениях ясно указывает на необходимость лучшего понимания механизмов, связанных с индуцированными частицами изменениями фибрилляции инсулина. Настоящее исследование направлено на восполнение этого пробела путем изучения влияния полимерных субмикронных частиц полистирола (200 нм) с аминными и сульфатными поверхностно-функциональными группами на поведение инсулинофибрилляции как в экспериментах, так и на молекулярном уровне [3].

Фибриллообразование включает в себя 2 периода: лаг-период, в процессе которого происходит подготовка к формированию роста фибрилл и олигомеров разного размера. Важным моментом является изучение олигомерных образований так как очень важен для построения и понимания функционирования фибриллообразования [3]. Олигомеры представляют собой малые мультимеры, которые еще не способны удлиняться с такой же скоростью, как и фибриллы. Олигомеры различного размера, от димеров - более токсичные промежуточные вещества на пути образования фибрилл по отношению к зрелым фибриллам.

Особенности в структуре олигомеров и фибрилл все еще довольно активно для изучения. Например, молекулярный состав, кислотность среды, температура, активность перемешивания препарата и т.д. - являются главными факторами, которые влияют на скорость формирования олигомеров и фибрилл [4].

В настоящее время известно, что возникновение нестабильных олигомеров разного размера предшествует появлению фибрилл, а также не до конца ясно, какой из образовавшихся олигомеров сможет послужить компонентом для дальнейшего роста фибриллы [2]. Нельзя исключать того момента, что различная морфология фибрилл может явиться следствием похожих, но не идентичных путей образования зрелых фибрилл. Отличительные особенности могут появляться на начальных стадиях формирования фибрилл, в том числе и на стадии нуклеации.

Было показано, что в процессе начального периода формирования фибрилл могут образовываться промежуточные агрегаты белков, которые в свою очередь, зачастую имеют круглую форму и диаметр, схожий с одиночной фибриллой. При достаточно большом увеличении можно увидеть, что данные олигомерные составные имеют кольцевую структуру [5]. При увеличении времени инкубации препаратов белков, олигомерные соединения пропадают и остаются только зрелые фибриллы. Их длина увеличивается, а полиморфизм усиливается. Возникают крупные кластеры фибрилл различного диаметра [5].

Для амилоидных фибрилл свойственно такое явление как полиморфизм, когда фибриллы могут приобретать различную морфологию (жгуты, плёнки, кластеры фибрилл). Явление полиморфизма амилоидных фибрилл может явиться барьером в процессе их кристаллизации, исходя из чего, для подробного изучения их структуры могут применяться различные биофизические методы исследования. Большое количество информационного материала о структурной организации фибрилл было получено с помощью методов исследования: ЯМР твердого

тела, ЭМ, АСМ, крио-ЭМ, рентгеноструктурного анализа и с помощью применения теоретических методов исследования - молекулярная динамика и молекулярное моделирование [2]. Аналогично, с помощью метода ЯМР твердого тела были получены и модели фибриллярных структур Аβ (1–40) и Аβ (1–42) белков. Учеными было показано, что структура Аβ (1–42) имеет колоссальные различия от структуры Аβ (1–40) исходя из того, что удлинение С-конца на два аминокислотных остатка привело к скорости процесса фибриллообразования [4].

Что касается структурных особенностей амилоидных фибрилл - они в среднем имеют диаметр примерно 10 нм, а что касается длины, она может достигать 15 мкм. Одна амилоидная фибрилла может состоять из 2–6 филаментов и при этом иметь различную морфологию. Они могут принимать вид ленты в латеральном направлении, пучка, могут перекрещиваться с различным периодом. Рентгеноструктурный анализ амилоидных структур может показать наличие кросс-β структуры, которая характеризуется построением фибрилл из β-листов, параллельно направленных вдоль всей оси фибриллы. Сам β-лист состоит из β-тяжей, проходящих перпендикулярно оси фибриллы. Именно данная трактовка структурной организации фибрилл сейчас принята во внимание [3]. В настоящее время нет конкретного правильного молекулярного строения амилоидных фибрилл для различного рода белков. Однако, существуют и другие гипотезы о структурной организации данных структур. Олигомеры - неизменным участником процесса фибриллообразования.

Стоит упомянуть, что в большом количестве работ по исследованию инсулина предполагается, что механизм фибриллообразования данного белка на молекулярном уровне может колоссально различаться от структуры самих амилоидных фибрилл из ряда других фибриллярных и синтетических полипептидов. Можно привести пример, что полипептидные цепи могут быть укомплектованы в плоскостях, параллельных оси фибрилл и формировать бета-листы, которые в свою очередь будут расположены перпендикулярно оси фибриллы [2]. Можно сделать вывод, что рентгеноструктурные данные анализа неоднозначны и может потребоваться более точная их расшифровка. Также недавно была получена информация о белке транстеритине, который в амилоидных фибриллах упакован в своей нативной конформации [5].

Что касается влияния гликозилированного инсулина на фибриллообразование, то существуют случаи, когда в организме понижена концентрация глюкозы, соответственно воспроизводство инсулина замедляется, вплоть до полной остановки, тем самым сберегая глюкозу для более значимых органов. Люди с сахарным диабетом и повышенной концентрацией глюкозы в крови, у них инсулиннезависимые клетки будут потреблять достаточно огромное число глюкозы, по итогу, все это может привести к неисправности клеток и, соответственно, к дисфункции органа или же организма в целом [2].

Организму требуется относительно не большое количество инсулина, чтобы получать глюкозу, высвобождающуюся из печени. Этот процесс называется «базальной» секрецией инсулина [3]. Люди, не страдающие сахарным диабетом, число данного инсулина насчитывается примерно 30-50% от общего количества суточного инсулина. Помимо этого, есть «стимулированная» секреция инсулина, который синтезируется на прием пищи [3].

Достаточное количество углеводов, присутствующих в еде, которую мы потребляем, депонируется в печени в виде гликогена (это углевод, склонный достаточно быстро разрушаться с образованием глюкозы). Если человек есть намного больше нормы, то данный избыток углеводов переходит в жиры, которые в свою очередь депонируются в жировой ткани [2]. Не мало важно, что наш организм имеет абсолютную вероятность накопления жира. Что касается белков, они используются в нашем организме разными тканями, но нет конкретного места хранения. Печень способна вырабатывать глюкозу не только из гликогена, но также и из аминокислот, к примеру, если вы не потребляли пищу на протяжении длительного времени [2]. И при этом совершается деградация тканей.

Различные работы с амилоидными белками – инсулином, лизпро инсулином, Аβ (1–42) и Аβ (1–40) пептидами, их амилоидогенными фрагментами (Аβ (16–25), Аβ (31–40), Аβ (33–42)), а также амилоидогенными фрагментами белка клеточной стенки дрожжей Bgl2 (GluNB, AspNB) показали, что главным строительным блоком при образовании фибрилл является кольцевой олигомер. Он взаимодействует с другим кольцевым олигомером боковыми сторонами, зачастую немного перекрывая один другого [2]. При этом имеются различия в структуре олигомеров различных белков на молекулярном уровне. Исходя из данных по моделированию, структуры кольцевых олигомеров имеют в себе малые фрагменты β-листов. Наибольшее количество данных фрагментов может наблюдаться при рентгеноструктурном анализе, давать рефлексы, характерные для кросс-β структуры [3].

Так же можно предположить, что общее представление о структуре амилоидогенной фибриллы, как о полимере, построенном из β-листов, идущих параллельно вдоль всей оси фибриллы (сами β-листы сформированы из β-участков перпендикулярных оси фибриллы) подлежит более внимательному анализу. Думаем, что следует промоделировать картину дифракции от кольцевых олигомерных структур, с параметрами, полученными из ЭМ анализа и с привлечением данных о молекулярной структуре олигомеров, рассчитанных с помощью теоретических методов [6]. Уже накопилось достаточно данных, которые свидетельствуют, что структура амилоидных фибрилл может быть иной. Исходя из общепринятого взгляда на структурную организацию фибрилл, сложно представить механизм формирования фибрилл и возможность существования проходящего вдоль всей фибриллы β-листа. Кроме того, трудно объяснить полиморфизм фибрилл, их ветвление и дробление. Из полученных нами данных по изучению фибриллообразования различных амилоидогенных белков/пептидов на данный момент можно предположить, что основным строительным блоком для формирования фибрилл является кольцевой олигомер с параметрами и структурой, свойственной соответствующему белку. Ассоциация таких кольцевых олигомеров различным способом приводит к формированию фибрилл разной морфологии [5].

Подводя итог можно сказать, что повышенный уровень сахара в крови (гипергликемия), наблюдаемый при сахарном диабете, сопровождается ускоренным гликированием белков как неферментативный процесс [3]. При гликировании белка альдегидные или кето-группы восстанавливающих сахаров обратимо реагируют со свободными аминокетильными группами белка (известная как реакция Майяра) с образованием оснований Шиффа, а затем необратимой перегруппировкой (перегруппировка Амадори) с образованием конечных продуктов гликирования или AGEs.

Гликирование белков приводит к образованию  $\beta$ -конформации, которая склонна к образованию токсичных агрегатов, известных как растворимые амилоидные прото-фибриллы, которые в конечном итоге становятся нерастворимыми фибриллами. Более того, во время процессов гликирования и фибрилляции образуются повреждающие свободные радикалы, такие как активные формы кислорода (АФК). Поскольку прото-фибриллы и свободные радикалы вместе инициируют события, которые могут вызывать повреждение мембран, вызывая, таким образом, апоптотический ответ и гибель клеток, они известны как причинные факторы апоптоза микроглии, невропатии и развития болезни Альцгеймера (БА) у диабетиков [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Toward understanding insulin fibrillation/ J Brange [ed al.]// journal - 1997 - №86 – p.17-25.
2. Исследование процесса амилоидобразования  $\alpha\beta$  пептида/ Галзитская О. В. [и др.]// сб. научн. ст./ Институт белка РАН, Пушкино, Московская область. – Москва, 2018. – с.133-172.
3. Novel mechanistic insight into the molecular basis of amyloid polymorphism and secondary nucleation during amyloid formation/ Jeong, J.S [ed al.]// journal – 2013 – №425 – p. 1765-1781.
4. How to determine the size of folding nuclei of protofibrils from the concentration dependence of the rate and lag-time of aggregation. Experimental application for insulin and LysPro insulin: aggregation morphology, kinetics, and sizes of nuclei/ Selivanova [ed al.]// journal – 2014 - №118 – p.1198-1206.
5. Amyloid. A protein related to the subunit structure of human amyloid fibrils/ Benditt, E.P. [ed al.]// journal Proc. Natl. Acad. Sci. USA – 1966 - №55 – p.308-316.

## ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ И ПРОФИЛАКТИКА РАКА ЛЕГКИХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ INCIDENCE AND PREVENTION OF LUNG CANCER IN THE REPUBLIC OF BELARUS

**О. С. Аксёненко**

**O. S. Aksenenko**

*Белорусский государственный университет МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
grebczovao@mail.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Проведен статистический анализ заболеваемости раком легких в период с 2013-2019 года и профилактика рака легких. Изучены и проанализированы базы данных Минского городского клинического онкологического диспансера за 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 года.

A statistical analysis of the incidence of lung cancer in the period from 2013-2019 and the prevention of lung cancer was carried out. The databases of the Minsk City Clinical Oncology Dispensary were studied and analyzed for 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 years.

*Ключевые слова:* заболеваемость раком легких, методы диагностики и лечения, выживаемость пациентов.

*Key words:* lung cancer incidence, diagnostic and treatment methods, patient survival.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-10-13>

Рак легких относится к одной из самых распространенных злокачественных опухолей. Рак легких – одна из главных причин смертности на земле. В среднем на 100 зарегистрированных случаев этого заболевания 72 человека умирают в течение первого года после постановки диагноза. По статистике каждый 14-й человек сталкивался или столкнется с этим заболеванием в своей жизни. Чаще всего раку легких подвержены лица пожилого возраста. Примерно в 70% случаев рак легких наблюдается в возрасте выше 65 лет. Люди моложе 45 лет редко подвержены данному заболеванию, их доля в общей массе больных раком составляет всего 3% [1].

Для объяснения такого роста заболеваемости раком легких предложены различные концепции. Предрасполагающие факторы изучены весьма подробно. Основное внимание уделено следующим двум факторам, влияние которых считается общепризнанным:

Первый фактор связан с усилением загрязнения атмосферного воздуха, которое во всех промышленно развитых странах за последние десятилетия стало больше, что связано с повседневным увеличением выброса продуктов неполного сгорания угля, топливных масел, бензина, различных газов и пыли, образующейся, к примеру, при трении автомобильных шин о битумное покрытие дорог.

Вторым важным фактором считают потребления табака. Достоверно отмечено, что у городского населения и особенно у жителей крупных и задымленных городов чаще отмечается рак легких, чем у жителей сельской местности. Мужчинам в возрасте более 40 лет чаще присуще данное заболевание, в сравнении с женщинами. 1/2 курящих мужчин и женщин находится в списке с раком легких среди всех заболевших данной патологией.

Рак лёгкого является собирательным понятием, включающим различные по происхождению, гистологической структуре, клиническому течению и результатам лечения злокачественные эпителиальные опухоли. Такие новообразования способны развиваться из покровного эпителия слизистой оболочки бронхов, желёз бронхиол и лёгочных альвеол. Отличительными признаками рака лёгкого являются многообразия клинических форм, склонность к раннему рецидиву, лимфогенное и гематогенное метастазирование

Актуальность данного исследования связана с широким распространением заболеваемости раком легких среди населения Республики Беларусь [2].

Целью настоящего исследования явилось проведение статистического анализа заболеваемости раком легких в период с 2013-2019 года и профилактика рака легких. Изучены и проанализированы базы данных Минского городского клинического онкологического диспансера за 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 года. Проведены: анализ статистических данных о заболеваемости раком легких среди пациентов Минского городского клинического онкологического диспансера за 2013-2019 года; анализ диагностики и методов лечения среди исследуемой группы за 2019 год; анализ симптомов и факторов риска у исследуемой группы пациентов за 2019 год [3].

Определить среднюю можно через исходное соотношение средне или ее логическую формулу:

$$\text{ИСС} = \frac{\text{Суммарное значение или объем осредняемого признака}}{\text{Число единиц или объем совокупности}}$$

*Таблица 1 – Соотношение заболеваемости раком легких среди женщин и мужчин, в % на территории Республики Беларусь (2013-2019 гг.)*

Год исследования	Женщины	Мужчины
2013	17	83
2014	15	85
2015	20	80
2016	14	86
2017	19	79
2018	15	85
2019	23	77
Средний показатель, в %	17,9	82,1

Исходя из полученных данных в таблице видно, что среди пациентов, болеющих раком легких, преобладают мужчины (средний показатель составил 82,1%). Средняя заболеваемость среди женщин от общего количества составила 17,9%. Следовательно, женщины болеют раком легкого в 5 раз реже, чем мужчины (таблица 1).

*Таблица 2 – Возраст пациентов, болеющих раком легких, в % на территории Республики Беларусь (2013-2019 гг.)*

	20–29	20–39	40–49	50–59	60–69	70–79	80–89	90–99
2013	–	–	7	34	32	23	4	–
2014	–	–	7	29	38	23	3	–
2015	–	–	8	30	45	16	1	–
2016	2	2	7	25	40	20	3	1
2017	–	–	5	31	40	21	3	–
2018	1	9	9	43	38	13	2	–
2019	–	1	8	51	29	10	–	1
Средняя заболеваемость, в %	0,5	2,0	7,2	32,0	38,3	17,1	2,7	0,2

Проведен расчет по возрасту пациентов, болеющих раком легких, и также выведена средняя заболеваемость, в %. Исходя из полученных данных, становится очевидным, что пик заболеваемости в 2013 году приходится на возраст 50-59, 60-69 и 70-79 лет (в порядке убывания) (таблица 2).

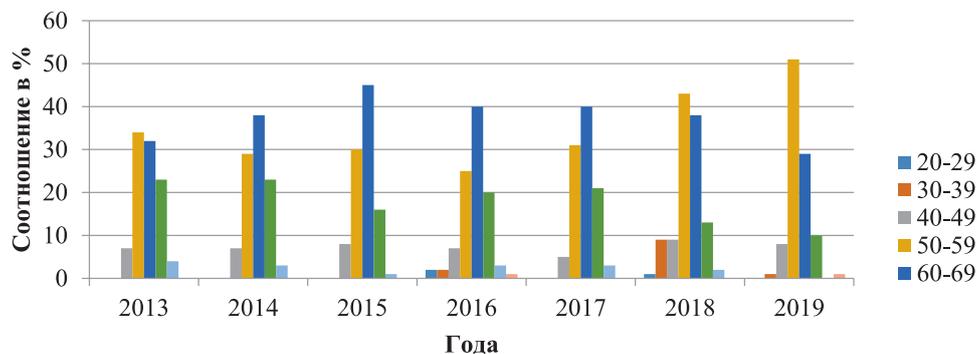


Рисунок 1 – Соотношение заболеваемости раком легкого среди пациентов по годам и возрасту в Республике Беларусь

В 2014 году пик заболеваемости приходился на возраст 60-69, 50-59 и 70-79 лет. В 2015-2017 годах болели раком легких пациенты в возрасте 60-69, 50-59 и 70-79 лет. В 2018-2019 годах пик заболеваемости отмечался в возрасте 50-59 и 60-69 лет. Таким образом, наибольшая заболеваемость отмечается в возрасте 50-79 лет.

Таблица 3 – Средние показатели заболеваемости раком легкого в Республике Беларусь (2013-2019 гг.)

Вид рака	Средние показатели встречаемости за исследуемый период
Аденокарцинома	25,3
Бронхиоло-альвеолярная аденокарцинома	4,4
Железисто-плоскоклеточная карцинома	2,7
Злокачественная опухоль мелкоклеточная	0,3
Карцинома	3,4
Карцинома недифференцированная	0,3
Крупноклеточная нейроэндокринная карцинома	0,3
Крупноклеточная карцинома	0,4
Мелкоклеточная карцинома	12
Мелкоклеточная карцинома веретеноклеточная	0,1
Мукоэпидермоидная карцинома	0,4
Муцинозная аденокарцинома	0,6
Нейроэндокринная карцинома	4,1
Немелкоклеточная карцинома	3,8
Новообразование злокачественное	0,4
Опухолевые клетки злокачественные	6
Папиллярная карцинома	0,7
Папиллярная аденокарцинома	0,1
Папиллярная плоскоклеточная карцинома	0,3
Плоскоклеточная карцинома	31,8
Плоскоклеточная карцинома веретеноклеточная	0,3
Плоскоклеточная карцинома крупноклеточная неороговевающая	0,6
Плоскоклеточная карцинома ороговевающая	0,1
Плоскоклеточная карцинома мелкоклеточная неороговевающая	0,1
Слизепродуцирующая аденокарцинома	0,4
Солидная карцинома	0,4
Другие методы диагностики	0,7

Исходя из данных, в приведенной таблице, чаще всего причина возникновения рака обусловлена следующими видами рака легких (в среднем): плоскоклеточной карциномой (31,8%), аденокарциномой (25,3%) и мелкоклеточной карциномой (12%). Остальные виды рака встречаются достаточно редко (таблица 3).

Таблица 4 – Соотношение выживаемости пациентов  
Минского городского клинического онкологического диспансера (2013-2019 гг)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Средние показатели, в %
Летальный исход	67	61	60	60	43	47	61	57
Жив	33	39	40	40	67	53	39	43

Был проведен расчет по выживаемости пациентов Минского городского клинического онкологического диспансера (2013-2019 гг).

Срок жизни у пациентов составлял:

2013 – от 1 до 62 месяцев;

2014 – от 0 до 32 месяцев;

2015 – от 0 до 40 месяцев;

2016 – от 0 до 28 месяцев;

2017 – от 0 до 19 месяцев.

2018 – от 1 до 39 месяцев;

2019 – от 0 до 33 месяцев (таблица 4).

Тема исследования рак легких довольно актуальна в настоящее время, об этом свидетельствует статистика по заболеваемости злокачественными новообразованиями. Актуальность темы исследования также обусловлена тяжелым течением заболевания и высокой смертностью.

Отмечается рост заболеваемости населения Республики Беларусь раком легких. Средний показатель заболеваемости раком легкого среди мужчин составил 82,1 %, а средняя заболеваемость среди женщин от общего количества составила 17,9%.

Наиболее значимым факторами риска развития рака легкого являются табакокурение, возраст старше 50 лет, а также легочные заболевания и радиоактивное излучение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Демидчик, Ю. Е. Рак легкого / Ю. Е. Демидчик // Белорусский медицинский журнал. - 2002. - № 1. - С. 18-23.
2. Михайлов, А.Н. Современные подходы к оценке опухолевой регрессии при лучевой терапии рака легкого / А.Н. Михайлов, С.А. Хоружик, В.А. Ковалев // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. мед. навук. – 2005. – № 3. – С. 111– 117.
3. Хоружик, С.А. Трехмерная конформная лучевая терапия при раке легкого в Польском институте онкологии имени Марии Склодовской-Кюри в Варшаве / С.А. Хоружик., Л.Кепка, А.Н.Михайлов // Актуальные вопросы лучевой диагностики: Материалы науч.-практ. конф., Минск, 5 нояб. 2001 г. – Минск, 2001. – С. 94–96.

## МИКРОЭЛЕМЕНТОЗЫ ПРИ ОСТЕОАРТРИТАХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ MICROELEMENTOSIS IN OSTEOARTHRITIS UNDER CONDITIONS OF HIGH ANTHROPOGENIC LOAD

**A. M. Башура<sup>1</sup>, И. В. Коктыш<sup>1</sup>, В. Т. Коктыш<sup>2</sup>  
N. Bashura<sup>1</sup>, I. Koktysh<sup>1</sup>, V. Koktysh<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>11-ая городская клиническая больница г. Минска, г. Минск, Республика Беларусь,  
anstashion1998@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus,  
<sup>2</sup>11 Minsk city clinical hospital, Minsk, Republic of Belarus

Исследовано содержание микроэлементов марганца (Mn), железа (Fe), хрома (Cr), молибдена (Mo), цинка (Zn), меди (Cu) в периферической крови и синовиальной жидкости у 26 пациентов с остеоартритом. Установлено снижение концентрации Mn (p=0,02) и Fe (p=0,02) и снижение Zn (p=0,01) в периферической крови и повышение концентрации Fe (p=0,01) и Zn (p=0,02) в синовиальной жидкости у пациентов с остеоартритом при сравнении с контрольной группой. Выявлено статистически значимое повышение концентрации Mn (p=0,001), Cr (p=0,01), Zn (p=0,002) и Fe (p<0,05) в периферической крови и снижение концентрации Fe (p=0,001) и Mn (p=0,001) в синовиальной жидкости у пациентов с гонартрозом по сравнению с пациентами

с коксартрозом. Анализ микроэлементного состава синовиальной жидкости и периферической крови можно использовать в комплексной диагностике пациентов с остеоартритами.

The content of trace elements (manganese (Mn), iron (Fe), chromium (Cr), molybdenum (Mo), zinc (Zn), copper (Cu) in peripheral blood, and synovial fluid in 26 patients with osteoarthritis was studied. A decrease in the concentration of Mn ( $p = 0,02$ ) and Fe ( $p = 0,02$ ) and a decrease in Zn ( $p = 0,01$ ) in the peripheral blood and an increase in the concentration of Fe ( $p = 0,01$ ) and Zn ( $p = 0,02$ ) in the synovial fluid in patients with osteoarthritis when compared with the control group. A statistically significant increase in the concentration of Mn ( $p = 0,001$ ), Cr ( $p = 0,01$ ), Zn ( $p = 0,002$ ) and Fe ( $p < 0,05$ ) in the peripheral blood and a decrease in the concentration of Fe ( $p = 0,001$ ) and Mn ( $p = 0,001$ ) in synovial fluid in patients with gonarthrosis compared with patients with coxarthrosis. Analysis of the trace element composition of synovial fluid and peripheral blood can be used in the complex diagnosis of patients with osteoarthritis.

*Ключевые слова:* остеоартрит; гонартроз; коксартроз; микроэлементы; периферическая кровь; синовиальная жидкость.

*Keywords:* osteoarthritis; gonarthrosis; coxarthrosis; trace elements; peripheral blood; synovial fluid.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-13-16>

В Республике Беларусь наблюдается тенденция к увеличению заболеваемости дегенеративными заболеваниями суставов в том числе и в результате усиливающихся неблагоприятных воздействий городской среды. Остеоартрит в настоящее время является одной из самых главных проблем в ревматологии и ортопедии. На долю остеоартрита приходится 60% от всех костно-мышечных патологий. Остеоартрит рассматривается как мультифакториальное заболевание, при котором наблюдается дегенеративно-воспалительные изменения во всех структурах сустава. Основными факторами риска развития остеоартрита являются возраст старше 45 лет, женский пол, избыточная масса тел, а также различного рода травмы.

Анализ микроэлементного состава может быть одним из методов ранней диагностики остеоартрита. Микроэлементы могут играть роль кофакторов, участвующих в процессах артикулярного воспаления, а также влиять на функционирование клеточного состава и гомеостаза суставов. Нарушение микроэлементного состава организма может вызвать различные воспалительно-дегенеративные изменения в костно-мышечной системе, увеличивает риск переломов и процесс резорбции кости [1].

Поэтому диагностика микроэлементного состава биологических жидкостей с целью определения концентрации химических элементов в организме человека необходима для оценки развития и прогрессирования костно-мышечной патологией, а также для коррекции питания таких пациентов.

Информативными маркерами воздействия микроэлементов на ранней стадии клинической диагностики микроэлементозов принято считать цельную кровь и синовиальная жидкость, которые способны депонировать и накапливать микро- и макроэлементы.

Цель исследования: установить особенности содержания микроэлементов в периферической крови и синовиальной жидкости при остеоартритах для определения экологических факторов риска развития данной патологии.

Материалом исследования послужила периферическая кровь и синовиальная жидкость с информированного согласия 26 пациентов с гонартрозом и коксартрозом, проходящих лечение в 11-й городской клинической больнице, а также периферическая кровь и синовиальная жидкость 10 пациентов с отсутствием заболеваний опорно-двигательного аппарата, которые послужили контрольной группой сравнения. Обследованные пациенты – жители крупного промышленного города (г. Минска).

Забор периферической крови и синовиальной жидкости проводился в асептических условиях во время оперативного вмешательства (эндопротезирование суставов, артроскопия) в пробирки с литиевой солью гепарина. Дальнейшая подготовка образцов включала минерализацию образцов с использованием системы микроволновой пробоподготовки Milestone Ethos E (Италия). Условия минерализации (температура, давление, время и др.) устанавливали согласно стандартным протоколам фирмы-производителя. Концентрацию микроэлементов определяли с помощью атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ICPE-9000, Shimadzu, Япония), используя стандартные растворы ГСО и фирмы «Merck». Построение калибровочных графиков, расчет концентрации анализируемых образцов, оценка статистических параметров измерения производилась автоматически программным обеспечением «ICPEsolution». Статистический анализ полученных результатов проведен непараметрическими методами в программе «STATISTICA 8».

Проведена сравнительная оценка содержания марганца (Mn), железа (Fe), хрома (Cr), молибдена (Mo), цинка (Zn), меди (Cu) в периферической крови и синовиальной жидкости у пациентов с остеоартритом с контрольной группой сравнения.

У пациентов с остеоартритами выявлено изменение микроэлементного состава периферической крови. Установлено статистически значимое снижение концентрации марганца и железа, а также увеличение уровня цинка в периферической крови по сравнению с аналогичными показателями в контрольной группе сравнения ( $p < 0,05$ , соответственно, таблица 1).

Сравнительная оценка микроэлементного состава синовиальной жидкости в исследуемых группах выявила статистически значимое повышение концентрации железа ( $p=0,006$ ) и цинка ( $p=0,02$ ) при деформирующих заболеваниях суставов. Уровень меди в периферической крови и синовиальной жидкости при остеоартритах значимо не изменяется.

Таблица 1 – Содержание микроэлементов в периферической крови и синовиальной жидкости у пациентов с остеоартритом

Микроэлемент, мкг/г	Периферическая кровь		Синовиальная жидкость	
	Остеоартрит	Контроль	Остеоартрит	Контроль
Mn	0,643 [0,638;0,647] <b>p = 0,02</b>	0,646 [0,644; 0,65]	0,131 [0,124; 0,139]	0,112 [0,120; 0,125]
Fe	510,0 [462,8; 558,9] <b>p = 0,02</b>	650,4 [572,4; 673,8]	100,2 [50,85;149,55] <b>p = 0,006</b>	0,8 [0,7; 88,8]
Cr	0,04 [0,02;0,06]	0 [0;0]	0,002 [0,001; 0,003]	0 [0;0]
Mo	0,279 [0,228;0,33]	0,403 [0;1,947]	0,039 [0,019;0,06]	0 [0;0]
Cu	0 [0; 0,89]	0 [0; 10,855]	0 [0; 0,149]	0 [0;1,151]
Zn	3,358 [2,825; 4,608] <b>p = 0,01</b>	2,771 [2,552; 4,141]	0,536 [0,021; 1,22] <b>p = 0,02</b>	1,454 [0; 3,805]

Примечание: указаны медианы и процентиля [25%; 75%]

Доказано влияние нарушения концентрации железа в развитии заболеваний костно-мышечной патологии. В частности, дефицит ионов железа приводит к нарушению гомеостаза костной ткани: нарушается как формирование костной ткани, так и ее резорбция, что приводит к снижению минеральной плотности кости, изменению архитектуры и снижению ее прочности. При дефиците железа наблюдается также и снижение сывороточных концентраций 1,25-дигидрокальциферола, инсулиноподобного фактора роста-1 и остеокальцина. Изменения в работе костной ткани наблюдаются и при избытке железа в периферической крови или синовиальной жидкости. Повышенная концентрация железа может быть связана с различными типами остеопороза, усилением резорбции костной ткани, ухудшением биомеханических свойств кости и увеличением риска переломов. При избытке железа наблюдается изменение в метаболизме как остеобластов, так и остеокластов. В остеобластах повышенная концентрация железа оказывает антагонистическое действие на преостеобластные клетки, нарушая дифференцировку клеток. Помимо этого, наблюдается повышение производства активных форм кислорода при избыточной концентрации железа. Этот эффект связывают с высоким уровнем сывороточных факторов роста и остеооптина, которые стимулируют работу остеокластов [2].

Марганец является эссенциальным элементом для человека. Данный микроэлемент обеспечивает развитие соединительной ткани, хрящей и костей. Супероксиддисмутаза марганца защищает остеобласты от активных форм кислорода, выделяемых остеокластами. Также марганец является важным кофактором для гидролаз и трансфераз, участвующих в синтезе протеогликанов хрящевой ткани. Помимо этого, участвует в регуляции обмена витаминов С, Е, группы В, холина и меди. Дефицит данного микроэлемента, по некоторым исследованиям, приводит к нарушению работы инсулиноподобного фактора роста 1 (ИФР-1) [3].

Цинк относится к эссенциальным микроэлементам с широким спектром действия и принимает участие в обмене белков и углеводов, который связан с действием, как цинксодержащих ферментов, так и ферментов, активируемых цинком. Помимо этого, цинк стимулирует пролиферацию и дифференцировку остеобластов, регулирует активность витамина D, предотвращает резорбцию костной ткани. Результаты некоторых исследований подтверждают такое свойство цинка, как блокировка апоптоза клеток различного происхождения и его эффект связан преимущественно с блокадой активности кальция и магния. Кроме этого, цинк принимает участие в процессах деления и дифференцировки различного типа клеток и функционировании многих антиоксидантных ферментов. Другие микроэлементы могут взаимодействовать с цинком и тем самым влиять на метаболизм кости. Например, повышенное потребление цинка может усугубить костные поражения, вызванные низким содержанием меди, но ослабить токсические скелетные эффекты кадмия, ванадия, германия, селена и алюминия. Цинк также может изменять гормональные влияния на метаболизм костной ткани [3].

Проведена сравнительная оценка содержания микроэлементов в периферической крови и синовиальной жидкости у пациентов с деформирующими повреждениями тазобедренного и коленного суставов.

Для гонартроза характерно повышение концентрации марганца ( $p=0,001$ ), хрома ( $p=0,014$ ) и железа ( $p<0,05$ ) в периферической крови по сравнению с аналогичными показателями у пациентов с коксартрозом (таблица 2).

В то же время анализ микроэлементного состава показал снижение концентрации железа ( $p=0,001$ ) и марганца ( $p=0,001$ ) в синовиальной жидкости у пациентов с гонартрозом по сравнению с показателями пациентов с коксартрозом (таблица 2). При этом концентрация цинка в синовиальной жидкости увеличена у пациентов с коксартрозом ( $p=0,008$ ).

Таблица 2 – Микроэлементный состав периферической крови и синовиальной жидкости при гонартрозах и коксартрозах

Микроэлемент, мкг/г	Периферическая кровь		Синовиальная жидкость	
	Гонартроз	Коксартроз	Гонартроз	Коксартроз
Mn,	0,646 [0,637; 0,656] <b>p = 0,001</b>	0,633 [0,631; 0,646]	0,116 [0,112; 0,119] <b>p = 0,001</b>	0,146 [0,120; 0,166]
Fe	609,9 [590,9; 635,9] <b>p &lt; 0,05</b>	414,7 [380; 470,4]	1,5 [0; 10,2] <b>p = 0,001</b>	198,9 [54,1; 309]
Cr	3,19 [1,71; 3,83] <b>p = 0,014</b>	0,08 [0,02; 0,455]	0 [0; 0,048]	0,004 [0; 0,28]
Mo	0,51 [0,09; 2,80]	0,38 [0; 0,53]	0 [0; 0,15]	0,08 [0; 0,62]
Cu	0 [0; 0,228]	0 [0; 0]	0 [0; 0,499]	0 [0; 0]
Zn	3,47 [1,94; 4,18] <b>p = 0,015</b>	3,25 [3,22; 5,88]	0,11 [0; 0,05]	2,68 [0,54; 4,82] <b>p = 0,008</b>

Примечание: указаны медианы и процентиля [25%; 75%]

Не установлено изменение концентрации меди в периферической крови и синовиальной жидкости в исследуемых группах.

Медь входит в состав цитохромоксидазы, тироназы и других ферментов. Их биологическая роль связана с процессами гидроксирования, переноса кислорода, электронов и окислительного катализа. Около 95 % меди в организме присутствует в составе гликопротеина крови церулоплазмينا, который играет важнейшую роль в механизмах антиоксидантной защиты. Помимо этого, медь является кофактором такого фермента, как лизилоксидаза, который выполняет функцию сшивания коллагена и эластина. Недостаток меди в цепи реакций метаболизма приводит к естественному для здорового организма синтезу соединительной ткани. Дефекты эластина и соединительной ткани сосудов и синтеза скелетного коллагена, наблюдаются у людей с дефицитом меди и являются следствием сопутствующего снижения аминоксидазной активности в тканях.

Избыток меди приводит к ее накоплению в костной ткани, подавлению остеобластической и остеокластической функции, изменениям в суставной хряще и приводит к нарушению гомеостаза всего сустава. Медь подавляет функции остеобластов и остеокластов, что приводит к низкому костному обороту.

Молибден входит в состав многих ферментов (альдегидоксидазы, сульфитоксидазы, ксантиоксидазы). Недостаток молибдена в организме вызывает нарушение функционирования данных ферментов, в частности, уменьшением содержания в тканях организма ксантиоксидазы приводит к нарушению обмена мочевой кислоты. Тиомолибдат аммония является антагонистом меди и нарушает ее утилизацию в организме [3].

Исследования *in vitro* показали, что ионы хрома вызывают остеолит, усиливая резорбцию костной ткани, и уменьшают процессы остеобразования. Уменьшение остеобразования может быть опосредовано цитотоксическим действием на остеобласты, которое снижает пролиферацию, подавляет высвобождение остеокальцина и снижает активность щелочной фосфатазы. Также было обнаружено, что ионы хрома нарушают высвобождение цитокинов из остеобластов, способствуя пролиферации преостеокластов и созреванию в активные остеокласты, что в конечном итоге увеличивает резорбцию кости [2].

Полученные результаты свидетельствуют об изменениях в содержании микроэлементов в синовиальной жидкости и периферической крови у пациентов с деформирующими заболеваниями суставов. Таким образом, можно установить взаимосвязь между содержанием таким микроэлементов, как кальций, железо, цинка, марганца, молибдена и хрома и развитием остеоартрита, а также участия в прогрессировании заболевания.

Анализ микроэлементного состава синовиальной жидкости и периферической крови можно использовать в комплексной диагностике пациентов с деформирующими заболеваниями суставов, а также прогнозировании течения заболевания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Trace elements have beneficial, as well as detrimental effects on bone homeostatis / Zofkova I. [et al.] // *Physiol. Res.* – 2017. – № 66. – С. 391-402. DOI: 10.33549/physiolres.933454.
2. *Gaffney-Stomberg, E.* The Impact of Trace Minerals on Bone Metabolism. / Gaffney-Stomberg, E // *Biol Trace Elem Res.* - 2019. – № 188. – С. 26–34. DOI: 10.1007/s12011-018-1583-8.
3. The content of structural and trace elements in the knee joint tissues / W. Rocznik [et al.] // *International journal of environmental research and public health.* – 2017. – Т. 14. – №. 12. – С. 1441. DOI: 10.3390/ijerph14121441.

# ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ НА ПАРАМЕТРЫ ДОСТАВЛЯЕМОГО ИМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТРЕХМЕРНОГО ДОЗОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

## THE EFFECT OF POSITIONING ACCURACY OF CANCER PATIENTS ON THE PARAMETERS OF THE INDIVIDUAL THREE-DIMENSIONAL DOSE DISTRIBUTION DELIVERED TO THEM

**Г. В. Бельков<sup>1</sup>, М. Н. Петкевич<sup>2</sup>**  
**G. Bel'kov<sup>1</sup>, M. Piatkevich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> РНПЦ им. Н.Н. Александрова, аг. Лесной, Республика Беларусь  
g.belkov@inbox.ru

<sup>1</sup> Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup> N. N. Alexandrov national cancer centre of Belarus, Lesnoy, Republic of Belarus

Для корректного применения высокотехнологичных методов лучевой терапии необходимо использовать жесткие требования к технико-дозиметрическим параметрам радиотерапевтического оборудования, точности настройки и калибровки его геометрических, механических и радиационных параметров. Для определения величин возможной ошибки в позиционировании пациента в ходе лучевого лечения, авторами рассмотрена конструкция и характеристики типовых РТС, разработана модель «среднего» тела пациента, позволяющая изменять нагрузку на ТП РТС с шагом 1 кг. Определены параметры положения ТП для основных видов локализаций лучевой терапии злокачественных новообразований. Экспериментально установлены численные величины отклонения ТП в изоцентре радиационного поля от предписанного горизонтального положения при нагрузке на нее от 40 до 180 кг для ТП используемых в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова.

For the correct application of high-tech methods of radiation therapy, it is necessary to use strict requirements for the technical and dosimetric parameters of radiotherapy equipment, the accuracy of adjustment and calibration of its geometric, mechanical and radiation parameters. To determine the values of possible errors in patient positioning during radiation treatment, the authors considered the design and characteristics of typical RTS, developed a model of the patient's «average» body, which allows changing the load on the TP RTS with a step of 1 kg. The parameters of the TP position were determined for the main types of localizations of radiation therapy for malignant neoplasms. Numerical values of deviations of the radiation beam isocenter from the treatment couch prescribed horizontal position were experimentally established for a load on it from 40 to 180 kg for treatment couch used for patients' treatments in N.N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus.

*Ключевые слова:* линейный ускоритель, радиотерапевтический стол, фантом, величина отклонения.

*Keywords:* linear accelerator, treatment couch, phantom, patient treatment position.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-17-20>

В настоящее время все современные коммерческие медицинские линейные ускорители электронов (далее – ЛУЭ) оснащены системой позиционирования пациентов, в состав которой входит радиотерапевтический стол (далее – РТС), органы управления положениями РТС, индикаторы положений РТС, электронный блок обработки сигналов, система автоматической настройки параметров РТС, система аварийного отключения ЛУЭ и др. механизмы и устройства в зависимости от поколения и назначения ЛУЭ [1].

РТС состоит из терапевтической поверхности (далее – ТП) с 2 и более направлениями движений для укладки пациента и крепления фиксирующих устройств, подъемного механизма, поворотной платформы и разъемов для подключения необходимых периферийных устройств. ТП представляет собой цельную панель из углеродного волокна без металлических вставок, грузоподъемностью до 227 кг, толщиной от 5 до 7,5 см. Такая конструкция РТС позволяет воспроизводить стабильное положение пациента от сеанса к сеансу для реализации современных методов лучевой терапии, при которых требуется высокая точность [2].

При облучении онкологических пациентов, параметры их расположения на поверхности РТС выбираются индивидуально для каждого клинического случая с учетом характеристик плана лучевой терапии. Тем не менее, установлено, что при изменении продольного положения РТС для пациентов, имеющих избыточный вес, имеет место отклонение ТП от горизонтального положения ( $n$ ) [3,4]. На рисунке 1 показано положение пациента на РТС

при облучении опухолей, расположенных в области малого таза. В таких случаях ТП выдвигается в крайнее продольное положение или близкое к нему.

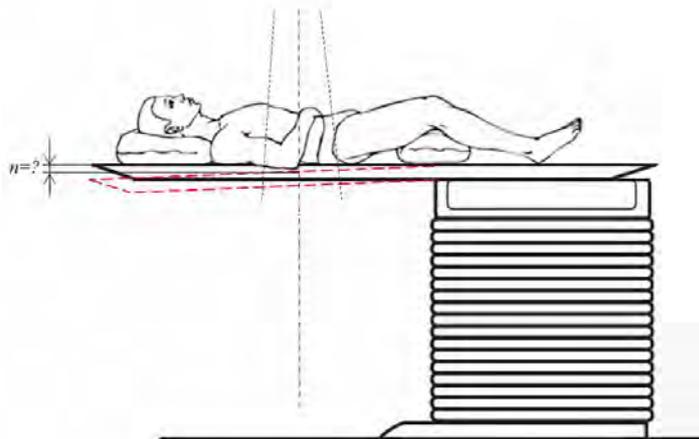


Рис. 1 – Отклонение ТП РТС от горизонтального положения при облучении опухолей малого таза ( $n$ )

Для проведения измерений отклонения ТП от горизонтального положения, авторами был разработан фантом, который представляет собой модель тела человека, и состоит из пластиковых блоков прямоугольной формы массой 1 кг. Такая конструкция фантома предоставляет возможность изменять и распределять нагрузку на ТП РТС, что позволяет имитировать пациентов разного веса. Для проведения эксперимента авторами предложен фантом длиной 170 см (средний рост человека, проживающего в Республике Беларусь) [5] и массой от 40 до 180 кг. (шаг изменения массы – 10 кг.).

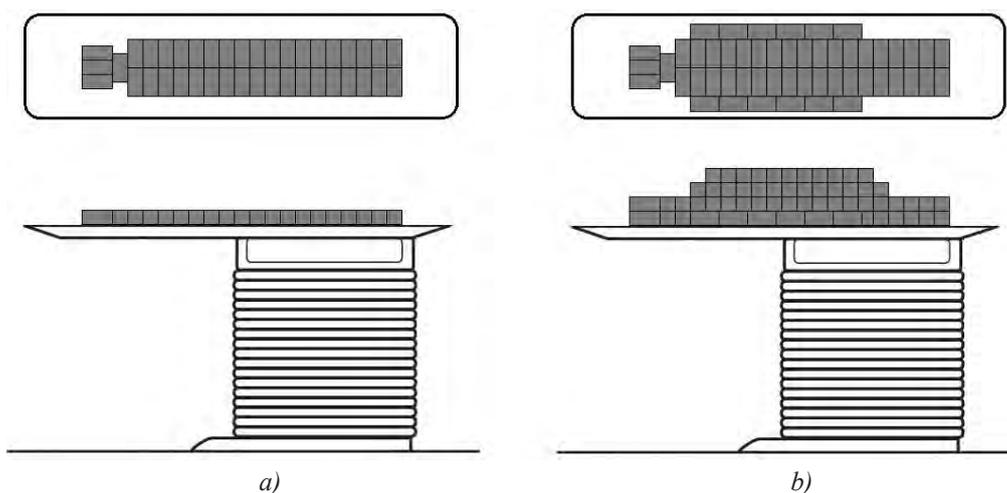


Рис. 2 – Примеры распределения эталонных масс по ТП РТС: а) фантом массой 40 кг., б) фантом массой 140 кг

На основании анализа более 300 клинических случаев пациентов прошедших курс лучевой терапии в РНПЦ ОМР им Н.Н. Александрова авторами были установлены геометрические параметры всех осей перемещений РТС для фантома, симулирующего тело пациента и его типовое расположение для трех групп больных (опухоли головного мозга, опухоли грудной клетки и опухоли малого таза) при их облучении (таблица 1). С использованием полученных значений положения изоцентра мишени облучения проведены измерения отклонений в положении осуществления лучевой терапии пациента в изоцентре вращения и радиационного пучка ЛУЭ для двух РТС фирмы Varian «Exact IGRT» и «Exact couch». ТП РТС «Exact IGRT» сконструирована без использования опорных рельс, толщина ТП имеет значения от 5 до 7,5 см (изменяется по длине стола). ТП РТС «Exact couch» имеет постоянную толщину 2,2 см, усиление ТП реализовано с помощью опорных рельсов.

Таблица 1 – Средние значения параметров РТС для опухолей головного мозга, грудной клетки и малого таза

Параметр Parameters	Опухоли головного мозга Brain tumor	Опухоли грудной клетки Tumors of the chest	Опухоли малого таза Pelvic Tumors
Поперечное перемещение, см	12,1±1,2	22,80±3,2	12,20±1,3
Продольное перемещение, см	107,4±7,8	130,7±4,6	144,06±5,2
Вертикальное перемещение, мм	995,2±2,7	990,60±1,5	998,40±0,8

В результате измерений была установлена практически линейная зависимость величины отклонения ТП РТС для обоих исследуемых поверхностей от веса тела пациента. В ходе анализа полученных данных выявлено, что наибольшее отклонение от горизонтального положения ТП возникает при позиции стола, определенной для опухолей малого таза и достигает 9 мм при максимальной измеренной нагрузке 180 кг на РТС «Exact couch» и 8,5 мм на РТС «Exact IGRT». Превышение допустимого отклонения 5 мм установлено при нагрузке свыше 100 кг для обоих РТС. В положении ТП для опухолей грудной клетки максимальное отклонение составляет 8,2 и 7,8 мм при нагрузке 180 кг на РТС «Exact couch» и «Exact IGRT» соответственно. Превышение допустимого отклонения 5 мм выявлено при нагрузке свыше 110 кг для «Exact couch» и 117 кг для РТС «Exact IGRT». Наименьшее влияние на горизонтальность ТП оказывает нагрузка в положении для опухолей головного мозга и составляет 5,5 мм и 6,2 мм при массе фантома 180 кг. Превышение допустимого отклонения 5 мм наблюдалось при нагрузке свыше 150 и 160 кг для РТС «Exact IGRT» и «Exact couch» соответственно. Результаты измерений приведены на рисунках 3 и 4.

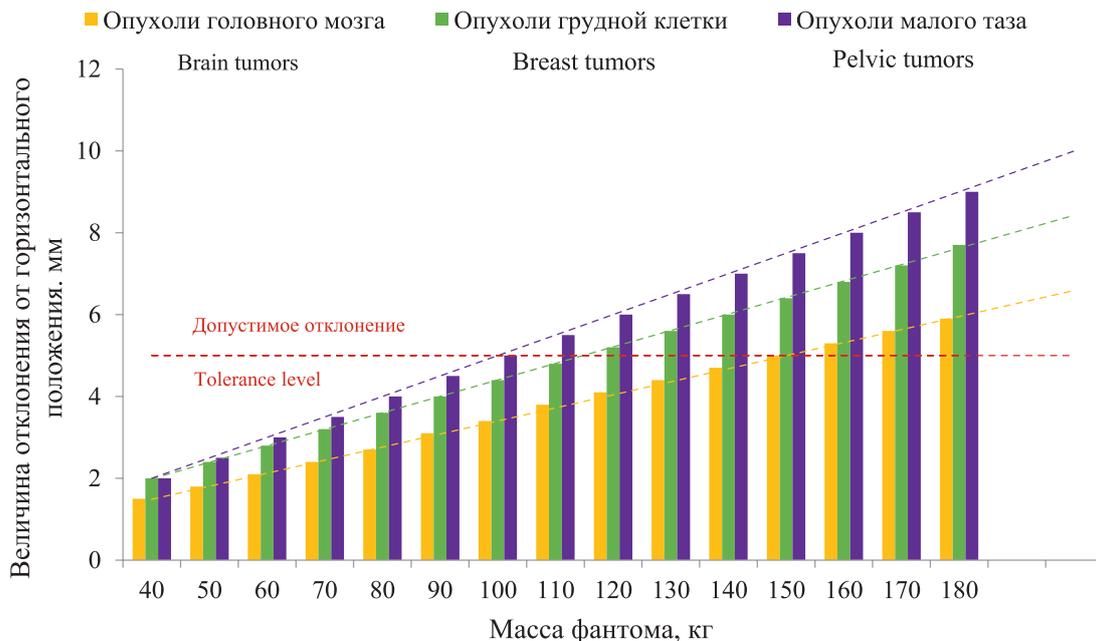


Рис. 3 – Величина отклонения ТП РТС «Exact IGRT» от горизонтального положения в зависимости от нагрузки

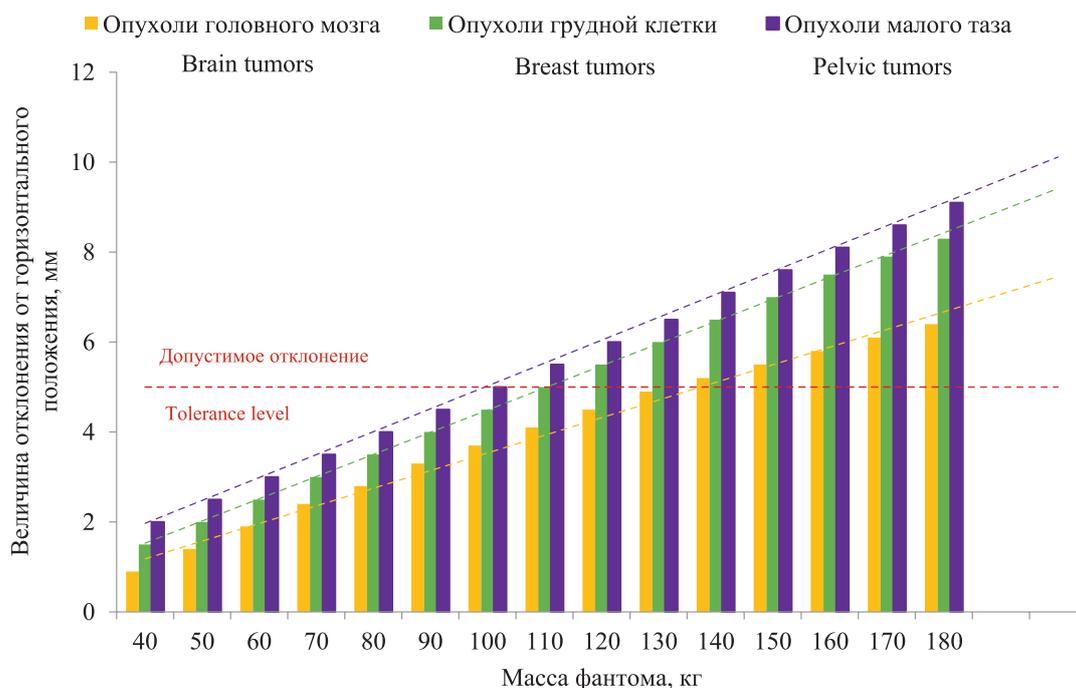


Рис. 4 – Величина отклонения ТП РТС «Exact couch» от горизонтального положения в зависимости от нагрузки

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Tepper, J.* Clinical radiation oncology. 5th Edition / J. Tepper, R. Foote, J. Michalski. – Elsevier, 2020. – P. 2300.
2. *Климанов, В.А.* Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии. Часть 1. Радиобиологические основы лучевой терапии. Радиобиологическое и дозиметрическое планирование дистанционной лучевой терапии пучками тормозного и гамма-излучения / В.А. Климанов. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2011. – 400 с.
3. *Towns P.* Practical issues in treating heavy patients on a LINAC treatment couch / Towns P. // Journal of applied clinical medical physics. – 2005. – Vol. 6, № 1. – P. 45 – 56.
4. *Тарутин, И.Г.* Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии / И.Г. Тарутин, Е.В. Титович. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 175 с.
5. *Океанов, А.И.* Рак в Беларуси: цифры и факты. Анализ данных Белорусского канцер-регистра за 2009 – 2018 гг. / А.И. Океанов, П.И. Моисеева, Л.Ф. Левина, А.А. Евмененко, Т.Б. Ипатий, Суконко О.Г. – Минск: Национальная библиотека Беларуси. – 2019.

## СИНТЕЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО НУКЛЕОЗИДА 8-БРОМАДЕНОЗИНА И ЕГО ФОСФОЛИПИДНОГО ПРОИЗВОДНОГО SYNTHESIS OF THE MODIFIED NUCLEOSIDE 8-BROMADENOSINE AND ITS PHOSPHOLIPID DERIVATIVE

**Л. Л. Биричевская<sup>1</sup>, М. А. Винтер<sup>1</sup>, А. К. Дорошевич<sup>2</sup>,  
М. А. Ханчевский<sup>2</sup>, Е. И. Квасюк<sup>2</sup>, А. И. Зинченко<sup>1,2</sup>**  
**L. L. Birichevskaya<sup>1</sup>, M. A. Vinter<sup>1</sup>, A. A. Doroshevich<sup>2</sup>,  
M. A. Khanchevskiy<sup>2</sup>, E. I. Kvasyuk<sup>2</sup>, A. I. Zinchenko<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Институт микробиологии НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь  
<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
l.birichevskaya@mbio.bas-net.by

<sup>1</sup>Institute of Microbiology of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus  
<sup>2</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Модифицированный нуклеозид 8-бромаденозин обладает высокой реакционной способностью и может служить базовым соединением для синтеза большого числа пуриновых антиметаболитов, потенциально обладающих терапевтическими свойствами в отношении ряда опухолевых и вирусных заболеваний. В данной работе 8-бромаденозин получен простым и экологичным способом путем обработки исходного нуклеозида аденозина водным раствором брома. С помощью реакции ферментативного трансфосфатидилирования впервые осуществлен синтез фосфолипидного производного указанного нуклеозида – 5'-(1,2-димиристоилфосфатидил)-8-бромаденозина. Новое соединение предположительно может являться нетоксичным предшественником биологически активной формы лекарственных антиметаболитов.

Modified nucleoside 8-bromoadenosine possessing high reactive capacity may serve as a basic compound for the synthesis of a large number of purine antimetabolites showing potentially therapeutic activities toward several tumor and viral diseases. In this study, 8-bromoadenosine was produced by a simple eco-friendly procedure following the treatment of nucleoside precursor adenosine with aqueous bromine solution. In the course of enzymatic transphosphatidylation reaction, the first synthesis of phospholipid derivative of the above-mentioned nucleoside – 5'-(1,2-dimyristoyl phosphatidyl)-8-bromoadenosine was accomplished. Novel compounds may presumably act as non-toxic progenitors of bioactive antimetabolites to be used in drug formulas.

*Ключевые слова:* фосфолипаза D, энзиматическое трансфосфатидилирование, 8-бромаденозин, фосфатидилнуклеозид.

*Keywords:* phospholipase D, enzymatic transphosphatidylation, 8-bromoadenosine, phosphatidyl nucleoside.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-20-23>

**Введение.** Интерес к 8-галогенпроизводным пуриновых нуклеозидов и, в частности, к 8-бромаденозину, обусловлен широкими возможностями для их использования в качестве биологически активных антиметаболитов в терапии опухолевых и вирусных заболеваний. Высокая реакционная способность атома брома к реакциям нуклеофильного замещения позволяет использовать 8-бромаденозин в качестве исходного соединения для

синтеза большого числа пуриновых антиметаболитов, содержащих в составе молекулы разнообразные заместители в положении С8 пуринового гетероциклического основания. Таким образом, исходя из 8-бромаденозина, могут быть синтезированы производные аденозина, содержащие в положении С8 разнообразные природные и синтетические аминокислоты, алкильные и арильные радикалы, алифатические и ароматические амины, серу - и селен-содержащие фрагменты, флуоресцентные зонды, радиоактивно меченые соединения, а также пуриновые циклонуклеозиды, содержащие С8–С2' или С8–С3' ангидро связи [1]. Полученные соединения, под действием ферментов – нуклеозид и нуклеотидкиназ, превращаются в клетках в соответствующие С8 замещённые нуклеозид-5'-трифосфаты, которые и являются активными антиметаболитами. Модифицированные по положению С8 пуриновые нуклеозид-5'-трифосфаты способны внедряться в растущие цепочки нуклеиновых кислот и ингибировать механизмы транскрипции в опухолевых или поражённых вирусом клетках.

Замещённые в положении С8 пуриновые нуклеозиды представляют интерес также и для получения их 5'-фосфатов, фосфонатов, липофильных производных монофосфатов, которые являются потенциальными соединениями для использования в медицине, молекулярной биологии и биотехнологии.

Что касается соединений, используемых и потенциально пригодных для терапии онкозаболеваний, то большинство из них обладают нежелательными свойствами – невысоким терапевтическим индексом, выраженными токсическими эффектами, быстрым катаболизмом в русле крови до неактивных соединений, что ограничивает их клиническое применение. Одним из подходов в решении этой проблемы является разработка нового поколения лекарственных препаратов («prodrugs») на основе конъюгатов антивирусных и противоопухолевых нуклеозидов с липидами, в том числе фосфолипидами. Такие конъюгаты характеризуются большей биодоступностью, устойчивостью в русле крови, улучшенными фармакокинетическими параметрами и меньшей токсичностью [3].

Существующие методы химического конъюгирования фосфолипидов с нуклеозидами сложны и характеризуются невысокими выходами целевых продуктов. Ранее нами была показана возможность использования более простого и эффективного биотехнологического подхода для синтеза фосфолипидных производных ряда природных и модифицированных нуклеозидов [4], основанного на использовании бактериальной фосфолипазы D.

Фосфолипаза D (ФЛД; EC 3.1.4.4) – фермент, который катализирует гидролиз фосфодиэфирной связи фосфолипидов, образуя фосфатидную кислоту и спиртовой остаток. В дополнение к гидролитической активности, ФЛД также может катализировать замещение полярных групп фосфолипидов по процессу, называемому трансфосфатидилированием.

ФЛД широко распространены в природе, однако, наибольшее практическое значение имеют ферменты этого класса, продуцируемые микроорганизмами. Как указано выше, большинство из изученных ФЛД, кроме реакции гидролиза, способно переносить фосфатидильный остаток на первичную или, в особых условиях, на вторичную спиртовую группу большого числа соединений. Благодаря доступности ФЛД из растений и микроорганизмов и достаточно высокой эффективности реакции трансфосфатидилирования, этот подход может быть использован для получения в препаративном количестве разнообразных фосфолипидов, в том числе фосфатидилнуклеозидов.

**Материалы и методы. В работе 8-бромаденозин (2) получали** действием раствора брома в воде на раствор аденозина (1) в натрий ацетатном буфере. Аденозин (1) растворяли при нагревании в 0,25 М натрий ацетатном буфере с pH 4,3 и охлаждали до комнатной температуры. К полученному раствору при интенсивном перемешивании с помощью магнитной мешалки порциями добавляли предварительно полученный раствор брома в воде. Каждая следующая порция раствора брома в воде добавлялась после обесцвечивания предыдущей добавленной порции раствора брома. После добавления последней порции реагента окрашенную в вишнёвый цвет реакционную смесь перемешивали 3–4 часа, в течение которых в ней образовывался осадок. Контроль за полнотой протекания реакции осуществляли с помощью тонкослойной хроматографии.

При получении образца субстанции 5'-фосфатидильного производного 8-бромаденозина донором фосфатидильных групп служил 1,2-димиристоил-фосфатидилхолин (ДМФХ, «Chem-Impex», США), акцептором – модифицированный нуклеозид 8-бромаденозин (синтезирован в данной работе). Получение сухого ферментного препарата ФЛД осуществляли, как описано нами ранее [5].

**Аналитический синтез ДМФ-8-бромаденозина** проводили в двухфазной реакционной смеси объемом 1 мл, включающей 0,67 мл хлороформной фазы и 0,33 мл водно-буферной фазы, содержащей 0,2 М натрий-ацетатный буфер (pH 6,0), 0,1 М CaCl<sub>2</sub>, 0,45 мг биокатализатора (сухого ферментного препарата ФЛД), а также 10 мкмоль нуклеозида и 20 мкмоль ДМФХ.

**Препаративный синтез ДМФ-8-бромаденозина** проводили в двухфазной реакционной смеси объемом 30 мл, сформированной хлороформом (20 мл) и водной фазой (10 мл), состоящей из 0,2 М натрий-ацетатного буфера (pH 6,0) с 0,1 М CaCl<sub>2</sub>. Реакционная смесь содержала 100 мг (290 мкмоль) нуклеозида, 400 мг (600 мкмоль) ДМФХ и 15 мг сухого препарата ФЛД (6 ед. активности). Реакции осуществляли при температуре 37°C и постоянном интенсивном перемешивании, их ход контролировали при помощи ТСХ на пластинах Silica gel 60 F<sub>254</sub> («Merck», Германия) в системе растворителей хлороформ/метанол/вода в соотношении 65:30:5 по объему.

Для обнаружения веществ на хроматограммах использовали флуоресценцию при УФ-облучении, а также специфический реагент на фосфолипиды (реагент Васьковского). Нуклеозид элюировали водой, а фосфолипидное производное – этанолом. После измерения поглощения элюатов при длине волны 264 нм, выход продукта рассчитывали методом пропорции, либо используя известный коэффициент молярной экстинкции нуклеозида. При этом учитывали тот факт, что изучаемые модификации в углеводной части молекулы нуклеозидов практически не

сказываются на величине молярных коэффициентов экстинкции этих соединений. Спектры поглощения снимали на спектрофотометре РВ 2201А («Solare», Беларусь).

Трансфосфатилирующую активность ФЛД определяли за время, при котором выход продукта не превышал 15–20% и рассчитывали как количество продукта в мкмоль, образовавшегося в результате реакции за 1 мин на 1 мг сухого ферментного препарата.

**Результаты и обсуждение.** Наиболее распространённым способом синтеза 8-бромаденозина или его производных является обработка исходных соединений, в частности аденозина, реагентами, содержащими активный атом брома. К таким реагентам относятся системы на основе раствора брома в таких растворителях как вода, четырёххлористый углерод, диметилформамид, смесь уксусной кислоты и пиридина, смесь раствора натрия уксуснокислого и диоксана, а также различные буферные растворы на основе солей фосфорной или уксусной кислот. К менее распространённым реагентам относятся N-бромсукцинимид, смесь мета-хлорпербензойной и бромистоводородной кислот, натриевая соль монобромизоциануровой кислоты в воде и другие реагенты [2].

В данной работе 8-бромаденозин (**2**) получали действием раствора брома в воде на раствор аденозина **1** в натрий ацетатном буфере (рис. 1).

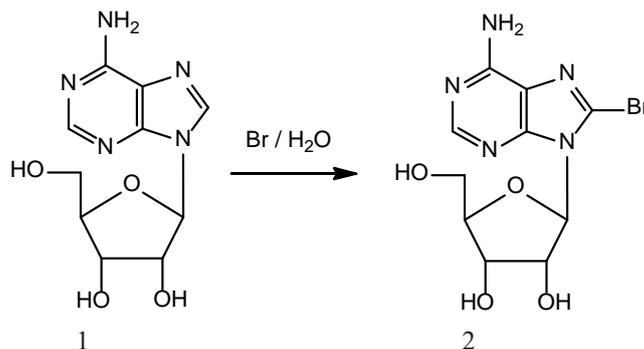


Рис. 1 – Схема синтеза 8-бромаденозина

**Синтез 8-бромаденозина (2).** Аденозин **1** (1 г, 3,74 ммоль) растворяли при нагревании в 50 мл 0,25 М раствора натрия ацетатного буфера с pH 4,3 и затем охлаждали до комнатной температуры. К полученному раствору при интенсивном перемешивании с помощью магнитной мешалки порциями в течение 20–30 минут добавляли свежеприготовленный раствор брома (0,72 г, 4,50 ммоль, 0,23 мл) в 20 мл воды. Полученную реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре 3–4 часа, в течение которых в реакционной смеси выпадал осадок. Реакционную смесь оставляли на ночь в холодильнике, осадок отфильтровывали, промывали на фильтре охлаждённой до 0–4°C водой (3x3 мл) и перекристаллизовывали из кипящей дистиллированной воды с добавкой раствора натрия бисульфита для получения бесцветного раствора, который охлаждали до комнатной температуры и выдерживали в холодильнике в течение 18–20 часов. Выпавший осадок отфильтровывали, промывали на фильтре охлаждённой дистиллированной водой (2x2 мл) и этиловым спиртом (2x3 мл), сушили при комнатной температуре на воздухе, а затем в вакууме до постоянного веса. Получили 0,9 г 8-бромаденозина (**2**). Выход продукта составил 70%. UV (pH 1):  $\lambda_{\text{макс}}$  = 264 нм.

**Аналитический синтез ДМФ-8-бромаденозина** осуществляли в реакционной смеси (1 мл) стандартного состава, содержащей 10 мкмоль нуклеозида, 20 мкмоль ДМФХ и 0,45 мг сухого препарата ФЛД. Количество ферментного препарата было увеличено по сравнению с используемым нами количеством для синтеза фосфолипидных производных других нуклеозидов, поскольку в ранее изученной реакции с участием 8-бромаденозина и природного ФХ рассчитанная активность ФЛД оказалась невысокой.

Ход реакции контролировали при помощи ТСХ на пластинах Silica gel 60 F<sub>254</sub> («Merck», Германия) в системе растворителей хлороформ : метанол : вода (65:30:5 по объему). Хроматографирование пластин проводили 2-3 раза, поскольку из-за крайне плохой растворимости препарата 8-бромаденозина, не сразу удавалось достичь удовлетворительного разделения веществ. Трансфосфатилирующая активность фермента в препарате при синтезе 5'-фосфатидил-8-бромаденозина в указанных условиях составила 0,148 мкмоль/мин·мг.

Анализ динамики накопления целевого продукта в реакционной смеси (рис. 2) показал, что его выход достиг максимума через 3 ч протекания реакции и составил 52 мол.% (в расчете на введенный нуклеозид).

**Препаративный синтез ДМФ-8-бромаденозина** проводили в двухфазной реакционной смеси объемом 30 мл, состоящей из 10 мл 0,2 М натрий-ацетатного буфера (pH 6,0) с 0,1М CaCl<sub>2</sub> и 20 мл хлороформа. Реакционная смесь содержала 100 мг (290 мкмоль) нуклеозида, 400 мг (600 мкмоль) ДМФХ и 15 мг сухого препарата ФЛД (6 ед. активности). Выход целевого продукта (конверсия) за 3 ч составил 43 мол.%.

По окончании реакции хлороформный слой отделили; экстракцию фосфолипидов из оставшейся на разделе фаз «таблетки» проводили, ресуспендируя ее в смеси хлороформа и метанола с последующим центрифугированием (2 повтор). Все полученные растворы, содержащие фосфолипиды, объединили и упарили. Очистку целевого продукта осуществляли методом препаративной ТСХ на пластинах PLC Silica gel 60 F<sub>254</sub>, 1 мм («Merck», Германия) в системе растворителей хлороформ : метанол в соотношении 6 : 4 по объему. ДМФ-8-бромаденозин элюировали с пластин смесью хлороформа и метанола в соотношении 1 : 1 по объему.

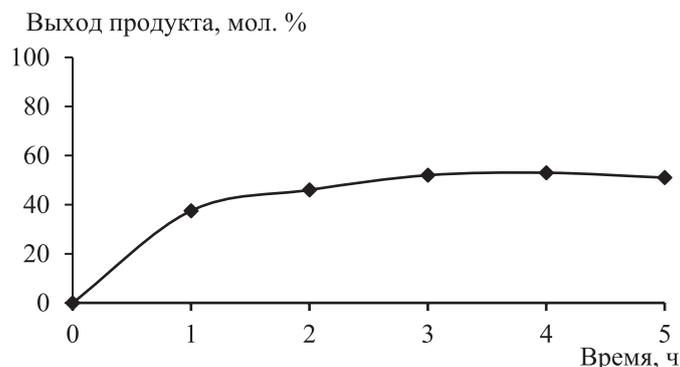


Рис. 2 – Динамика накопления ДМФ-8-бромаденозина в реакции, катализируемой ФЛД *S. netropsis*

Получено 16 мг (23 мкмоль) субстанции ДМФ-8-бромаденозина с выходом 8 мол.% в расчете на введенный в реакцию нуклеозид. Чистота полученного соединения составила более 95 % по данным ТСХ (рис. 3). Структура вещества подтверждена данными УФ-спектроскопии. УФ-спектр спиртового раствора:  $\lambda_{\text{макс}}$  – 264 нм,  $\lambda_{\text{мин}}$  – 247 нм. Полученное соединение также положительно окрашивается реактивом Васьковского.

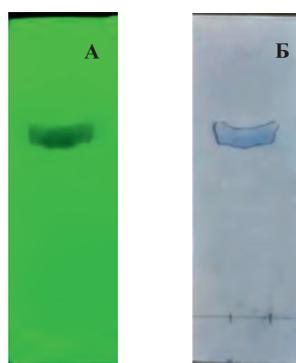


Рис. 3 – Тонкослойная хроматограмма раствора субстанции ДМФ-8-бромаденозина. Визуализация в УФ-свете (А) и с помощью реактива Васьковского (Б)

Низкий выход целевого продукта при получении образца субстанции ДМФ-8-бромаденозина обусловлен относительно невысокой степенью первоначальной конверсии 8-бромаденозина в липонуклеотид, но главным образом – большими потерями вещества на этапах выделения и очистки. Выделение осложнялось плохой растворимостью исходного нуклеозида в воде, повышенным мицеллообразованием в реакционной смеси в ходе достаточно продолжительной реакции ферментативного синтеза, а также эффектом «желирования, гелеобразования» при растворении в хлороформе суммарной фракции фосфолипидов, что затрудняло адсорбцию фосфолипидов на силикагеле и возможность осуществить эффективную очистку целевого соединения.

Формирование гелей при растворении свойственно для модифицированных нуклеозидов пуринового ряда. При получении фосфолипидных производных таких нуклеозидов на предыдущих этапах работы (в особенности конъюгатов с синтетическим ДМФХ) мы также сталкивались с эффектом «гелеобразования» при растворении липонуклеотидов в органических растворителях в процессе их очистки. Для ДМФ-8-бромаденозина указанный эффект проявился наиболее ярко.

Таким образом, в данной работе простым и экологичным способом, путем обработки исходного нуклеозида аденозина водным раствором брома, получен модифицированный нуклеозид 8-бромаденозин. С помощью реакции ферментативного трансфосфатилирования впервые осуществлен синтез фосфолипидного производного указанного нуклеозида – 5>-(1,2-димиристоилфосфатидил)-8-бромаденозина. Новое соединение предположительно может являться нетоксичным предшественником биологически активной формы лекарственных антиметаболитов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Mieczkowski, A.* Preparation of cyclonucleosides / A. Mieczkowski, V. Roy, L. A. Agrofoglio // *Chem. Rev.* – 2010. – Vol. 110. – P. 1828–1856.
2. *Maity, J.* Facile access to bromonucleosides using sodium monobromoisocyanurate (SMBI) // *J. Maity [et al.] // Curr. Protoc. Nucleic Acid Chem.* – 2017. 68:1.39.1–1.39.9. doi: 10.1002/cpnc.24.
3. Overcoming the delivery barrier of oligonucleotide drugs and enhancing nucleoside drug efficiency: The use of nucleolipids / X. Zhou [et al.] // *Med. Res. Rev.* – 2019. DOI: 10.1002/med.21652
4. *Биричевская Л.Л.* Биосинтез, свойства и применение фосфолипазы D *Streptomyces netropsis* БИМ В-235: автореф. дис. канд. биол. наук / Институт микробиологии НАН Беларуси. – Минск, 2010. – 24 с.

**ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ПРОЦЕСС ФИБРИЛЛООБРАЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЫ ИНСУЛИНА  
INFLUENCE OF PHYSICO-CHEMICAL FACTORS  
ON THE PROCESS OF FIBRILLATION OF THE INSULIN MOLECULE**

***Н. В. Богданова, В. В. Саган, О. А. Соколович  
N. Bogdanova, V. Sagan, O. Sokolovich***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
sagan\_lera@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В результате исследований представлены данные о динамике фибриллообразования молекул инсулина при нахождении в различных температурных режимах, а также исследовано влияние pH среды и механического воздействия на процессы образования амилоидов. В экспериментах *in vitro* выявлено три стадии фибриллообразования молекул инсулина.

As a result of the research, data on the dynamics of fibrillation of insulin molecules under different temperature conditions are presented. The influence of the pH of the medium and mechanical action on the processes of amyloid formation is also studied. *In vitro* experiments revealed three stages of fibrillation of insulin molecules.

*Ключевые слова:* сахарный диабет, инсулин, фибриллообразование, агрегация.

*Keywords:* diabetes mellitus, insulin, fibrillation, aggregation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-24-27>

Процесс образования белков в клетке состоит из двух этапов – биосинтеза полипептидной цепи и ее сворачивания в нативную трехмерную структуру. Первый процесс – передача информации о последовательности и числе аминокислот, хранящейся в ДНК, и сборка необходимых аминокислот в полипептидную цепь с образованием первичной структуры белка. На этом этапе на основании информации, закодированной в одномерной ДНК, строится одномерная полипептидная цепь белка. На втором этапе происходит фолдинг – сворачивание цепочки аминокислот, из которых образован данный белок и которые определяют его первичную структуру, в уникальную трехмерную структуру. Только правильно сложенные белки проявляют стабильность в условиях насыщенного биологического окружения и способность к селективному взаимодействию с природными партнерами. Однако под воздействием различных внешних условий при образовании пространственной структуры в многоэтапном процессе биосинтеза белка в клетке могут возникать развернутые или неправильно свернутые, ненативные формы белков, склонные к агрегации.

Белок может образовывать различные структуры, в том числе амилоиды, и амилоидные фибриллы. Амилоидоз связан с самым большим классом болезней неправильного сворачивания белков, которые включают широкий спектр неврологических, метаболических и связанных со старением заболеваний, включая болезнь Альцгеймера, прионную болезнь, болезнь Паркинсона и сахарный диабет 2-го типа. К патологическим признакам амилоидоза относятся структурно консервативные внутриклеточные и внеклеточные нерастворимые белковые отложения, называемые амилоидными фибриллами [1].

Процесс формирования амилоидов, как специфически структурированных фибриллярных агрегатов белков, возможен за счет наличия в аминокислотной последовательности так называемых амилоидогенных участков. Основной вклад в амилоидогенез белка вносят аминокислотные остатки (а.о.), которые способствуют более плотной упаковке белковой структуры. Предсказание амилоидогенных участков с последующим их экспериментальным определением – важный этап на пути понимания особенностей амилоидообразования конкретного белка [2].

Амилоидные фибриллы разного происхождения имеют сходную морфологию. Они представляют собой длинные неразветвленные структуры диаметром несколько нанометров, образованные перевитыми между собой протофибриллами, в которых  $\beta$ -слои ориентированы перпендикулярно оси фибриллы. Образованию амилоидных фибрилл предшествуют конформационные изменения, происходящие в нативном белке под действием химических веществ, температуры, механического воздействия, нагревания, изменения pH и др. Обычно амилоидные фибриллы образуются при инкубации белков, находящихся в промежуточных состояниях, при повышенной температуре и интенсивном перемешивании. Это обусловлено, по-видимому, тем, что для этих белков наряду с минимумом свободной энергии, отвечающим промежуточному состоянию, имеется еще один, достаточно глубокий минимум свободной энергии, отвечающий  $\beta$ -форме белка. В этом состоянии белки склонны к агрегации с образованием амилоидных фибрилл. Переход из промежуточного состояния в  $\beta$ -форму при низкой температуре

происходит очень медленно, поскольку он требует преодоления значительного активационного барьера, разделяющего эти состояния белка. Скорость этого процесса существенно возрастает при инкубации белка при повышенной температуре. Способность к фибриллообразованию имеют многие никак не связанные с заболеваниями белки и пептиды независимо от их функции.

Стрессовые условия могут вызывать образование развернутых форм белков, проявляющих повышенную склонность к агрегации. В процессе биосинтеза белка в клетке сворачивание вновь синтезируемых полипептидных цепей может сопровождаться образованием ненативных форм белков, склонных к агрегации. На клеточном уровне повреждения, связанные с агрегацией белков, носят ограниченный характер и репарируются системой контроля качества белков (protein quality control), включающей шапероны и протеазы. Основная роль в сворачивании белков отводится белкам теплового шока, относящимся к семействам HSP60 (GroEL у бактерий) и HSP70 (DnaK у бактерий). Используя энергию гидролиза ATP, HSP60 и HSP70 обеспечивают правильное сворачивание вновь синтезируемых полипептидных цепей и корректировку структуры неправильно свернутых белков.

Среди белков теплового шока особое место занимает семейство малых белков теплового шока (sHSP), основной функцией которых является подавление агрегации ненативных форм белков. Представители этого семейства обнаружены практически у всех живых организмов. Характерными признаками данного семейства являются небольшая молекулярная масса мономеров (от 12 до 43 кДа) и склонность к образованию крупных олигомеров с молекулярной массой до 1000 кДа. Отличительной чертой sHSP является наличие в их структуре консервативного  $\alpha$ -кристаллинового домена. sHSP не способны обеспечить сворачивание полипептидной цепи, однако они образуют комплексы с ненативными формами белков и могут либо передавать последние на ATP-зависимые шапероны, либо переносить их в протеасомы, где происходит протеолитическая деградация развернутых белков. Антиагрегационной активностью обладают не только малые белки теплового шока, но и белки теплового шока, построенные из субъединиц более крупного размера.

Предсказание амилоидогенных участков с последующим их экспериментальным определением – важный этап на пути понимания особенностей амилоидообразования конкретного белка. Успешное определение амилоидогенных участков может быть проведено для хорошо изученных белков, у которых известна структура мономера, а также подтверждена возможность образования амилоидных фибрилл. Чаще всего исследованию подвергается такой амилоидогенный белок, как инсулин – гормон белковой природы, который вырабатывается бета-клетками островков Лангерганса поджелудочной железы [3].

В растворе инсулин находится в основном в виде смеси мономеров, димеров и гексамеров, состав которой изменяется в зависимости от концентрации белка и pH раствора. Мономерный инсулин имеет преимущественно  $\alpha$ -спиральную структуру, образованную двумя полипептидными  $\alpha$  и  $\beta$  цепями, соединенными между собой дисульфидными (S–S) связями через остатки цистеина,  $\alpha$  цепь состоит из 21 а.о., имеет две  $\alpha$  спиральные области: одну на N-конце, другую – на C-конце.  $\beta$  цепь состоит из 30 а.о., имеет центральную  $\alpha$  спираль. Третичная структура этого глобулярного белка образована из обозначенных трех  $\alpha$  спиралей, сложенных напротив N- и C-концевых сегментов  $\beta$  цепи. После биосинтеза и секреции *in vivo* инсулин хранится в виде гексамера, координированного ионами цинка ( $Zn^{2+}$ ). При формировании димера C-концевые участки образуют антипараллельный  $\beta$ -лист. Гексамер с двумя ионами  $Zn^{2+}$  имеет тройную ось симметрии и состоит из трех димеров молекул инсулина, попарно объединяющих момеры инсулина. Известно, что ионы  $Zn^{2+}$  замедляют процесс фибриллогенеза инсулина, и в фармакологических составах инсулин обычно представлен в виде гексамера, координированного ионами цинка. Однако для быстрой диффузии в инсулиновых помпах белок должен находиться в виде свободных мономеров. Склонность мономеров инсулина при длительном хранении в растворе при температуре выше комнатной к формированию амилоидных фибрилл служит основным препятствием для использования пептида в инсулиновой помпе [2].

Существует модель образования фибрилл инсулина, согласно которой росту амилоидов предшествует диссоциация димеров/гексамеров инсулина до мономеров, образующих в дальнейшем промежуточную структуру, соответствующую ядру нуклеации фибриллы. Также было показано, что первой стадией фибриллогенеза инсулина является переход от нативной к частично развернутой, промежуточной конформации мономера.

В последнее время на основе представлений о наличии общего структурного элемента в амилоидных фибриллах были предложены модели фибрилл инсулина, в которых повторяющейся структурной единицей являются  $\beta$ -арки либо кольцевые олигомеры. Представляет интерес обнаружение в аминокислотной последовательности мономера инсулина амилоидогенных фрагментов, ответственных за формирование остова фибриллы. Для амилоидов характерна высокая устойчивость к химическим физическим воздействиям, таким как изменение температуры и давления, а также к обработке протеазами. Выявление механизмов образования амилоидных фибрилл позволит разработать способы управления процессом фибриллогенеза.

Объектом исследования является субстанция инсулина. Субстанция инсулина – это инсулин без примесей связывающих и противомикробных веществ.

Фибриллы из инсулина были получены путем его инкубирования в течении 3,7,10,22,25,30 часов при комнатной температуре и 37°C в присутствии буферов: Tris (трис), pH 7,4; Hepes (хепес) pH 7,4; Na-фосфатный (pH 8,0), цитратный (pH 4,0). Инсулин взят в количестве 2 мг на 1 мл буфера. Для выявления процесса образования амилоидных фибрилл из инсулина был использован ThT Бензотиазолиновый зонд. Данный краситель широко используется для диагностики возникновения амилоидных и амилоидно-подобных фибрилл, что обусловлено высокой специфичностью взаимодействия тиофлавина с амилоидными фибриллами. При взаимодействии с белками,

которые имеют амилоидные фибриллы квантовый выход красителя возрастает в тысячи раз, при этом он не взаимодействует с белками в нативном, развернутом и частично свернутых состояниях. Спектры поглощения ThT измеряли с помощью спектрофлуориметра Shimadzu RF-5301 PC. Для измерения использовали 10 мкл пробы, 1 мл буфера, 1 мл дистиллированной воды и 10 мкл зонда.

Регистрацию максимума интенсивности флуоресценции красителя производили при длине волны равной 450 нм (возбуждение при 415 нм).

В ходе эксперимента было выяснено, что образование амилоидных фибрилл начинается только после 7 ч инкубации инсулина. Активная полимеризация инсулина происходит до 10–25 ч инкубации. Агрегация белка происходит в результате увеличения времени инкубации до 25 ч. К 30 ч происходит выход интенсивности флуоресценции на плато, что может указывать на насыщение сайта связывания тиофлавина и формирования зрелых амилоидных фибрилл. Таким образом можно выделить 3 участка: участок, который характеризуется незначительным ростом интенсивности флуоресценции тиофлавина, участок роста интенсивности флуоресценции и участок, который характеризуется выходом интенсивности флуоресценции тиофлавина на плато.

В ходе экспериментов было выявлено, что максимум флуоресценции тиофлавина отмечается при комнатной температуре в HEPES буфере (pH 7,4) и составляет  $12,064 \pm 0,074$  относительных единиц (отн.ед.), тогда как интенсивность флуоресценции тиофлавина в контроле составила 0,001 отн. ед. (рис. 1). Минимум флуоресценции был отмечен в цитратном буфере (pH 4,0) и составил  $5,461 \pm 0,36$  отн. ед, контроль 0,001 отн. ед. соответственно (таблица 1).

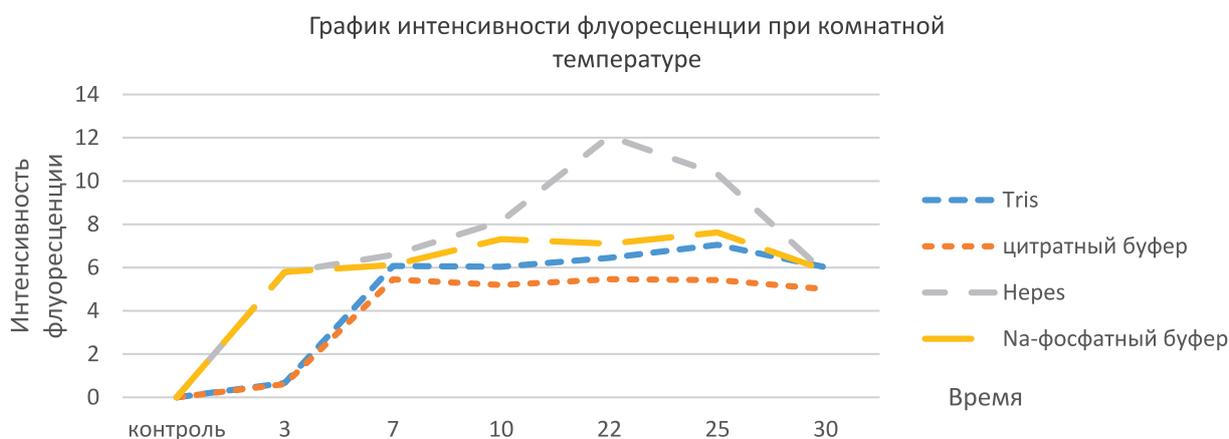


Рис. 1 – Спектры флуоресценции ThT в инсулине при комнатной температуре

Таблица 1 – Показатели интенсивности флуоресценции молекулы инсулина в различных буферах при комнатной температуре

Буфер	Контроль	3 часа	7 часов	10 часов	22 часа	25 часов	30 часов
Tris	0,001	0,661±0,074	6,078±0,29	6,04±1,07	6,445±0,35	7,051±0,3	6,015±0,2
Цитратный	0,001	0,607±0,77	5,452±0,05	5,197±0,82	5,461±0,36	5,419±1,08	5,005±0,98
HEPES	0,001	5,776±0,012	6,584±0,36	8,132±0,19	12,064±0,074	10,324±0,73	5,73±0,52
Na-фосфатный	0,001	5,8±0,23	6,124±0,18	7,315±0,063	7,104±0,81	7,622±0,007	5,868±0,075

При температуре 37°C максимум флуоресценции был отмечен в Na-фосфатном буфере при значении pH = 8,0 (рис. 2) и составил  $22,35 \pm 0,018$  отн.ед., контроль - 0,001 отн. ед. Минимум флуоресценции отмечается в Tris буфере при pH 7,4 и составляет  $7,497 \pm 0,5$ , контроль соответственно составил 0,001 отн. ед. (таблица 2).

Постепенный рост интенсивности флуоресценции тиофлавина был отмечен при инкубации инсулина в Tris буфере, pH 7,4, именно поэтому данный буфер был выбран для дальнейших исследований.

Таблица 2 – Показатели интенсивности флуоресценции молекулы инсулина в различных буферах при температуре 37 °C

Буфер	Контроль	3 часа	7 часов	10 часов	22 часа	25 часов	30 часов
Tris	0,001	0,555±0,02	6,286±0,07	6,407±0,2	7,497±0,5	7,912±0,023	10,996±0,8
Цитратный	0,001	5,44±1,06	5,527±1,15	7,597±1,62	14,365±0,29	10,631±0,018	10,829±0,0085
HEPES	0,001	5,93±0,09	5,713±0,35	7,284±0,19	9,093±0,16	8,064±0,07	5,723±0,084
Na-фосфатный	0,001	6,605±0,38	12,766±0,75	22,1±0,58	22,35±0,018	21,483±0,19	15,966±0,6

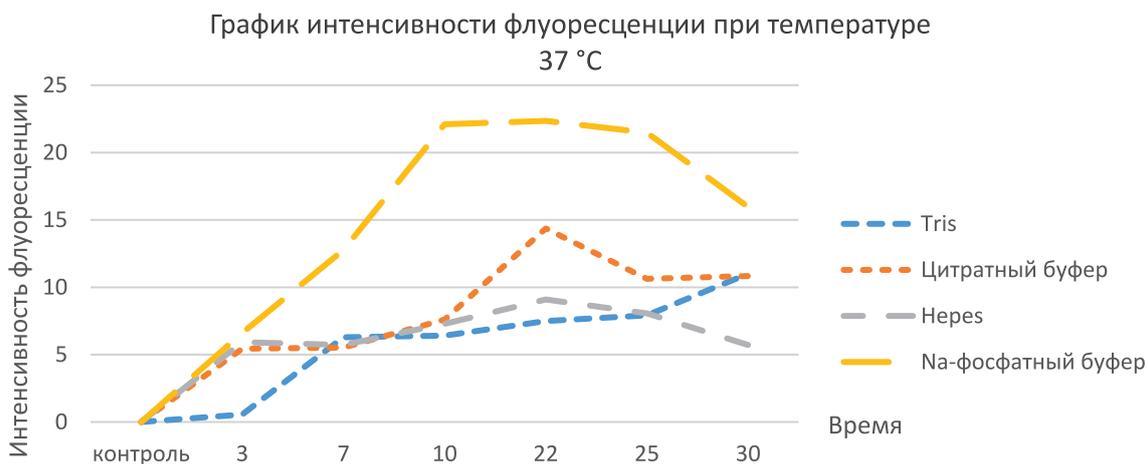


Рис. 2 – Спектры флуоресценции ThT в инсулине при температуре 37 °С

Молекулярный механизм, лежащий в основе формирования амилоидов, до сих пор не выяснен. Связано это с тем, что большое количество факторов может повлиять на конформационный переход белка из нативного состояния в патологическое, с образованием агрегатов. К таким факторам относят протеолитическое расщепление белка, мутации, взаимодействия с лигандами, высокая концентрация белка и другие. Образование амилоидов многими белками, регулируемость этого процесса, широкое распространение в природе подчеркивает биологическую необходимость этих формирований. Исследования в этой области могут быть существенны для формирования представлений об механизме образования амилоидных фибрилл, а также для усовершенствования инсулиновой терапии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Довидченко, Н. В. Механизмы образования амилоидных фибрилл / Н.В. Довидченко, Е.И. Леонова, О.В. Галзитская // Успехи биологической химии. 2014;54:203–230.
2. Сурин А. К. Определение амилоидогенных участков, входящих в остов фибрилл инсулина / А.К. Сурин, С.Ю. Гришин, О.В. Галзитская // Биохимия. 2019;84:129–137.
3. Сулацкая А. И. Исследование кинетики образования амилоидных фибрилл на основе инсулина / А.И. Сулацкая, Е.А. Волова, Я.Ю. Комиссарчик // Цитология. 2013;55:809–813.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ДОКИНГА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЛИГАНДОВ БЕЛКА S1 SARS-COV-2 MODELING OF POTENTIAL PROTEIN S1 SARS-COV-2 LIGANDS

**С. Д. Бруякин<sup>1,2</sup>, Д. А. Макаревич<sup>1</sup>**  
**S. Bruyakin<sup>1,2</sup>, D. Makarevich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ГНУ «Институт биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси»,  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
Минск Республика Беларусь<sup>2</sup>  
bruyakin.sergey@gmail.com

<sup>1</sup>Institute of bioorganic chemistry NAN Belarus, Minsk, Republic of Belarus<sup>1</sup>

<sup>2</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

S1 домен S белка SARS-CoV-2 (далее S1 белок) – вероятно является основным фактором патогенеза при COVID-19. По нашему мнению, элиминация или снижение концентрации этого белка будет уменьшать воспалительный процесс и, соответственно, повреждение органов и тканей активированной иммунной системой. Проведение анализа комплексов Ангиотензинпревращающего фермента 2 (ACE2) и S1 белка (ACE2-S1), позволит определить олигопептиды, которые являются лигандами для связывания S1 белка, своевременное удаление которого из крови пациентов с коронавирусной инфекцией (COVID-19) позволит предотвратить развитие тяжелых мультиорганных осложнений. Кроме того, иммобилизованный олигопептид, связывающий S1 белок, будет способен удалять из организма вирусные частицы, находящиеся во внеклеточном пространстве [1].

The S1 protein of SARS-CoV-2 (hereinafter referred to as the S1 protein) is probably the main factor in the pathogenesis of COVID-19. In our opinion, the elimination or decrease in the concentration of this protein will reduce the inflammatory process and, accordingly, damage to organs and tissues by the activated immune system. An analysis of the complexes of the Angiotensin-converting enzyme 2 (ACE2) and the S1 protein (ACE2-S1) will determine the oligopeptides that are ligands for binding the S1 protein, the timely removal of which from the blood of patients with COVID-19 will prevent the development of severe multi-organ complications. Besides, the immobilized oligopeptide that binds the S1 protein will be able to remove from the body viral particles located in the extracellular space [1].

*Ключевые слова:* S1 белок, SARS-CoV-2, COVID-19, ангиотензинпревращающий фермент 2, молекулярный докинг, компьютерное моделирование.

*Keywords:* S1 protein, SARS-CoV-2, COVID-19, angiotensin converting enzyme 2, molecular docking, computer modeling.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-27-30>

В начале декабря 2019 г. первые случаи пневмонии неизвестного происхождения были выявлены в городе Ухань, провинция Хубэй, Китай. Высокопроизводительное секвенирование выявило новый бета-коронавирус, который в настоящее время называется новым коронавирусом 2019 г.

Гипервоспаление при COVID-19 может вызывать цитопению, коагулопатию, повреждение тканей, дисфункцию печени и активацию макрофагов, а также имеет признаки реактивного гемофагоцитарного лимфогистиоцитоза. Сверхпродукция воспалительных цитокинов может вызвать дисфункцию органов и, в конечном итоге, смерть.

Эти симптомы и связанные с ними лабораторные показатели сильно напоминают синдром токсического шока, усиление цитотоксического адаптивного иммунного ответа, при связывании патогенных суперантигенов с молекулами МНСII и рецепторами Т-клеток (TCR). Белок «шип» SARS-CoV-2 (деле S белок), играет ключевую роль в распознавании рецепторов и слияния с мембраной клетки. Согласно некоторым данным S белок содержит аминокислотный мотив с высоким сродством к TCR (тесно взаимодействует с комплементарными областями переменных доменов  $\alpha$ - и  $\beta$ -цепей). Связывающий эпитоп S1 белка содержит последовательность аминокислот, уникальную для SARS-CoV-2, которая очень похожа по структуре на бактериальные суперантигены. Эти данные предполагают, что S белок может действовать как суперантиген, стимулируя развитие цитокинового шторма у пациентов с COVID-19, также эти сведения имеют важное значение для разработки терапевтических подходов лечения COVID-19 [2].

Помимо местного повреждения, цитокиновый шторм также может оказывать системное действие на организм. Повышенный уровень цитокинов, таких как TNF- $\alpha$ , может вызвать септический шок и полиорганную недостаточность. Это может привести к повреждению миокарда и недостаточности кровообращения, наблюдаемым у некоторых пациентов. У пожилых людей (старше 60 лет) и людей с сопутствующими заболеваниями чаще развивается дисфункциональный иммунный ответ, который провоцирует патологические реакции. Точные причины этого неясны, хотя одной из причин может быть старение микроокружения легких, вызывающее измененное созревание дендритных клеток и их миграцию в лимфоидные органы, и тем самым нарушение активации Т-клеток. Напротив, у детей, как правило, не развивается тяжелое заболевание, несмотря на то что они могут иметь высокие титры вируса. Во всех возрастных группах младше 18 лет более 50% детей имели легкие симптомы или не имели симптомов, при этом менее чем у 6% детей развивались тяжелые симптомы. Таким образом полная картина критических иммунных факторов хозяина, которые лежат в основе развития более серьезных воспалительных реакций у некоторых пациентов, остается плохо определенной.

Научная гипотеза: S1 белок – основной фактор патогенеза при COVID-19. Элиминация или снижение концентрации этого белка будет уменьшать воспалительный процесс и, соответственно, повреждение органов и тканей активированной иммунной системой. Проведение анализа комплекса ACE2-S1 позволит определить олигопептиды, которые являются лигандами для связывания S1 белка, своевременное удаление которого из крови пациентов с COVID-19, позволит предотвратить развитие тяжелых мультиорганных осложнений течения данного заболевания.

В составе комплексного лечения COVID-19 используется гемосорбционная терапия, которая позволяет удалять из циркуляторного русла излишки провоспалительных цитокинов тем самым нормализуя биохимические показатели и редуцируя гипервоспаление.

Гемосорбция – это экстракорпоральный метод, принцип метода заключается в прохождении крови через картридж, где растворенные вещества селективно связываются с материалом сорбента.

Экстракорпоральное очищение крови было предложено как дополнение к комплексному лечению пневмонии вызванной SARS-CoV-2. Принцип лечения заключается в удалении провоспалительных цитокинов. Одним из одобренных методов очистки крови является использование CytoSorb (CytoSorbents Corp., Monmouth Junction, Нью-Джерси, США), нового устройства, в котором используются микрогранулы биосовместимого пористого полимерного адсорбента для удаления медиаторов воспаления. Несколько ретроспективных

исследований подтвердили, что гемосорбция может эффективно снижать уровни воспалительных факторов и значительно уменьшать смертность у пациентов с тяжелым септическим шоком [3].

Согласно результатам исследований университета медицинских наук Боболь, Иран гемосорбционная терапия способствует не только снижению концентрации цитокинов в плазме крови, но и улучшению оксигенации крови.

В исследовании приняли участие пять мужчин и пять женщин, средний возраст которых составил  $57,30 \pm 18,07$  года; у шести из них наблюдалось улучшение после вмешательства. Все участники прошли три сеанса гемоперфузии с применением смолы с использованием непрерывной заместительной почечной терапии с режимом непрерывной венозно-венозной гемофильтрации. Насыщение кислородом периферических капилляров (SpO<sub>2</sub>) изменялось после каждого сеанса. Среднее значение SpO<sub>2</sub> перед тремя сеансами гемоперфузии составляло  $89,60 \pm 3,94\%$ , а после них увеличилось до  $92,13 \pm 3,28\%$  ( $p < 0,001$ ). Уровень IL-6 в сыворотке снизился с  $139,70 \pm 105,62$  до  $72,06 \pm 65,87$  пг / мл ( $p = 0,073$ ); а с-реактивный белок уменьшился с  $136,25 \pm 84,39$  до  $78,25 \pm 38,67$  мг/л ( $P = 0,016$ ) [4].

Для анализа центра связывания ACE2-S1 использовали web сервис Protein Interactions Calculator (PIC) результаты представлены в таблицах 1–3, по нашему мнению, для моделирования олигопептидных лигандов наиболее привлекательными являются взаимодействия с длиной связи до 3 Å.

Таблица 1 – Водородные взаимодействия в центре связывания ACE2-S1

ACE2				S1 белок		
Позиция	Аминокислота	Атом	Длина связи, Å	Позиция	Аминокислота	Атом
502	GLY	N	2,78	353	LYS	O
30	ASP	OD2	2.90	417	LYS	NZ
42	GLN	NE2	3.24	446	GLY	O
38	ASP	OD2	2.70	449	TYR	OH
38	ASP	OD1	3.18	449	TYR	OH
42	GLN	NE2	2.79	449	TYR	OH
24	GLN	OE1	2.69	487	ASN	ND2
83	TYR	OH	2.79	487	ASN	OD1
31	LYS	NZ	2.93	493	GLN	NE2
34	HIS	O	3.35	493	GLN	NE2
35	GLU	N	3.47	493	GLN	NE2
35	GLU	OE2	3.50	493	GLN	NE2
35	GLU	OE1	3.13	493	GLN	NE2
353	LYS	NZ	3.08	496	GLY	O
42	GLN	OE1	3.38	498	GLN	NE2
42	GLN	NE2	2.93	498	GLN	NE2
41	TYR	OH	2.71	500	THR	OG1
355	ASP	OD2	3.34	500	THR	O
41	TYR	OH	3.43	501	ASN	OD1
37	GLU	OE2	3.46	505	TYR	OH

Всего обнаружено 20 водородных взаимодействий (таб. 1) длина связи варьировалась в пределах 2,69–3,7 Å.

Таблица 2 – Гидрофобные взаимодействия в центре связывания ACE2-S1 в пределах 5 Å

ACE2		S1 белок	
Позиция	Аминокислота	Позиция	Аминокислота
28	PHE	489	TYR
79	LEU	486	PHE
82	MET	486	PHE
83	TYR	486	PHE

При анализе центра связывания установлено 4 гидрофобных взаимодействия (таб. 2), длина связи в пределах 5 Å. Примечательно что во всех четырех случаях фигурирует аминокислота фенилаланин.

Таблица 3 – Ионные взаимодействия в центре связывания ACE2-S1 в пределах 6 Å

ACE2		S1 белок	
Позиция	Аминокислота	Позиция	Аминокислота
30	ASP	417	LYS
31	LYS	484	GLU
37	GLU	403	ARG

Определено 3 ионных взаимодействия (таб. 3), длина связи в пределах 6 Å. Также было найдено 1 ароматическое взаимодействие между 83 TYR S1 белка и 486 PHE ACE2 длина связи составила 5.15 Å и одно ароматическое взаимодействие между 82 MET и 486 PHE длина связи составила 4.28 Å.

На основе полученных данных в программе UCSF Chimera 1.15rc были сконструированы олигопептиды, а также выполнена оптимизация геометрии и минимизация энергии моделей пептидов и S1 белка методом AMBER. Молекулярный докинг проводили в UCSF Chimera 1.15rc с использованием расширения AutoDock Vina 1.1.2. В результате было получено 10 возможных вариантов связывания для каждого олигопептида, а также в программе рассчитаны значения RMSD l.b и RMSD u.b. для каждой позиции. Изначально для докинга использовалась модель S1 белка, полученная в результате обработки комплекса ACE2-S1 (PDB: 6M0J версия 2.5) эта модель имела сравнительно низкое расширение (2,45 Å) и некоторые проблемы с минимизацией энергии [5]. Поэтому для стандартизации докинга был использован S1 белок, вырезанный из комплекса ламового антитела и S1 белка (PDB: 6ZBP версия 1.0) разрешение полученной модели составило 1.85 Å. В таблице 4 представлены средние показатели связывания S1 белка и олигопептидных лигандов.

Таблица 4 – ΔG связывания олигопептидов с S1 белком

Олигопептиды	ΔG, -kcal / mol	ΔRMSD l.b.	ΔRMSD u.b.
GLN-ALA-LYS-THR-PHE	-5,84	5,45	8,1
PHE-LEU-ASP-LYS	-5,61	6,77	8,72
ASP-LYS-PHE-ASN-HIS	-6,1	9,09	11,62
ASP-LYS-PHE-ASN-HIS-GLU	-5,43	11,22	15,3
GLU-ALA-GLU-ASP	-5,37	7,75	9,92
ASP-LEU-PHE-TYR	-6,37	6,386	9,81
PHE-TYR-GLN	-6,49	13,62	16,32
LEU-ALA-GLN-MET-TYR	-5,91	7,28	10,61
LYS-GLY-ASP	-5,22	7,78	9,76
GLN-LYS-ASP-TYR	-5,95	3	6,52
GLN-ALA-LYS-THR-LEU-ASP-LYS	-4,59	8,47	12,59
GLN-ASP-ASP-TYR-GLN	-6,22	8,59	11,6

По нашему мнению, наиболее перспективными олигопептидами для проведения анализа in vitro являются модели с ΔG связывания менее -6 -kcal/mol.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Scaglione V, Soriano ER. Are Superantigens the Cause of Cytokine Storm and Viral Sepsis in Severe COVID-19? Observations and Hypothesis / Scaglione V, Soriano ER // Scandinavian Journal of Immunology. 2020.
2. Superantigenic character of an insert unique to SARS-CoV-2 spike supported by skewed TCR repertoire in patients with hyperinflammation / Cheng MH [et al.] // Proceedings of the National Academy of Science U.S.A. 2020;117:41:25254–25262.
3. Rescue of Cytokine Storm Due to HLH by Hemoabsorption in a CTLA4-Deficient Patient / Greil C [et al.] // Journal Of Clinical Immunology. 2017;37:3:273–276.
4. Effectiveness of extracorporeal blood purification (hemoabsorption) in patients with severe coronavirus disease 2019 (COVID-19) / Asgharpour M [et al.] // BMC Nephrology. 2020;21:356:1–10.
5. Actual Environmental Problems: Proceedings of the X International Scientific Conference of young scientists, graduates, master and PhD students, 2020 November 21–22, Minsk, Republic of Belarus / ISEI BSU; Maskevitch SA, Lemiasheuski VO (ed.). – Minsk, 2020. – P. 67.

**ПРЕДИКТОРЫ РАЗВИТИЯ САХАРНОГО ДИАБЕТА  
НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**PREDICTORS OF DIABETES DEVELOPMENT  
IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

**Е. Н. Будкова<sup>1</sup>, М. В. Лобанова<sup>2</sup>**  
**E. N. Budkova, M. V. Lobanova**

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь*

*<sup>2</sup>3-я городская клиническая больница им. Е.В. Клумова г. Минск, Республика Беларусь  
budkov@tut.by*

*<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>3rd city clinical hospital named after E.V. Klumov  
Minsk, Republic of Belarus*

В статье рассматриваются результаты проведенного статистического анализа наиболее вероятных причин, приводящих к возникновению и развитию сахарного диабета в Республике Беларусь на основе собранных и обработанных данных субъективного, объективного и лабораторно-инструментального обследования пациентов.

The article discusses the results of the statistical analysis of the most probable causes leading to the onset and development of diabetes mellitus in the Republic of Belarus on the basis, of the collected and processed data of subjective, objective, and laboratory-instrumental examination of patients.

*Ключевые слова:* сахарный диабет, метаболический синдром, статистический анализ, эндокринные нарушения.

*Keywords:* diabetes mellitus, metabolic syndrome, statistical analysis, endocrine disorders.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-31-34>

Состояние здоровья населения – один из важнейших показателей общественного развития. В связи с этим особое внимание необходимо уделять изучению закономерностей формирования уровней здоровья, проводить анализ и оценку его показателей у населения, разработать и внедрить наиболее эффективные и современные методы лечебно-профилактической работы.

В настоящее время установлена и четко просматривается зависимость здоровья населения страны от воздействия факторов среды обитания – экологических, образа жизни, условий труда, культуры питания, физической активности. Это выражается в изменении показателей заболеваемости и смертности населения. Социальные и биологические закономерности изменения показателей здоровья населения выделяют социально-медицинскую значимость массовых неэпидемических заболеваний, наиболее распространенных в Республике Беларусь.

Основной метод, позволяющий изучить состояние и динамику здоровья населения, – статистический. Он дает возможность исследовать важнейшие закономерности таких сложных массовых процессов, как заболеваемость, смертность, физическое развитие, воспроизводство различных групп населения в конкретных условиях труда, жизни и быта.

На сегодняшний день приобрело массовый и неконтролируемый характер такое заболевание, как сахарный диабет, один из основных компонентов метаболического синдрома. Для сахарного диабета характерно тяжелое осложненное хроническое течение, что оставляет за собой множество нерешенных вопросов своевременной диагностики и лечения. Знание этиологии, патогенеза, течения, контроля, профилактики этой патологии особенно актуальны в настоящее время.

Заболеваемость сахарным диабетом (СД) – хроническим и на данном этапе неизлечимым заболеванием – приобрела характер «неинфекционной эпидемии». 20 декабря 2006 года Генеральная Ассамблея ООН приняла Резолюцию по сахарному диабету, в которой стремительный рост заболеваемости СД объявлен чрезвычайной угрозой для всего мирового сообщества. Данная резолюция стала основанием для Соглашения о сотрудничестве государств – участников СНГ в борьбе с ростом заболеваемости СД и принятия соответствующего Закона Республики Беларусь от 7 июля 2009 г., определяющего действия по оптимизации диагностики и ведения пациентов, страдающих СД. По данным Международной диабетической федерации (IDF) в 2010 г. предполагалось, что в 2025 г. будет зарегистрировано около 380 млн. пациентов с СД [1]. Однако, по данным ВОЗ на 1 января 2020 г., количество жителей Земли, страдающих сахарным диабетом, уже составляло 463 млн. человек, при этом на каждого пациента приходится еще как минимум один, не предполагающий наличие у него данного заболевания.

В Республике Беларусь на 1 января 2020 г. на диспансерном учете находилось 352 538 пациентов с СД, в том числе с СД 1-го типа (СД1) – 18 110 человек, включая 2 438 детей, СД 2-го типа (СД2) – 330 838 человек,

гестационным СД – 636 человека, другими специфическими типами диабета – 2 954 человека. Динамика увеличения количества пациентов с СД в течение последних 5 лет составляет 5–8 % в год. В общей структуре распространенности сахарного диабета, СД2 в Республике Беларусь занимает 94 %. За последние 20 лет отмечается рост пациентов с сахарным диабетом в 3 раза [2].

Смертность пациентов с СД (от всех причин) в Республике Беларусь составила в 2019 г. 0,17 % на 100 тысяч населения (2016 г. – 0,09 %, 2017 г. – 0,101 %, 2018 г. – 0,107 %). По результатам национального STEPS-исследования факторов риска неинфекционных заболеваний, в том числе СД, установлено, что 63,7 % жителей – имеют избыточную массу тела, 25,4% – имеют ожирение, в том числе висцеральное ожирение – у 42,0 % мужчин и 63,5 % женщин; 72,9 % – включают в рацион меньше 5 порций фруктов и/или овощей в день, нарушают режим питания, злоупотребляют легкоусвояемыми углеводами, не контролируют количество потребляемой пищи; 13,2 % – не соответствуют рекомендациям ВОЗ по физической активности, ведут гиподинамический образ жизни; 44,9 % – имеют повышенное артериальное давление. Также выявлено, что 7,6 % – имеют повышенный уровень глюкозы в крови, что не соответствует распространенности СД по данным официальной статистики (распространенность 3,61%, из них 3,39% – пациенты с СД2), несмотря на увеличение количества больных на 5–8 % в год в течение последних 5 лет [3].

Основными причинами роста заболеваемости СД являются старение населения и увеличение числа людей с избыточной массой тела, приводящей к ожирению. Накоплению избыточного количества жира в организме способствует переизбыток животных жиров, содержащих насыщенные жирные кислоты (ЖК). Избыток ЖК провоцирует изменения структуры фосфолипидов клеточных мембран и нарушения экспрессии генов, которые контролируют проведение сигнала инсулина в клетку.

Снижение физической активности населения, или гиподинамия является существенным фактором внешней среды, способствующим развитию ожирения и СД2. Гиподинамия ведет к замедлению процессов липолиза и утилизации триглицеридов в мышечной и жировой тканях, снижению транслокации транспортеров глюкозы в мышцы, что является предпосылкой развития СД2.

Синдром обструктивного апноэ сна (СОАС) также является одним из сопутствующих факторов риска развития СД. СОАС страдает около 50% людей с избыточной массой тела, а также пациенты с заболеваниями органов дыхательной и сердечно-сосудистой систем. При хронической гипоксии во время сна у человека отсутствуют ночные пики выделения соматотропного гормона, что способствует нарушению углеводного обмена, приводящее к развитию СД [3].

В последние десятилетия произошел рост пациентов, страдающих СД, как среди лиц пожилого и среднего возраста, так и у детей, подростков и молодежи.

Проанализировав данные STEPS-исследования предикторов возникновения и развития СД в Республике Беларусь, выявлено, что у людей, страдающих СД, наиболее часто в анамнезе встречаются такие сопутствующие факторы риска, как перенесенные вирусные гепатиты А, В, С, избыточный вес, нарушения функций эндокринной системы, наследственная предрасположенность к СД, перенесенные острые и хронические заболевания органов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), стресс. В факторе острых и хронических заболеваний ЖКТ мы обобщили такие заболевания, как острая непроходимость кишечника, ущемленная пупочная грыжа, желудочно-кишечные кровотечения, острый и хронический панкреатит, острый и хронический холецистит, острый аппендицит, прободная язва желудка и 12-перстной кишки, цирроз печени. Исходя из полученных данных, проведен развернутый статистический анализ частоты встречаемости предикторов возникновения и развития СД с целью ранней диагностики и эффективной профилактики заболевания.

Анализ результатов исследования проводился с использованием пакета Statistica. Известно, что использование пакетов статистических программ существенно экономит время, позволяя быстро проанализировать большие объемы информации. Достаточно эффективно применение инструментов пакета Statistica, с помощью которых сводятся к минимуму случайные ошибки в расчетах, есть возможность выбора наиболее адекватного метода анализа и графического представления данных на всех этапах анализа, выявляются выпадающие значения.

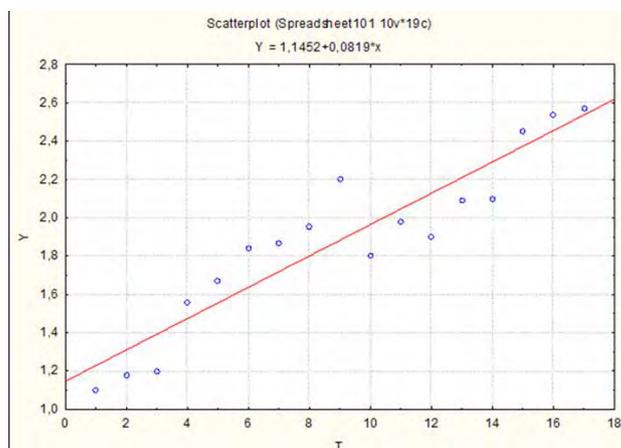


Рис. 1 – Диаграмма рассеивания

По построенной диаграмме рассеивания можно сделать вывод, что совокупность вполне однородна, следовательно, можно предположить, что результаты исследования будут адекватны.

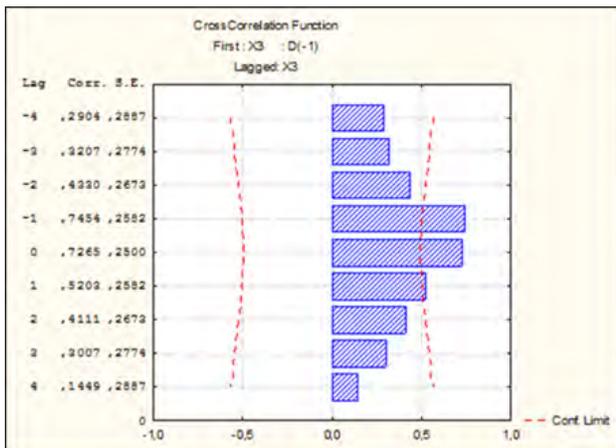


Рис. 2 – Функция перекрестной корреляции (% людей с нарушениями функций эндокринной системы)

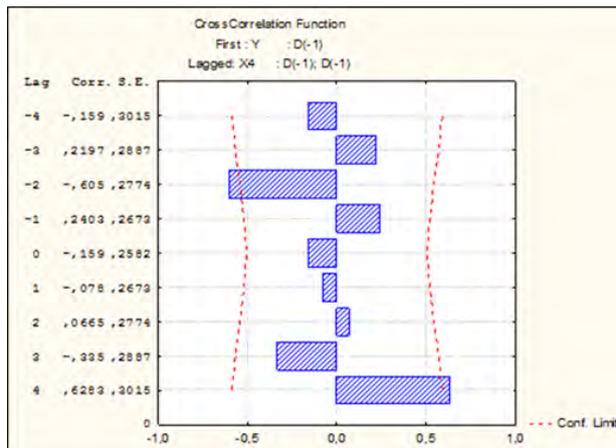


Рис. 3 – Функция перекрестной корреляции (% людей с наследственной предрасположенностью к развитию СД)

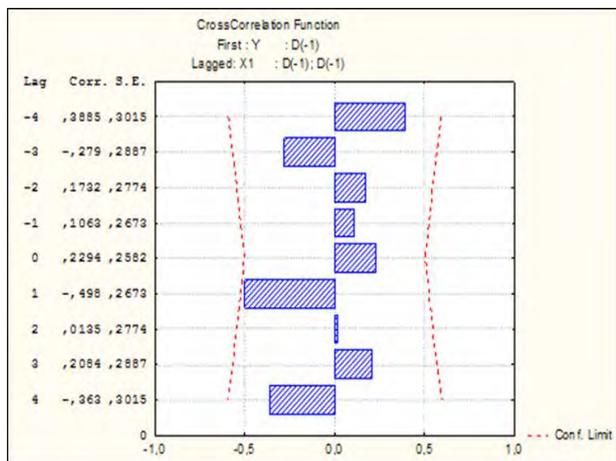


Рис. 4 – Функция перекрестной корреляции (% людей, перенесших вирусные гепатиты)

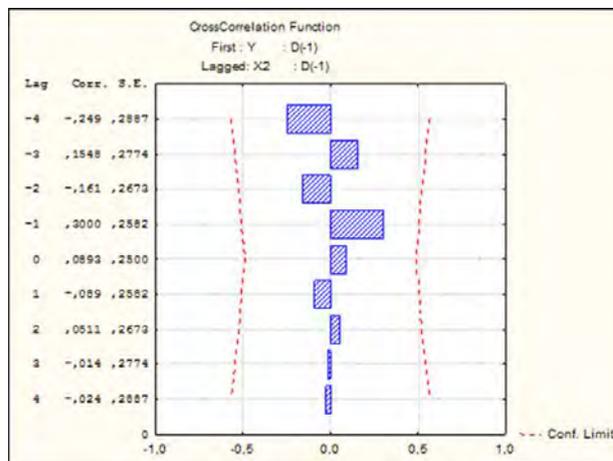


Рис. 5 – Функция перекрестной корреляции (% людей, с избыточным весом)

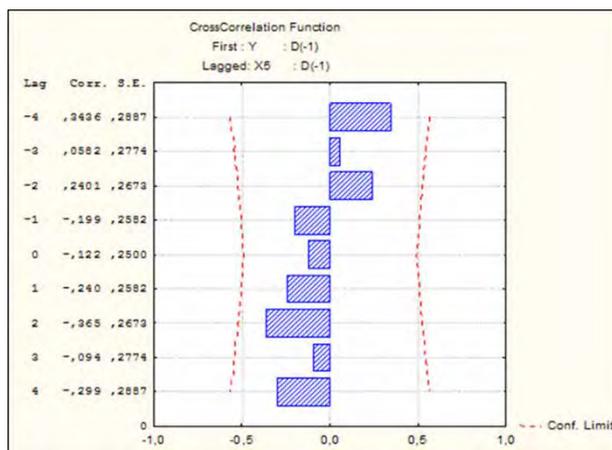


Рис. 6 – Функция перекрестной корреляции (% людей, перенесших острые и хронические заболевания ЖКТ)

Проанализировав результаты проведенного исследования выявлено, что основными причинами развития сахарного диабета в Республике Беларусь являются наследственная предрасположенность к данному заболеванию и нарушения функций эндокринной системы.

Совокупность метаболических нарушений в начальной стадии СД в организме длительное время протекает бессимптомно. За медицинской помощью пациенты обычно обращаются по поводу клинически выраженных проявлений СД, что существенно ухудшает качество жизни и прогноз. Профилактика и своевременная ранняя

диагностика предикторов развития СД позволяет идентифицировать категорию лиц с высоким риском предрасположенности к заболеванию для проведения активного наблюдения и эффективного лечения.

Профилактические методы наиболее успешны и эффективны наряду с использованием образовательных программ и проведением своевременной коррекции модифицируемых факторов риска немедикаментозными методами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. International Diabetes Federation. Diabetes Atlas 6th Edition, 2013 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.diabetesatlas.org/en/>. – Date of access: 20.01.2021.

2. Интернет-портал министерства здравоохранения Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by/>. – Дата доступа: 24.01.2021.

3. Карлович, Н. В. Сотрудничество государств – участников СНГ в борьбе с глобальной пандемией сахарного диабета [Электронный ресурс] // Экспертный совет государств – участников СНГ по проблемам диабета. – Режим доступа: [https://cis.minsk.by/news/17738/sotrudnichestvo\\_gosudarstv\\_uchastnikov\\_sng\\_v\\_borbe\\_s\\_globalnoj\\_pandemiej\\_saharnogo\\_diabeta/](https://cis.minsk.by/news/17738/sotrudnichestvo_gosudarstv_uchastnikov_sng_v_borbe_s_globalnoj_pandemiej_saharnogo_diabeta/). – Дата доступа: 02.02.2021.

## ИНФОРМАЦИЯ НЕФЕЛОМЕТРИЧЕСКОГО И ГЕМОЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОМПЛЕМЕНТА

### INFORMATION OF NEPHELOMETRIC AND HEMOLYTIC METHODS FOR STUDYING THE COMPLEMENT SYSTEM

*Т. П. Володащук, Т. Р. Романовская*

*T. Volodashchik, T. Romanovskaya*

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*[tvolodashchik@gmail.com](mailto:tvolodashchik@gmail.com)*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Система комплемента относится к важным гомеостатически активным системам, испытывающим нагрузку факторов окружающей среды. С учётом значения и роли системы комплемента в эффекторных реакциях иммунитета и связи комплемента с различными гомеостатическими системами организма важно понимать, как изменяется комплемент при различных патологических состояниях организма. Для этого нужно иметь четкое представление о состоянии системы комплемента в клинически здоровом организме.

The complement system refers to important homeostatic active systems that are under stress from environmental factors. Taking into account the significance and role of the complement system in the effector reactions of immunity and the relationship of complement with various homeostatic systems of the body, it is important to understand how complement changes in various pathological conditions of the body. To do this, we need to have a clear understanding of the state of the complement system in a clinically healthy body.

*Ключевые слова:* система комплемента, нефелометрический метод исследования, гемолитический метод исследования.

*Keywords:* complement system, nephelometric research method, hemolytic research method.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-34-37>

Новые представления о вовлеченности комплемента в заболевания человека и его биологическом значении в иммунной защите неразрывно связаны с процессом диагностических методов анализа комплемента, потому как именно он имеет первостепенное значение в патогенезе множества заболеваний. Функциональная активность системы комплемента зависит от специфических и неспецифических иммунных реакций, от соотношения протеолитических и антипротеолитических компонентов плазмы крови, а также от состояния органов и клеток, продуцирующих белки системы комплемента.

Тесная связь между состоянием организма человека и уровнем активности системы комплемент детерминирует необходимость определения в сыворотке крови таких показателей, как концентрация компонентов комплемента и их функциональная активность [1, 2].

В данном исследовании наблюдалась широкая вариабельность концентрации и функциональной активности С1–С5 компонентов комплемента у лиц, составивших изученную выборку. Статистический анализ влияния пола и возраста изучаемой клинически здоровой группы на представленность и функциональную активность С1–С5 компонентов не выявил никакой зависимости.

Система комплемента у клинически здоровых доноров в возрасте от 19 до 63 лет (среди них 11 мужчин и 18 женщин) отличается отсутствием внутрисистемных функциональных связей, что отражает отсутствие активации в момент взятия крови для исследования.

Концентрация C1 – C5 компонентов комплемента и функциональная активность C1, C2, C3, C4 и C5 компонентов варьируют в широких пределах у разных лиц, составивших исследуемую выборку. Введение в аналитическую базу показателей соотношения отдельных компонентов в общем составе системы комплемента по концентрации и по функциональной активности в сыворотке крови клинически здоровых лиц позволило получить профиль C1-C5.

Поскольку в настоящем исследовании изучалось состояние C1 – C5 компонентов, то в качестве общего состава системы комплемента была выбрана сумма этих компонентов. Соотношение отдельных компонентов системы комплемента ( $V_c$ ) в общей сумме определялось по формулам:

а) для показателя содержания компонентов комплемента в сыворотке крови, определяемого нефелометрическим методом –  $V_c = [cC1]/([cC1] + [cC2] + [cC3] + [cC4] + [cC5])$ , где  $c$  – концентрация определённого компонента;  $C$  – компонент комплемента, цифрами указаны наименования компонентов;

б) для показателя функциональной активности компонентов комплемента в сыворотке крови, определяемой методом гемолитического титрования –  $V_z = [ZC1]/([ZC1] + [ZC2] + [ZC3] + [ZC4] + [ZC5])$ , где  $Z$  – гемолитическая активность указанного компонента комплемента.

После определения  $V_c$  (показателя соотношения содержания отдельных компонентов комплемента в общей сумме компонентов C1 – C5) и  $V_z$  (показателя соотношения функциональной активности компонентов комплемента в общей сумме активности C1 – C5) все исследованные образцы сывороток крови клинически здоровых лиц были разгруппированы на варианты по состоянию C1 – C5 системы комплемента. Было выделено четыре варианта  $V_c$  и семь вариантов  $V_z$ .

Для анализа состояния комплемента, обеспечиваемого показателями соотношения отдельных компонентов комплемента в общей сумме компонентов C1 – C5 были сформированы гистограммы (рисунок 1 и 2).

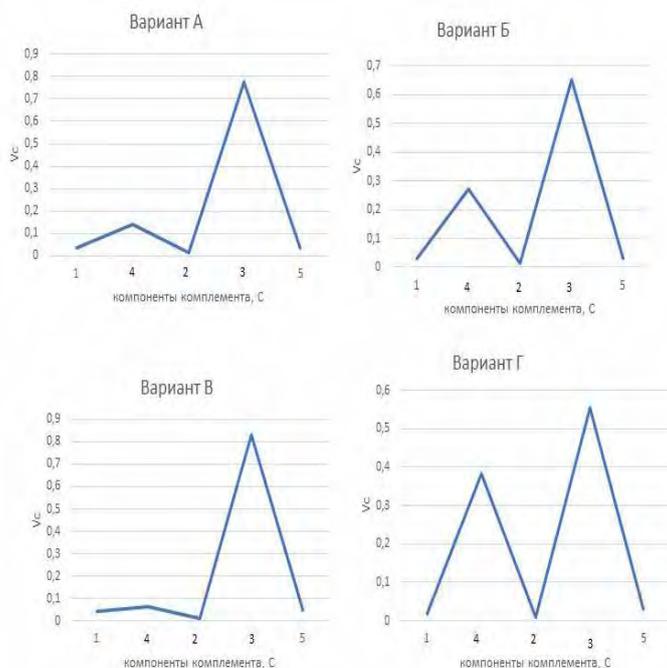


Рис.1 – Варианты состояния системы комплемента, обеспечиваемые  $V_c$ , как показателем соотношения содержания отдельного компонента к сумме C1-C5

**Вариант А** встречается в обследованной выборке клинически здоровых доноров максимально часто (41%). Он характеризуется наличием различий в связке «C1 → C4 → C2» при практическом равенстве удельно занимаемого места C1 и C2. C3 представлен существенно значительнее остальных компонентов, а C5 находится примерно на одном уровне с C1 и C2.

Такое состояние комплемента на наш взгляд означает пребывание системы в достаточности готовности к активации: C3, обеспечивающий как классический каскад, так и альтернативный, реально занимает самое существенное положение, инициальные компоненты классического пути различаемы, а C5 минимален, что означает отсутствие процесса активации комплемента.

**Вариант Б** встречается незначительно реже, чем вариант А (35%). В отличие от варианта А он отличается существенным увеличением удельного присутствия C4. Это состояние мы характеризуем «состоянием мобилизации системы комплемента».

Вполне возможно, что вариант Б, как состояние системы комплемента, отражает те изменения гомеостаза организма клинически здоровых доноров, у которых наблюдается этот вариант, которые могут потребовать активацию или иное участие комплемента в гомеостатических процессах.

**Вариант В** встречается реже, чем варианты А и Б (21%). Его отличием является сглаженность присутствия С1, С4, С2 и С5 на фоне высокого удельного присутствия С3. Это состояние системы комплемента может соответствовать состоянию покоя. Механизмы его обеспечения и физиологические особенности требуют отдельного изучения.

**Вариант Г** мы наблюдали в рамках предпринятого исследования только у 1 донора (3%). Этот вариант можно представить «стремлением С4 к уровню представленности С3». На наш взгляд такое состояние системы комплемента может означать сформированность передачи неких активационных сигналов от С4 к С3, т.е. наличие связанности в формулярах функционального состояния компонентов.

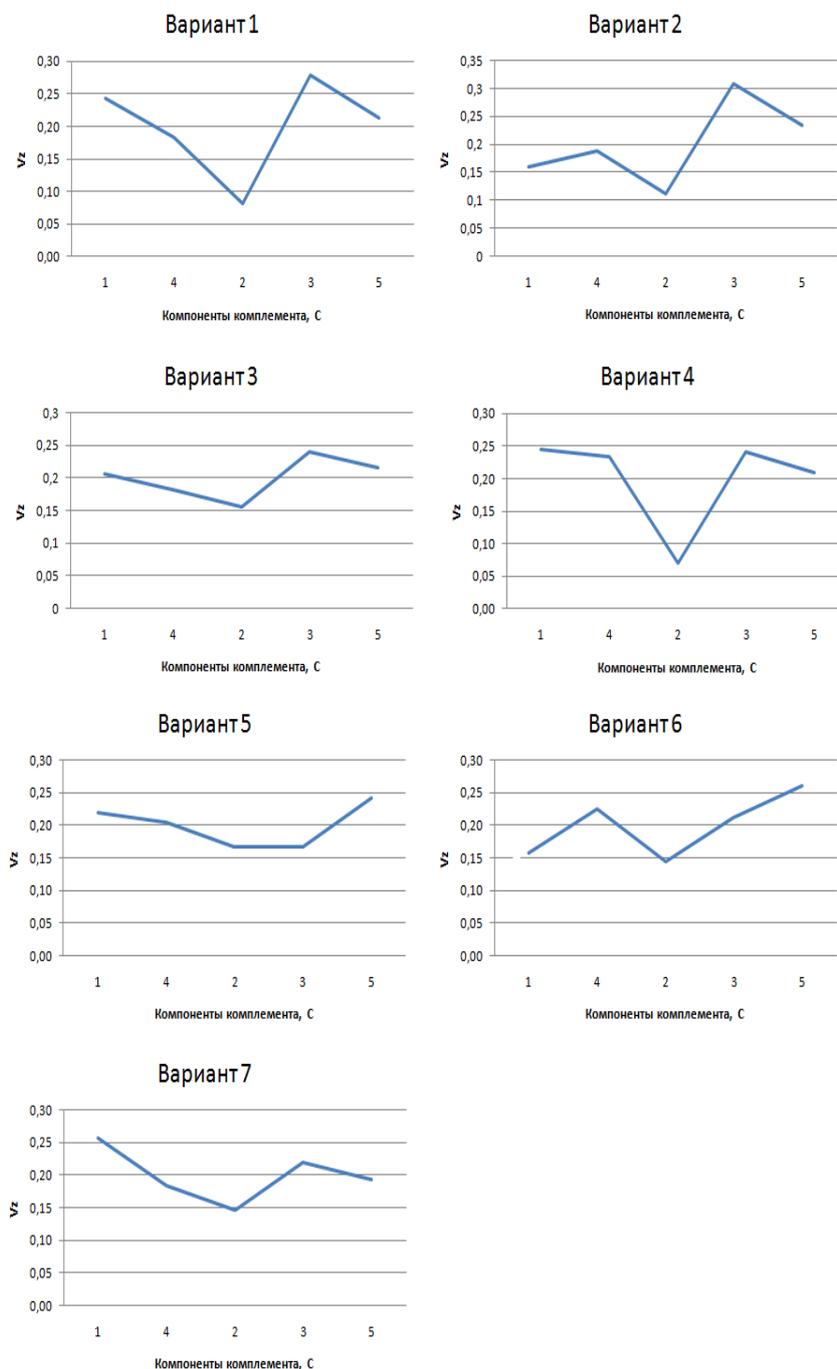


Рис.2 – Варианты состояния системы комплемента, обеспечиваемые Vz, как показателем соотношения функциональной активности отдельного компонента к сумме С1-С5

**Вариант 1** в проанализированной выборке клинически здоровых доноров встречается наиболее часто – 13 раз (45%). Он характеризуется постепенным спадом удельной представленности функциональной активности компонентов в связке «С1 → С4 → С2» с достаточно низким С2. Этот вариант логично понимать ограничением

вероятной активности C1 (так как C1 выставлен в каскаде активации комплемент первым, его представленность определяет возможности каскада в целом) со стороны следующих компонентов (C4 и C2). Вполне возможно, что такой профиль удельной представленности функциональной активности C1 – C5 обозначает самоконтроль комплемента в направлении недопущения каскада активации.

**Вариант 2** встречается в 32% случаев. Характерной особенностью является существенно сниженная удельная функциональная активность C1, выступающая ниже C4. Этот вариант мы понимаем последовательностью расширения пространственно занимаемого участия компонентов и ограничения пространственно занимаемого участия последующим компонентом. Пространственное расширение позволяет проявление протеазной активности последующего компонента для перехода неучаствующего в каскаде субкомпонента в жидкую фазу, т.е. в свободное пространство. Если такое расширение не происходит, то протеолиз компонента его предшественником оказывается неэффективным. Поэтому данный вариант 2 представляется нам сформированной площадкой для включения каскада активации комплемента. Он может быть запущен сразу после появления в крови иницирующего агента.

**Вариант 3** наблюдается у двух клинически здоровых доноров (7%) в рамках данного исследования. В отличие от варианта 1, характеризуется более плавным спадом удельной функциональной активности компонентов в связке «C1 → C4 → C2» за счет повышенного уровня C2. Переход от каскадности к плавности снижения удельной активности указанных компонентов может обеспечивать прекращение наращивания участия компонентов в собираемом комплексе. А это означает недоведение активационного каскада до возможности сборки МАК. Можно предположить, что активация системы комплемента у этих доноров будет иметь прерванный характер. Он, в свою очередь, может быть обусловлен дефицитом терминальных компонентов комплемента (C7 – C9), либо он может являться признаком отвлечения активации комплемента на нужды его дополнительных функций, включая опсонизацию, хемотаксис и организацию воспаления.

**Вариант 4**, как и вариант 3, встречается у двух доноров (7%). Его отличительной особенностью является низкая удельная функциональная активность C2 при практическом равенстве между C1, C4, C3 и C5. Как известно, C2 выделяется в ряду остальных компонентов комплемента чувствительностью к нагреванию. Этим своим качеством C2 детерминирует на уровне целостной системы комплемента уровень её активности в определённых условиях. Таким образом, данный вариант можно объяснить лимитированием способности системы комплемента к активации первичного характера, или вторичного – как результат утраты активности регуляторных компонентов (перечислите) с переходом груза контроля за уровнем активации комплемента на C2.

**Вариант 5** встречается только у одного донора (3%). Данный вариант характеризуется значительно сниженной удельной функциональной активностью C3, количественно соответствующей уровню C2. Между уровнями удельной функциональной активности C1, C4 и C5 незначительные различия. Как и для варианта 3, в данном варианте мы предполагаем отвлечение системы комплемента от потенции каскадной активации для других нужд организма. Например, в данном случае наблюдаемый профиль может указывать на гомеостатическую ассоциацию функциональности комплемента с системой свёртывания крови. Вполне возможно, что именно такой вариант может оказаться прогностически опасным при осложнённом ДВС-синдромом патологическом состоянии.

**Вариант 6** также встречается 1 раз (3%). Этот вариант базируется на высокой удельной функциональной активности C5 относительно других компонентов. Можно предположить, что у данного донора внутри системы комплемента происходит борьба за разделение компонентов на несколько путей активации. В качестве причин такого состояния имеет смысл рассмотреть особенность процессинга антигенной информации иммунной системой: в одном антигене иммунная система продолжает видеть и полисахаридные компоненты (они активируют альтернативный путь), и лектин (он активирует лектиновый путь), но и сам антиген в связи с антителом. Пролонгирование данного варианта профиля системы комплемента на наш взгляд чревато истощением пула инициальных компонентов комплемента.

**Вариант 7** наблюдается у одного клинически здорового донора (3%). Отличительной чертой от варианта 3 является высокая удельная функциональная активность C1. Превышение активностью C1 некоего предела с выведением его на первую ступень иерархии комплемента может означать неразличимость его субъединиц. А это, в свою очередь, предопределяет невозможность развития в организме классического пути активации системы комплемента. Такое состояние очень опасно с позиции выведения иммунных комплексов (Аг-Аг) из-под возможности растворения комплементом, что означает предрасположенность организма к иммунокомплексному васкулиту.

Анализ профилей активности C1 – C5, определённых нефелометрическим и гемолитическим методами, позволяет установить состояние мобилизации системы комплемента, состояние готовности к активации, состояние самоконтроля системы комплемента, а также другие варианты, включая расширение пространственного присутствия комплемента в организме и колебания векторной переустановки. Данные результаты показывают важность нефелометрического и гемолитического методов исследования для понимания полной картины функционирования и представленности системы комплемента в клинически здоровом организме. При дальнейшей разработке данного научного направления высоко вероятно понимание прогностического значения системы комплемента на индивидуальном уровне.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Atkinson, J.* The Human Complement System: Basic Concepts and Clinical Relevance / J. Atkinson, T. Clos, C. Mold // *Journal of Immunology*. 2018. № 4. P. 301–303.
2. *Costa, M. G.* Age and Sex-Associated Changes of Complement Activity and Complement Levels in a Healthy Caucasian Population / M. G. Costa [et al] // *Frontiers in Immunology*. 2018. Vol.9. P 14–15.

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ШТАММА-ПРОДУЦЕНТА  
КСАНТОЗИНФОСФОРИЛАЗЫ *ESCHERICHIA COLI*  
STUDY ON POTENTIAL ENGINEERING OF *ESCHERICHIA COLI* XANTHOSINE  
PHOSPHORYLASE STRAIN-PRODUCER**

**А. В. Дайнеко<sup>1</sup>, А. Б. Булатовский<sup>2</sup>, А. И. Зинченко<sup>1,2</sup>  
A. Daineko<sup>1</sup>, A. Bulatovskiy<sup>2</sup>, A. Zinchenko<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт Микробиологии НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь  
daineko@list.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Institute of Microbiology NAS Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Генная инженерия является активно развивающейся отраслью современной биотехнологии. С использованием методов генной инженерии можно конструировать новые формы микроорганизмов, способных синтезировать самые различные вещества, в том числе и ферменты. Ксантозинфосфорилаза, также известная как вторая пуриновая нуклеозидфосфорилаза в *E. coli*, осуществляет как реакцию фосфоролитического расщепления, так и синтеза пуриновых дезокси / рибонуклеозидов. Благодаря такой способности ксантозинфосфорилаза может катализировать реакцию образования никотинамидрибозидов. Данное соединение является предшественником важнейшего в организме кофермента НАД<sup>+</sup>, выполняющего ключевую роль в процессе старения.

В результате проведенного исследования сконструирован новый штамм *E. coli* pET42a-харА, продуцирующий белок ксантозинфосфорилазы.

Genetic engineering is an actively developing branch of modern biotechnology. Using the methods of genetic engineering, it is possible to construct new forms of microorganisms that can synthesize a variety of substances, including enzymes. Xanthosine phosphorylase is the second purine nucleoside phosphorylase (PNP-II) in *E. coli*. This enzyme performs both reactions of phosphorolysis and the synthesis of purine deoxy / ribonucleosides. Due to this ability, xanthosine phosphorylase can catalyze the reaction of the formation of nicotinamide riboside. This substance is a precursor of the most important coenzyme NAD<sup>+</sup> in the body, which plays a key role in the aging process.

As a result of the study, a new strain of *E. coli* pET42a-харА was constructed. This strain produces the protein xanthosine phosphorylase.

*Ключевые слова:* никотинамидрибозид, ксантозинфосфорилаза, инозин, *Escherichia coli*.

*Keywords:* nicotinamide riboside, xanthosine phosphorylase, inosine, *Escherichia coli*.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-38-41>

В настоящее время значительно расширилась область изучения процессов старения. Исследования кофермента НАД<sup>+</sup> предоставили возможность изучить патогенез данного процесса в организме. Снижение уровня содержания данного химического соединения в организме стало главной причиной возрастного функционального спада и болезней старческого возраста [1].

Существует несколько путей синтеза кофермента НАД<sup>+</sup>, но одним из важнейших является «селвидж»-путь, в ходе которого он продуцируется из предшественников: никотинамида, никотинамидрибозидов и никотинамидмононуклеотида. Повысив уровень прекурсоров, можно значительно восполнить уровень НАД<sup>+</sup>, утраченного в процессе старения организма [2]. Исследования зарубежных авторов показали, что никотинамидрибозид является наиболее альтернативным предшественником данного кофактора.

Современный уровень знаний биохимии, молекулярной биологии и генетики позволяет рассчитывать на успешное развитие новой биотехнологии – генной инженерии. Данная область современной биотехнологии добилась самых впечатляющих результатов в современном мире. Одним из способов получения никотинамидрибозидов является использование рекомбинантного фермента ксантозинфосфорилазы, также известного как пуринонуклеозидфосфорилаза-II (ПНФ-II). С помощью генетических и биохимических исследований зарубежных авторов было обнаружено, что ксантозинфосфорилаза в клетках *E. coli* катализирует реакцию получения никотинамидрибозидов из никотинамида. Данный фермент использует никотинамид гораздо менее эффективно, что указывает на то, что никотинамид является нетипичным субстратом. Поэтому возможность конвертировать

никотинамид в никотинамидрибозид оказывает «побочным эффектом» для ксантозинфосфорилазы. Однако такой побочный эффект является достаточным для поддержания выживаемости *E. coli* [3].

ПНФ-II катализирует обратимую фосфоролитическую реакцию, при которой расщепляются пуриновые рибо/дезоксирибонуклеозиды с образованием свободного основания и рибозо-1-фосфат [4].

Исходя из вышеизложенного возможно осуществление реакции получения никотинамидрибозида, используя фермент ксантозинфосфорилазу в два этапа:

1. Получение рибозо-1-фосфата, используя пуриновый нуклеозид.
2. Получение никотинамидрибозида из никотинамида.

На первом этапе происходит фосфоролитическое расщепление пуринового нуклеозид. В качестве субстрата используется инозин либо ксантозин, поскольку активность фермента ксантозинфосфорилазы наиболее оптимальна в присутствии данных субстратов. В качестве донора фосфатной группы используется неорганический фосфат. На втором этапе идет реакция синтеза пуринового нуклеозид [4].

В связи с изложенным выше, целью работы явилось: создание штамма-продуцента гомологичной рекомбинантной ксантозинфосфорилазы.

Источником гена *xapA*, кодирующего последовательность аминокислот в ксантозинфосфорилазе *E. coli*, служила геномная ДНК штамма бактерии *E. coli* K-12. Клетки культивировали в присутствии ксантозина. Экспрессия гена строго зависит от присутствия данного соединения в качестве индуктора [4].

Геномную ДНК из биомассы клеток *E. coli* K-12 выделяли с помощью коммерческого набора QIAamp DNA Mini Kit (Qiagen, США). Клонирование гена *xapA* производили методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) с применением специально подобранных праймеров (таблица 1).

Таблица 1 – Последовательности олигонуклеотидных праймеров

Праймер	Назначение
<i>xapA_F</i> (5'-GTGGTGGTCCACAACATGTCTCAGGTTCAATTTCTCA-3')	Прямой праймер для амплификации гена <i>xapA</i>
<i>xapA_R</i> (5'-GGTGATGGTGATGCTCTCAGGCAATTTGCGCAG-3')	Обратный праймер для амплификации гена <i>xapA</i>
pET 42 linF (5'-CATATGTATATCTCCTTCTTAAAGTTAAACAAAATATTTCTAGAG-3')	Прямой праймер для амплификации плазмиды pET-42a (+)
42 lnt_R (5'-GTTGTGGACCACCACCATATGTATATCTCCTTCTT-3')	Обратный праймер для амплификации плазмиды pET-42a (+)

На следующем этапе мы создавали генетическую конструкцию, состоящую из плазмиды и встроенного в нее целевого гена. В данной работе была использована плаزمида pET-42a (+), т.к. система pET является наиболее мощной и разработана для клонирования и экспрессии рекомбинантных белков в *E. coli*. Данная плаزمида была амплифицирована и линейризована методом ПЦР с применением специально подобранных праймеров (таблица 1). Встраивание гена в плазмиду проводили методом продолжительной перекрывающейся ПЦР (ПП-ПЦР) [5]. Данный метод основан на удлинении перекрывающейся области между вставкой и векторным фрагментом с образованием протяженной конкатамерной генетической конструкции. Таким образом была получена генетическая конструкция, обозначенная нами pET42a-xapA.

Полученной ПЦР-смесью трансформировали компетентные клетки штамма *E. coli* BL21(DE3). В данном штамме полностью отсутствует «фоновая» экспрессия, поскольку транскрипция и сопряженная с ней трансляция клонированного гена возможны только после индуцированного синтеза фаговой РНК-полимеразы. Клонирование гена в плазмиду pET обеспечит гарантированное попадание вставки ДНК в нужную рамку чтения.

Трансформированные бактерии высевались на плотную LB-среду с селективным антибиотиком (канамицином) и росли в течении 24 ч, по прошествии этого времени, выросшие колонии анализировались по признакам на цвет, прозрачность, текстуру края колоний. По совокупности правильных признаков (колонии прозрачные, с ровным краем, светло-бежевого цвета) был сделан вывод, что трансформация бактерий прошла успешно. ДНК клонов подвергли ПЦР-скринингу для подтверждения наличия гена *xapA*.

Клетки-трансформанты культивировали в жидкой питательной среде LB при 37°C на термостатированном биологическом шейкере. По достижению оптической плотности 0,6 при  $\lambda=600$  нм добавляли в среду 0,5 мМ изопротил- $\beta$ -D-1-тиогаалактопиранозид (ИПТГ) до конечной концентрации 0,2 мМ, для индукции синтеза ксантозинфосфорилазы. Далее продолжили процесс культивирования клеток 3 ч. Причем каждый час отбиралась аликвота (1 мл) для оценки наработки белка. По окончании культивирования клетки осаждали центрифугированием и ресуспендировали в 50 мМ К-фосфатном буфере (рН 8,0).

Отобранные аликвоты подвергали ультразвуковой дезинтеграции с помощью прибора Sonifier-450 (Branson, США) при следующих режимах: мощность – 0,05 кВт; температура – 4 °С; продолжительность – 1 мин.

На следующем этапе исследования проводили электрофорез белка в полиакриламидном геле (рис. 1). Известно, что размер белка ксантозинфосфорилазы 31,3 кДа. Исходя из размера, нами был выбран 12% разделяющий гель. В лунки концентрирующего геля были внесены 6 образцов и маркер. Для окрашивания геля использовали краситель кумасси бриллиантовый голубой R250.

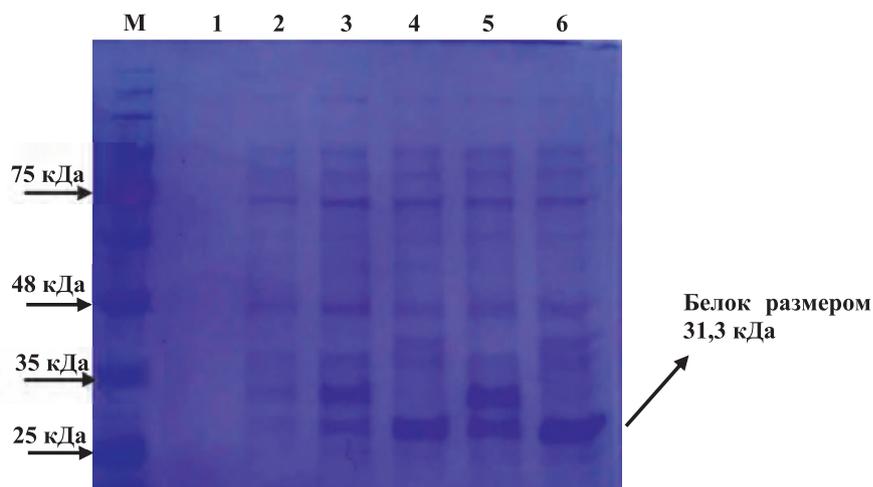


Рис. 1 – Электрофореграмма в DCH-полиакриламидном геле ксантозинфосфорилазы до индукции (1) и после индукции белка (2–6)

Из электрофореграммы видно, что в образцах находится исследуемый белок, который соответствует размеру 31,3 кДа. Также можно отметить то, что максимальное накопление белка наблюдается спустя 3 ч после начала индукции.

На следующем этапе работы определяли активность белка в реакционной смеси, содержащей 1 мМ инозин, 40 мМ КФБ (рН 7,0) и 0,05% ксантозинфосфорилазы (добавляли последней). В данной реакции происходит фосфорилиз инозина под действием ксантозинфосфорилазы (рис. 2).

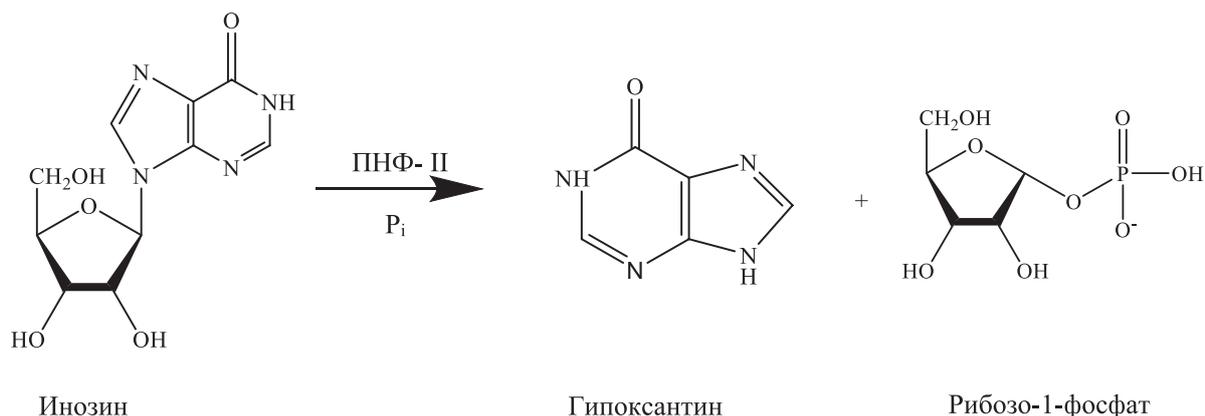


Рис. 2 – Схема разложения инозина под действием ксантозинфосфорилазы

Реакция была проведена на водяной бане с постоянным помешиванием и определенной температурой 37°C, которая является оптимальной для работы исследуемого фермента. Через каждые 5 мин анализируемый раствор наносили на стартовую линию хроматографической пластинки с помощью стеклянного капилляра в объеме 3 мкл. В качестве элюента использовали смесь растворителей: 10 мл хлороформа, 10 мл изопропанола и 1 мл аммиака. Хроматограмму визуализировали при ультрафиолетовом свете (рис. 3).

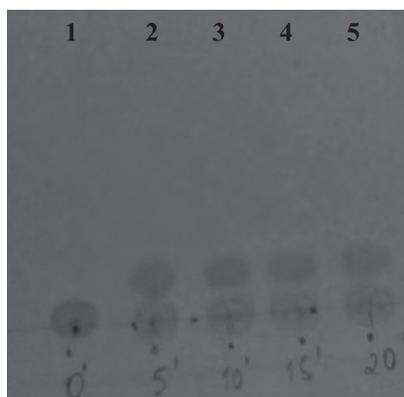


Рис. 3 – Визуализация хроматограммы под ультрафиолетовым светом: 1 – образец перед внесением фермента; 2 – на 5-й мин, 3 – на 10-й мин; 4 – на 15-й мин; 5 – на 20-й мин.

Из хроматограммы видно, что в образце под номером 1 не наблюдается протекания реакции, так как проба была взята до внесения фермента. Но в образцах 2–5 визуализируется продукт реакции, предположительно гипоксантин, так как рибозо-1-фосфат не поглощает ультрафиолетовый свет. Таким образом, можно судить о том, что ксантозинфосфорилаза проявляет каталитические свойства в реакции фосфорилиза инозина.

В результате выполненного исследования был сконструирован штамм *E. coli* pET42a-харА, продуцирующий рекомбинантную ксантозинфосфорилазу. Также была доказана активность данного фермента в отношении инозина. В дальнейшей работе планируется очистить белок и количественно определить его продуцирующую способность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. NAD<sup>+</sup> in Aging: Molecular Mechanisms and Translational Implications / E. F. Fang [et al.] // Trends in Molecular Medicine. 2017;23:10:899–916.
2. Yoshino J. NAD<sup>+</sup> Intermediates: The Biology and Therapeutic Potential of NMN and NR / Yoshino J, Joseph BA, Imai S // Cell Metabolism. 2018;27:3:513–528.
3. New function for *Escherichia coli* xanthosine phosphorylase (харА): genetic and biochemical evidences on its participation in NAD<sup>+</sup> salvage from nicotinamide / Dong W [et al.] // BMC Microbiology. 2014;14:29:1471–2180.
4. Hammer-Jespersen K. A second purine nucleoside phosphorylase in *Escherichia coli* K-12. II. Properties of xanthosine phosphorylase and its induction by xanthosine / Hammer-Jespersen K, Buxton RS, Hansen TD // Molecular and General Genetics. 1980;179:2:341–348.
5. Could nested PCR be applicable for the study of microbial diversity / Quan ZX [et al.] // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2009;25:8:1447–1452.

## СИНТЕЗ ТРИГИДРОКСИ-ИНОЗИНА SYNTHESIS OF TRIHYDROXY-INOSINE

**Е. С. Деусова, М. А. Ханчевский, Е. И. Квасюк**  
**E. S. Deusova, M. A. Khancheuski, E. I. Kvasyuk**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
liza20010226@gmail.com  
Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

Нуклеозиды, имеющие в своём составе остатки «разорванного» углеводного фрагмента в виде диальдегида или триола обладают необычным строением и называются секо-нуклеозидами. Они обладают широким спектром биологической активности, которая до настоящего времени изучена недостаточно. Это связано с высокой реакционной способностью альдегидных и гидроксильных групп, приводящей к неоднозначности структуры соединений. В работе представлены два подхода к синтезу тригидрокси-инозина из инозина. Показано, что метод окисления диольной группировки нуклеозидов с помощью ионообменной смолы в  $\text{IO}_4^-$ -форме имеет преимущества перед традиционным методом, использующим  $\text{NaIO}_4$ .

Nucleoside derivatives with broken sugar moiety like dialdehydes or trioles have unusual structures and are called seco-nucleosides. They have different types of biological activity which till this time have not been studied enough. It is a result of the high reactivity of aldehydes and hydroxyl groups and the unusual structure of compounds. This article presents two approaches for the synthesis of trihydroxy-inosine from inosine. It was shown that the method for oxidation of diol groups of ribonucleosides using the ion exchange resin in  $\text{IO}_4^-$ -former has preferences to the method which used  $\text{NaIO}_4$  as a reagent.

*Ключевые слова:* инозин, инозин-диальдегид, тригидрокси-инозин, синтез, биологическая активность.

*Keywords:* inosine, inosine-dialdehyde, trihydroxy-inosine, synthesis, biological activity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-41-44>

Создание новых эффективных лекарственных препаратов является одним из приоритетных направлений в современной фармацевтической индустрии. Разработка инновационного лекарственного препарата всегда начинается с поиска нового биологически активного соединения с последующим подтверждением его эффективности и безопасности.

В терапии онкологических заболеваний значительную роль играют препараты на основе нуклеозидов и их модифицированных аналогов. Нуклеозиды и нуклеотиды, широко распространенные в природе сложные органические вещества, выполняющие в живом организме самостоятельно или в комплексе с другими биомолекулами различные функции. Аналоги азотистых оснований и нуклеозидов реализуют свои цитотоксические эффекты, имитируя собой естественные эндогенные нуклеозиды [1].

Механизм действия может быть связан либо с ингибированием ферментов, либо с подменой эндогенных нуклеозидов в качестве субстратов в ходе синтеза молекул нуклеиновых кислот, что приводит к повреждению ДНК и РНК, нарушению метилирования ДНК и других процессов [2]. Следует подчеркнуть, что для реализации своего фармакодинамического эффекта аналогам нуклеозидов необходимо выполнить множество условий:

- достичь опухолевых клеток в достаточной концентрации (доставка);
- по пути не быть разрушенными (стабильность);
- проникнуть через мембрану внутрь опухолевой клетки (как правило, посредством белков-переносчиков);
- превратиться в свои активные формы (биоактивация);
- прореагировать с молекулярной мишенью (фармакодинамическая активность) [3].

Вплоть до настоящего времени, подавляющее большинство модифицированных нуклеозидов были получены химическими методами. Большое число разработанных с этой целью синтетических подходов можно объединить в три основных направления: (1) синтез, в котором используются производные сахаров или имитаторов сахаров в качестве гликозилирующих агентов, (2) химические превращения природных нуклеозидов и (3) рациональная комбинация обоих указанных выше подходов. Несмотря на весьма впечатляющий прогресс, достигнутый в развитии химических методов, получение многих противовирусных и противоопухолевых лекарств, а также биологически активных соединений, продолжает оставаться серьезной проблемой, что обуславливает высокую стоимость препаратов и, как следствие, ограничивает широкие биологические исследования и терапевтическое применение.

Большинство аналогов нуклеозидов и нуклеотидов, которые используются в настоящее время в качестве противоопухолевых и/или противовирусных лекарственных препаратов, обладают модифицированным углеводным фрагментом или гетероциклическим основанием. К таким соединениям относятся цитарабин, флударабинфосфат, неларабин, клофарабин, лейкладин и др. Анализ структурных особенностей таких соединений, получивших название антиметаболиты, показывает важность наличия в них измененного углеводного фрагмента. Так замена рибозы на арабинозу приводит к возникновению противоопухолевой или противовирусной активности у арабинозо-содержащих нуклеозидов, имеющих природные гетероциклические основания. Наглядными примерами таких соединений являются цитарабин и арабинозид аденина. С другой стороны, изменение в структуре гетероциклического основания приводит к нарушению комплементарного взаимодействия между ними в процессах транскрипции и трансляции, что приводит к подавлению вирусной инфекции. Примером таких соединений являются такие противовирусные соединения, как бромвинилдезоксисуридин, йоддезоксисуридин, и противоопухолевое соединение фтордезоксисуридин. Интерес представляют также препараты нового поколения на основе аналогов нуклеозидов и нуклеотидов с одновременно модифицированными углеводными и гетероциклическими основаниями, к которым относятся неларабин, флударабинфосфат, клофарабин и др. Двойная модификация природных нуклеозидов приводит к соединениям, которые обладают уже не цитостатической, а цитотоксической активностью.

Среди соединений с высокой противовирусной активностью находятся ряд производных пуринового гетероциклического основания – гуанина, которые содержат разрушенные углеводные фрагменты. К таким противовирусным агентам относятся ацикловир **1**, валацикловир **2** и ганцикловир **3** (Рис. 1). Эти производные формально относятся уже не к аналогам нуклеозидов, а к классу алкилированных гетероциклических оснований. Их отличительной особенностью, в отличие от природных нуклеозидов, является повышенная лабильность связи пуринового основания с оставшимся от углевода фрагментом. Недостатком этих соединений является их низкая растворимость в воде.

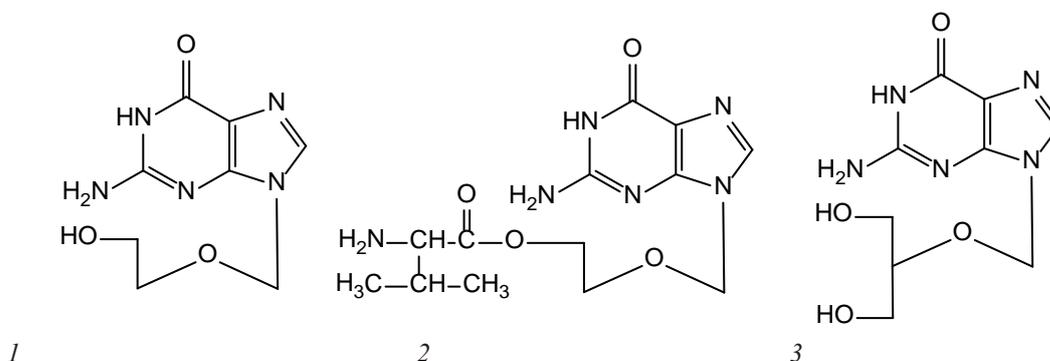


Рис. 1 – Структурные формулы ацикловира **1** валацикловира **2** и ганцикловира **3**

С высокой периодичностью интерес исследователей возвращается к сравнительно давно известным производным нуклеозидов и нуклеотидов, получившим название секо-нуклеозиды и секо-нуклеотиды. Секо-производные представлены двумя типами структур, имеющих вместо рибозы фрагменты её окисления в виде диальдегида или продукта его восстановления – триола. Реакция периодатного окисления 3'-терминальных фрагментов рибонуклеиновых кислот нашла применение при определении первичной структуры РНК, так как эти фрагменты легко отщепляются от цепочки РНК. Присутствие высокоактивных альдегидных групп в молекуле РНК позволяет получать аффинные сорбенты на их основе, или флуоресцентно меченые производные. Однако присутствие диальдегидного фрагмента на основе молекулы нуклеозидов приводит к неоднозначности строения соединений из-за способности альдегидной группы взаимодействовать друг с другом с образованием циклических или полимерных структур. Способность нуклеозид-диальдегидов образовывать такие сложные структуры зависит от природы гетероциклического основания и причина этого в настоящее время достоверно не изучена. Восстановленные продукты – триолы являются устойчивыми соединениями с конкретной и достоверно установленной структурой. Присутствие альдегидных групп в секо-нуклеозидов приводит к способности аналогов взаимодействовать с ферментами обмена нуклеиновых кислот с образованием ковалентных связей, что дезактивирует их, или изменяет их структурную специфичность. Результатом таких взаимодействий является ингибирование процессов, связанных с функционированием этих ферментов, что в конечном результате приводит к проявлению противоопухолевой или противовирусной активностей [4].

Одним из природных нуклеозидов, нашедших применение в медицине, является инозин **4**. Инозин – это нуклеозид, состоящий из гипоксантина, связанного с остатком D-рибофуранозы посредством  $\beta$ -N9-гликозидной связи (Рис. 2). Инозин применяется в настоящее время в качестве стимулятора сердечной деятельности и выпускается под торговым названием «Рибоксин». В последнее время изучение метаболизма инозина при его использовании в иммунотерапии привело к обнаружению ранее не обнаруженных свойств. Инозин является промежуточным соединением в цепи реакций пуриновых нуклеотидов, протекающих при мышечных сокращениях.

Инозин можно рассматривать в качестве предшественника АТФ. Он оказывает анаболическое действие и активизирует метаболизм миокарда. Инозин повышает активность ряда ферментов цикла Кребса, стимулирует синтез нуклеотидов. Применение инозина приводит к торможению процесса деструкции сарколеммы ишемизированных кардиомиоцитов и обеспечивает внутриклеточный транспорт энергии. За счет улучшения микроциркуляции препарат уменьшает размер зоны некроза и ишемии миокарда. Являясь предшественником АТФ, инозин оказывает антигипоксическое и антиаритмическое действие, повышает энергетический баланс миокарда, улучшает коронарное кровообращение, предотвращает последствия интраоперационной ишемии почек и принимает непосредственное участие в обмене глюкозы, способствуя активизации обмена в условиях гипоксии и при отсутствии АТФ. Инозин активирует также метаболизм пировиноградной кислоты, что обеспечивает нормализацию процесса тканевого дыхания. Прием препарата «Рибоксин» приводит к снижению агрегаций тромбоцитов, активации регенерации тканей (особенно миокарда и слизистой оболочки ЖКТ).

Окисление рибонуклеозидов, и инозина **4** в частности, периодатом натрия, йодой кислотой или тетраацетатом свинца приводит к образованию соответствующих нуклеозид-диальдегидов [5]. При кажущейся простоте получения нуклеозид-диальдегидов их выделение в индивидуальном виде представляет определённую проблему из-за высокой реакционной способности альдегидных групп. Восстановление альдегидных групп приводит к соответствующим нуклеозид-триолам (тригидрокси-нуклеозидам), которые являются устойчивыми соединениями. Среди нуклеозид-диальдегидов повышенный интерес исследователей приобрёл инозин-диальдегид **5**, который проявляет противоопухолевую активность [4]. Биологическая активность тригидрокси-нуклеозидов в настоящее время изучена лишь фрагментарно.

В этой связи целью настоящего исследования являлось осуществление синтеза и выделение в индивидуальном состоянии тригидрокси-инозина **6**. Синтез соединения **6** проводили по схеме, представленной на рисунке 2. Контроль за протеканием реакции и содержанием промежуточного инозин-диальдегида **5** и конечного продукта тригидрокси-инозина проводили с помощью тонкослойной хроматографии на пластинках «Kieselgel 60 F<sub>254</sub>» фирмы «Merck» (Германия) в системе растворителей хлороформ / метанол (4:1 об/об). Визуализацию соединений на пластинках осуществляли их просмотром в ультрафиолетовом свете, а также с помощью смачивания пластинок ТСХ раствором нафторезорцина в разбавленной серной кислоте с последующим прогреванием их при 80–100°C до появления окрашенных в характерный цвет пятен.

К раствору инозина в воде добавляли порошок  $\text{NaIO}_4$  и полученный раствор перемешивали в темноте при комнатной температуре с помощью магнитной мешалки до полного исчезновения исходного инозина в реакционной среде. Избыток  $\text{NaIO}_4$  удаляли добавлением к реакционной среде этиленгликоля. Образовавшийся в ходе реакции  $\text{NaIO}_3$  высаждали добавлением раствора  $\text{BaCl}_2$ . Осадок отфильтровывали, раствор упаривали до небольшого объема и к нему добавляли  $\text{NaBH}_4$ . Реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре в течение 1 часа, нейтрализовали раствором  $\text{HCl}$  и оставляли в холодильнике на 18–20 часов. Выпавший осадок отфильтровывали и промывали этиловым спиртом. Спиртовый раствор упаривали до небольшого объема, охлаждали, выпавший осадок тригидрокси-инозина **6** отфильтровывали и сушили до постоянного веса.

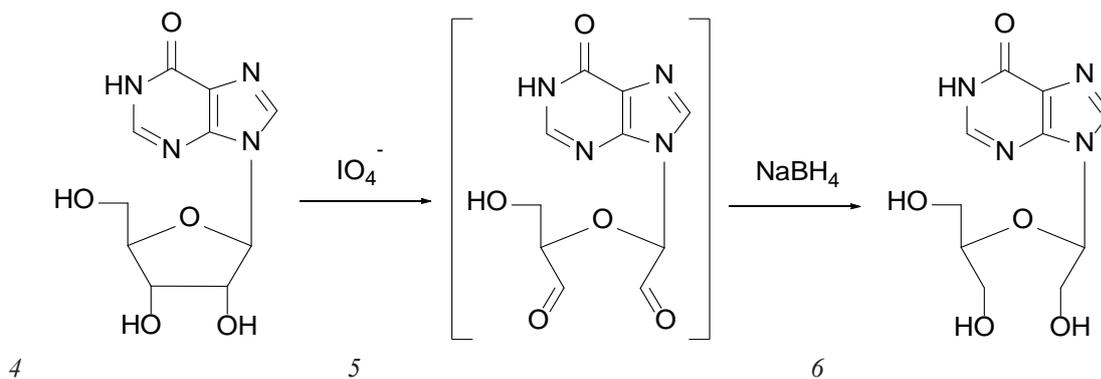


Рис. 2 – Схема синтеза тригидрокси-инозина 6 из инозина 4

В альтернативном методе синтеза тригидрокси-инозина 6 на стадии получения инозин-диальдегида 5 в качестве промежуточного продукта вместо  $\text{NaIO}_4$  использовали ионообменную смолу Дауэкс 1×2 (100–200 меш) в  $\text{IO}_4^-$ -форме.

**Пример 1.** Получение тригидрокси-инозина 6 с использованием  $\text{NaIO}_4$

Инозин 4 (1г, 3,73 ммоль) растворяли в 40 мл воды и к нему добавляли 957 мг (4,47 ммоль)  $\text{NaIO}_4$ . Раствор перемешивали в темноте при комнатной температуре в течение 1 часа (контроль за ходом реакции осуществляли с помощью ТСХ). Избыток периодата натрия убирали добавлением 1 мл этиленгликоля. В процессе периодатного окисления инозина происходит образования инозин-диальдегида 5 с восстановлением периодата натрия до йодата натрия. Йодат натрия высаждали добавлением насыщенного раствора хлорида бария (932 мг, 4,474 ммоль). Осадок йодата бария отфильтровывали. К фильтрату, содержащему инозин-диальдегид 5, при перемешивании добавляли  $\text{NaBH}_4$  (400 мг, 10,52 ммоль), реакционную смесь перемешивали в течение 1 часа, нейтрализовали добавлением раствора  $\text{HCl}$ , упаривали до небольшого объема и оставляли в холодильнике на 18–20 часов. Выпавший осадок отфильтровывали и промыли спиртом (4×5 мл). Фильтрат упаривали досуха, к остатку добавляли 5 мл этилового спирта и отфильтровывали выпавший кристаллический осадок тригидрокси-инозина 6. Осадок сушили при комнатной температуре на воздухе, затем в вакууме до постоянного веса. Получили 600 мг тригидрокси-инозина 6. Выход продукта составил 59,6%.

**Пример 2.** Получение тригидрокси-инозина 6 с использованием ионообменной смолы

Дауэкс 1×2 (100–200 меш) в  $\text{IO}_4^-$ -форме

К раствору инозина 4 (1г, 3,73 ммоль) в 10 мл воды добавляли 10 мл ионообменной смолы Дауэкс 1×2 (100–200 меш) в  $\text{IO}_4^-$ -форме и перемешивали суспензию при комнатной температуре в течение 1 часа. Затем смесь переносили в хроматографическую колонку, смолу промывали водой до отсутствия поглощения УФ-света в элюате. Элюат упаривали до небольшого объема, добавляли к нему порошок  $\text{NaBH}_4$  (600 мг, 15,78 ммоль), перемешивали смесь в течение 1 часа и нейтрализовали раствором  $\text{HCl}$ . Нейтральный раствор упаривали до небольшого объема и оставляли в холодильнике на 18–20 часов. Дальнейшую обработку проводили как описано в примере 1. Получили 650 мг (64,5%) тригидрокси-инозина 6.

Сравнение двух методов получения тригидрокси-инозина 6 свидетельствует о том, что метод окисления диольной группировки нуклеозидов с помощью ионообменной смолы Дауэкс 1×2 (100–200 меш) в  $\text{IO}_4^-$ -форме имеет преимущества перед традиционным методом, использующим  $\text{NaIO}_4$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Herdewijin P.* Modified nucleosides in biochemistry, biotechnology and medicine / Herdewijin P // Vancouver Coastal Health. – 2008. – 900 p.
2. *Shelton J.* Metabolism, biochemical action, and chemical synthesis of anticancer nucleosides, nucleotides, and base analogs / J. Shelton [et al.] // Chemical Revue. 2016;116:14379–14455.
3. *Peters GJ.* Novel Developments in the Use of Antimetabolites, Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids / Peters GJ // Nucleosides and Nucleotides. 2014;33:(4–6):358–374.
4. *Peter GW.* Mechanism of Action of Inosine Dialdehyde (NSC 118994) in the Inhibition of Proliferation of Tumor Cells in Culture / G. W. Peter [et al.] // Cancer Research. 1977;37:2188–2195.
5. *Jones BA.* A simple method for the preparation of “ribonucleoside dialdehydes” and some comments on their structure / Jones BA, Markham AF, Walker RT // Journal of Chemical Society. Perkin Transactions 1. 1976;14:1567–1570.

**АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОЗОВ  
У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА Г. ЖОДИНО  
ANALYSIS OF MICROELEMENTOSIS FORMATION FACTORS  
OF ZHODINO' PRIMARY SCHOOL AGE CHILDREN**

**Ю. В. Жильцова, Е. А. Синевич, Н. С. Смольник, Л. А. Майор, П. Р. Хилимончик  
Y. V. Zhyltsova, E. A. Sinevich, N. S. Smolnik, P. R. Khilimonchik**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
Zhyltsova@mail.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В работе проанализированы факторы, оказывающие влияние на развитие избытка, дефицита или дисбаланса макро- и микроэлементов в организме детей 7-10 лет, проживающих в условиях крупного промышленного города. На основании проведённого анкетного опроса выявлено, что развитию природных экзогенных микроэлементозов, связанных с недостатком в почве В, Мо, Zn, Mn, Se подвержено более 80 % респондентов, йодного дефицита – 30 %. Риски приобретения техногенных микроэлементозов населением возможно в результате повышенного содержания в почве Pb, Cu, Sn, Cr и Co, в продукции луговых и агро- фитоценозов Ni, Sn, Zr, Cr, Cu и Co, в воде Fe и Mn. Более 40 % детей потребляют водопроводную воду без её предварительной подготовки, 4 % семей периодически используют воду из колодцев. Развитие природных эндогенных микроэлементозов возможно у 12-58 %, ятрогенных микроэлементозов – более, чем у 6 % детей.

The work analyzes the factors influencing the development of excess, deficiency, or imbalance of macro-and microelements in the organism of 7-10-year-old children living in a large industrial city. Based on a questionnaire survey, it was revealed that the development of natural exogenous microelementosis associated with a lack of B, Mo, Zn, Mn, Se in the soil is subject to more than 80 % of respondents, iodine deficiency – 30 %. The risks of acquiring technogenic microelementosis by the population are possible as a result of the increased content of Pb, Cu, Sn, Cr, Co in the soil, Ni, Sn, Zr, Cr, Cu, Co in the production of meadow and agrophytocenoses, Fe and Mn in the water. More than 40 % of children consume tap water without preliminary preparation, 4 % of families periodically use water from wells. The development of natural endogenous microelementosis is possible in 12-58 % cases, iatrogenic microelementosis – in more than 6 % cases.

*Ключевые слова:* микроэлементы, микроэлементозы, заболеваемость, состояние окружающей среды, фактическое питание, рациональное питание, биоэлементный статус.

*Keywords:* microelements, microelementosis, morbidity, state of the environment, actual nutrition, balanced nutrition, bioelement status.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-45-48>

Согласно учению о биосфере В.И. Вернадского существование любого организма на планете возможно при условии постоянной тесной связи с другими организмами и неживой природой. А это означает, что состояние окружающей природной среды является важнейшим фактором, определяющим жизнедеятельность человека и общества.

Город Жодино – крупный промышленный центр Минской области Республики Беларусь. При анализе данных информационно-аналитического бюллетеня «Здоровье населения и окружающая среда г. Жодино за 2019 год» [1] тревогу вызывает ряд показателей общей заболеваемости населения по классам болезней. Так, в г. Жодино за период 2017-2019 гг. детская общая заболеваемость выше по сравнению с общей заболеваемостью в Минской области по психическим расстройствам и расстройствам поведения в 1,73-1,83 раз, по болезням глаз и его придаточного аппарата в 1,77-2,09 раз, по болезням системы кровообращения в 1,04-1,83 раз, по болезням органов дыхания в 1,01-1,13 раз, по болезням костно-мышечной системы в 1,33-1,65 раз, по болезням эндокринной системы в 2,20-2,70 раз.

Согласно современным научным представлениям, одной из основополагающих причин в развитии нарушений состояния здоровья человека являются микроэлементозы – состояния, объединяющие все симптомы и заболевания, являющиеся следствием наличия дефицита, избытка или дисбаланса микроэлементов в организме. В связи с этим, целью работы являлось проанализировать факторы, оказывающих влияние на формирование микроэлементозов детского населения младшего школьного возраста г. Жодино. В результате проведённой работы были собраны данные о длительности проживания в данной местности, источниках продуктов питания и воды,

приёме витаминно-минеральных комплексов, функциональных и обогащённых продуктов, дополнительных нагрузках, курении в семье, имеющихся заболеваниях, общем самочувствии, фактическом питании детей в возрасте 7-10 лет СШ № 8 г. Жодино с использованием метода анкетирования детей и их законных представителей.

Макро- и микроэлементы не синтезируются в организме, а поступают из внешней среды с пищей, водой, воздухом в основном через пищеварительный тракт и дыхательные пути. Согласно оригинальной классификации микроэлементозов, выделяют природные экзогенные, техногенные, природные эндогенные и ятрогенные микроэлементозы.

*Природные экзогенные микроэлементозы* локализованы на определённой географической территории и являются причиной эндемических заболеваний людей, патологических состояний животных и растений. Как в биосфере в целом, так и в каждой отдельной экосистеме существует постоянный кругооборот химических элементов. Избыточное или недостаточное содержание химических элементов в почве и воде для жизнедеятельности отдельных организмов проявляется в их ответных биологических реакциях. Такие территории, в границах которых отмечаются определённые биологические реакции организмов в ответ на особенности геохимических факторов среды, были выделены А.П. Виноградовым в биогеохимические провинции. Почвы Беларуси характеризуются низким содержанием йода и селена. Дефицит меди имеют примерно 60 % почв пашни Беларуси, цинка – 70 %, бора – 15 %, молибдена – 90 %. Особенно бедны микроэлементами торфяно-болотные почвы. Подвижные формы марганца, меди, молибдена, кобальта составляют 10–20 % от валовых, цинка – 2–5 %, бора – 1–2 % [2]. Недостаточное содержание подвижных форм микроэлементов в почвах является причиной недостаточного их количества в продуктах питания. В почвах сельскохозяйственных земель этот вопрос решается путём внесения стандартизированных концентраций микроудобрений, а содержание тяжёлых металлов контролируется. Однако, контроль содержания химических элементов в почвах подворий граждан не осуществляется, поэтому полученная в них продукция может значительно уступать по макро- и микроэлементному составу. По результатам проведенных исследований продукцию собственных подворий употребляют 86 % респондентов. Молоко и молочные продукты собственных подворий потребляют 12 % опрошенных, мясную продукцию – 20 %, яйца – 46 %, овощи и фрукты – 86 %, бобовые – 50 %, орехи и семена – 14 %. Только с собственного подворья мясную продукцию употребляют, не приобретая её в других источниках, 2% из опрошенных, яйца – 26 %, овощи – 22 %, фрукты – 13 %, ягоды – 22 %, бобовые – 40 %.

Благодаря продолжающейся реализации одного из направлений национальной политики безопасности в области питания – предупреждения йод дефицитных состояний, Республикой Беларусь достигнуты значительные успехи в устранении дефицита йода. В торговой сети г. Жодино в соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 484 от 06.04.2001 «О предупреждении заболеваний, связанных с дефицитом йода» периодически осуществляется мониторинг поставок йодированной соли и её реализации, контроль содержания йода в соли. Однако, согласно нашим исследованиям, регулярно употребляют йодированную соль 47 % опрошенных, периодически – 31 %, не обращают внимания, какую соль приобретают 22 %. 50 % всех респондентов регулярно потребляют продукты богатые йодом (морская рыба, морская капуста, продукты функционального питания, обогащённые йодом), из них 13 % – из группы периодически употребляющих йодированную соль и 10 % – из группы, не обращающих внимания, какую соль приобретают. Таким образом, в группе риска по недостатку йода в организме 30 % респондентов.

Дополнить рацион эссенциальными макро- и микроэлементами, снизить риск развития микроэлементозов возможно, используя в питании функциональные и обогащённые продукты. Однако, в настоящее время популярность данной группы продуктов у населения исследованного региона невелика. При опросе 19 % ответили утвердительно на вопрос об употреблении ребёнком функциональных и обогащённых продуктов питания. Из них – у 10 % такие продукты постоянно присутствуют в рационе ребёнка, у 30 % – данные продукты присутствуют в рационе 2-3 раза в неделю, у 60 % – 1 раз в неделю и реже.

*Техногенные микроэлементозы* возникают в результате антропогенной деятельности и связаны с избытком или дисбалансом определённых химических элементов в зонах производства, на территориях, граничащих с ними или находящихся на значительном расстоянии, но испытывающие нагрузку за счёт миграции элементов.

На основании вышесказанного одной из важнейших задач работы являлось оценить экологическое состояние урбандиафтов, выявив основные источники поступления химических элементов в объекты окружающей среды и сравнив содержание химических элементов в объектах окружающей среды (почва, вода, растения) города Жодино, с концентрациями данных элементов в объектах фоновых территорий и с санитарно-гигиеническими нормативами. 44 % территории города занимают промышленные, сельскохозяйственные и дорожнотранспортные ландшафты. На территории города Жодино производственно-хозяйственную деятельность осуществляют более 230 субъектов хозяйствования. Около 90 % выбросов приходится на долю – ОАО «Белорусский автомобильный завод», Жодинская ТЭЦ, ОАО «Кузнечный завод тяжёлых штамповок», ОАО «Світанак». Экологическое состояние полигона твёрдых коммунальных отходов города Жодино также свидетельствует о его негативном влиянии на компоненты природной среды.

С точки зрения санитарно-гигиенических показателей наиболее неблагоприятными являются центр города, западное и северо-западное направления. Здесь, в результате атмосферных выпадений и сельскохозяйственной деятельности, сформировалась низкоконтрастная педогеохимическая аномалия радиусом около 10 км. По

содержанию Pb, Cu, Sn и Cr почвы характеризуются как слабо- и средне загрязнённые. По содержанию Co почвы относятся к сильно и чрезвычайно загрязнённым. Концентрации Ni, Zn, Mn и Zr в почве на уровне фоновых [3, 4].

В некоторых видах луговых и агро- фитоценозов наблюдалось повышенное содержание Ni, Sn и Zr. Многие растения накапливали Cr и Co в токсичных для растений концентрациях. Cu в токсичных для растений концентрациях накапливали только злаковые травы [4]. В связи с тем, что, как отмечалось ранее, продукцию с собственных подворий используют более 80 % респондентов, то необходим контроль содержания Pb, Cu, Sn, Cr и Co в почве, Ni, Sn, Zr, Cr, Cu и Co в пищевой продукции.

По данным наблюдений 2016-2019 гг. участок реки Плисса в районе г. Жодино (бассейн р. Днепр) относится к поверхностным водным объектам наиболее подверженным антропогенной нагрузке. В 2018 году для реки Плисса было характерно снижение содержания растворенного кислорода, наблюдались высокий уровень загрязнения аммоний-ионом, максимальное содержание (для бассейна Днепра) органических веществ, наибольшая концентрация нитрит-иона. На протяжении ряда лет на участке реки Плисса в районе г. Жодино наблюдается превышение содержания фосфат-ионов в 100 % проб. В питьевой воде города периодически фиксируется повышенное содержание Fe и Mn [1, 5], что может способствовать накоплению элементов в органах и тканях населения, так как в результате опроса установлено: 40 % детей пьют водопроводную воду в школе, 52 % дома, и 64 % семей используют её без предварительной подготовки для приготовления пищи. Кроме того, 4 % семей периодически используют воду из колодцев.

Известно, сигаретный дым может содержать такие элементы, как Cd, Pb, Cu, Hg, Zn и As. В ходе опроса установлено, что 100 % женщин не курили во время беременности, однако более, чем в 31 % семей есть курящие члены семьи, а в 4 % семей – курят при детях, подвергая их пассивному курению и увеличивая риски развития микроэлементозов.

*Природные эндогенные микроэлементозы* являются причинами врождённых и наследственных заболеваний, в основе которых может лежать микроэлементоз матери или патологии хромосом и генов. Недостаток или избыток элементов может приводить к определённым заболеваниям. Так, для снижения рисков развития сердечно-сосудистых заболеваний важны адекватные концентрации Ca, K, Mg и P в организме, заболеваний щитовидной железы – I, Cr, Zn, заболеваний костно-мышечной системы – K, Na, Ca, Mg, Zn, Mn. Важно также контролировать содержание Pb, Al, Sr, Co, Cd, As, Hg, которые попав в организм, будут препятствовать усвоению эссенциальных элементов-антагонистов.

По результатам наших исследований, среди родственников (мать, отец, брат, сестра, бабушки, дедушки) обследуемых детей сердечно-сосудистые заболевания диагностировались у 58 %, щитовидной железы у 33 %, костно-мышечной системы у 21 %, онкологические заболевания – у 19 %. В то же время у 12 % детей в возрасте 7-10 лет уже диагностировались заболевания сердечно-сосудистой системы, у 20 % – костно-мышечной системы, у 25 % – другие заболевания. Причём по 2 установленных заболевания имеет 8 % опрошенных. 75 % респондентов констатировали наличие 1 и более из следующих симптомов, которые в литературе связывают с признаками дисбаланса микроэлементов в организме: повышенная утомляемость – у 19 % детей, повышенная эмоциональная возбудимость – у 31 %, плаксивость – у 31 %, расстройство способности концентрироваться – у 33 %, жалобы на “плохую память” – у 12 %, затруднённое засыпание – у 19 %, ночные просыпания – у 8 %, частые головные боли – у 15 %, головокружения – у 4 %, затруднённое обучение – у 12 %, утренняя сыпь – у 2 %, повышенное выпадение волос – у 6 %, ломкость ногтей – у 8 %, витилиго – у 4 %, атопический дерматит – у 2 %, частые герпесные высыпания – у 2 %.

Ещё одним фактором развития дефицита определённых элементов являются хронические и острые заболевания вирусного или бактериального генеза, которые требуют лечения препаратами, содержащими микроэлементы. Таким образом, повышаются риски развития ятрогенных микроэлементозов. Так, лечение антибиотиками, например, может способствовать снижению абсорбции Ca, K, Mg и Fe, выведению K, некоторые противовоспалительные препараты снижают содержание Mg и Zn, снижают усвоение Ca. По нашим исследованиям, 15 % детей подвержены респираторным заболеваниям ежемесячно, 56 % – несколько раз в год, 29 % – не чаще 1 раза в год.

Важно контролировать потребление минералов в виде препаратов или пищевых добавок, так как передозировка одного минерального вещества может вызвать функциональные нарушения и повышенное выделение из организма другого минерального вещества. По данным опроса 6 % респондентов принимают витаминно-минеральные комплексы круглогодично, 32 % – периодически и 30 % – в зимне-весенний период.

Известно, что потребности в микроэлементах возрастают при повышенной физической и умственной нагрузке. В наших исследованиях 60 % детей посещает развивающие и факультативные занятия, 65 % – спортивные секции, 46 % детей имеет дополнительную интеллектуальную и физическую нагрузку от 3 до 12 часов в неделю. Однако, гиподинамия также способствует развитию дефицита макро- и микроэлементов: в результате недостатка движения, значительно уменьшается потребность в энергии и объеме пищи. Следовательно, количество минеральных веществ также сокращается.

Неправильное и неполноценное питание, не восполняющее потребности организма в жизненно необходимых элементах, увеличивает риски поступления тяжёлых металлов из окружающей среды. На основании данных о фактическом питании детей 7-10 лет СШ № 8 г. Жодино было рассчитано содержание K, Ca, Mg, P и Fe в среднесуточных рационах школьников. Выявлено, что основными источниками K в рационах питания детей являются картофель и другие овощи, Ca – молочнокислые продукты и молоко, Mg – крупы и макаронные изделия,

P – крупы и макаронные изделия, молочнокислые продукты, хлебобулочные изделия, молоко, Fe – крупы и макаронные изделия, хлебобулочные изделия. Согласно данным опроса детей, переработанные мясные продукты (колбасы, сосиски и т.д.), являющиеся одной из причин развития алюминиевого металлотоксикоза, ежедневно употребляют 30 %, а 43 % – несколько раз в неделю. По данным информационно-аналитического бюллетеня «Здоровье населения и окружающая среда г. Жодино за 2016 год» в г. Жодино отмечается низкое потребление рыбобпродуктов, что обуславливает высокий уровень сердечно-сосудистых, онкологических, желудочно-кишечного тракта и других заболеваний.

Состояния обеспеченности эссенциальными минеральными веществами определяют тенденции формирования групп риска следующих отклонений со стороны здоровья: формирование дефицита костной массы в условиях недостаточного поступления Ca и P с продуктами питания; развитие латентного анемического состояния в результате дефицита Fe.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Информационно-аналитический бюллетень. Здоровье населения и окружающая среда г. Жодино. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://zgcgie.by/images/documents/bulleten\\_2020.pdf](http://zgcgie.by/images/documents/bulleten_2020.pdf) – Дата доступа: 20.03.2021.
2. Почвы Беларуси и их плодородие. Учебное пособие. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/171857/1/%D0%9F%D0%BE%D1%87%D0%B2%D1%8B%D0%91%D0%B5%D0%BB%D0%B0%D1%80%D1%83%D1%81%D0%B82017.pdf> – Дата доступа: 20.03.2021.
3. Содержание тяжелых металлов Pb, Ni, Zn, Cu, Mn, Zr, Cr, Co и Sn в почвах Центральной зоны Республики Беларусь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://economics.open-mechanics.com/articles/307.pdf> . – Дата доступа: 22.11.2018.
4. Позняк, С.С. Содержание некоторых тяжёлых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова / С. С. Позняк // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2011. – №1. – С. 123 – 137.
5. Мониторинг поверхностных вод. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/uploads/archive/Sborniki/2%20SURFASE%20WATER%20Monitoring%202019.pdf> . – Дата доступа: 11.03.2021.

*Работа финансирована Белорусским фондом фундаментальных исследований в рамках выполнения проекта Б18МВ-014 (2018–2020 гг.).*

## АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И Г. МИНСК. ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ РАКА ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ANALYSIS OF INCIDENCE IN THE REPUBLIC OF BELARUS AND MINSK. CYTOLOGICAL FEATURES OF THE DIAGNOSTICS OF PANCREAS CANCER

**Л. А. Жук<sup>1,2</sup>, Ю. В. Малиновская<sup>1</sup>**  
**L. A. Zhuk<sup>1,2</sup>, Y. V. Malinovskaya<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>УЗ «Минский городской клинический онкологический диспансер»  
г. Минск, Республика Беларусь  
[liudmila.zhk84@gmail.com](mailto:liudmila.zhk84@gmail.com)

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>NI «Minsk city clinical oncological dispensary»  
Minsk, Republic of Belarus

В работе представлены показатели заболеваемости и выживаемости больных раком поджелудочной железы с учетом возраста, а также распространенности процесса: локальные стадии; наличие регионарного либо отдаленного метастазирования. Проведен анализ заболеваемости раком поджелудочной железы в Республике Беларусь за 2006–18 гг.

The paper presents indicators of morbidity and survival of patients with pancreatic cancer, taking into account the age, as well as the prevalence of the process: local stages; the presence of regional or distant metastasis. The analysis of the incidence of pancreatic cancer in the Republic of Belarus for 2006–18 was carried out.

*Ключевые слова:* цитологические особенности, рак поджелудочной железы, анализ заболеваемости, анализ выживаемости.

*Keywords:* cytological features, pancreatic cancer, analysis of the incidence, survival analysis.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-48-52>

Злокачественные опухоли желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), включая новообразования гепатопанкреато-билиарной зоны (ГПБЗ), являются сложной, актуальной и нерешенной проблемой современной онкологии [7]. Злокачественные опухоли поджелудочной железы являются четвертой по значимости причиной смерти от рака, и частота этих опухолей продолжает расти. Статистические данные последних лет свидетельствуют о постоянном росте заболеваемости и смертности [2]. Выживаемость пациентов с этими опухолями крайне низка, с общей 5-летней выживаемостью менее 5%. Большинство пациентов, более 90%, умирают в течение года после установления диагноза. Данное обстоятельство обусловлено тем, что рак поджелудочной железы диагностируется после появления клинических признаков в запущенной (III–IV) стадии. Больные погибают от быстро нарастающей интоксикации и кахексии, механической желтухи, кишечной непроходимости и других осложнений [2].

Непосредственная причина возникновения рака поджелудочной железы до настоящего времени не установлена, и в 40 % случаев заболевание носит спорадический характер [4]. Таким образом, существует потребность в улучшении раннего выявления рака поджелудочной железы для выявления и повышения выживаемости [1].

Цитопатология поджелудочной железы обычно применяется при неоперабельном заболевании при поступлении, включая запущенное местно-регионарное и метастатическое заболевание, а также заболевание, которое считается неоперабельным из-за сопутствующих заболеваний, и для подтверждения клинической картины перед назначением химиотерапии или лучевой терапии. Цитологический метод диагностики также часто применяется для исключения метастазов у пациентов, у которых ранее были злокачественные новообразования.

### Материалы и методы исследования

Материалом исследования служили данные обо всех случаях рака поджелудочной железы в г. Минск по материалам канцер-регистра Республики Беларусь, подтвержденные цитологическим методом и охватывает 18 лет – период 2000–17 гг. Общая наблюдаемая выживаемость рассчитывалась по методу Kaplan–Meier с использованием теста Comparing multiple samples для сравнения нескольких групп, Survival Analysis. Для графического представления показателей заболеваемости и выживаемости использовался пакет прикладных программ Statistica, а также Microsoft Excel 2013.

### Результаты исследований

Анализируемая когорта за 2000–17 гг. включает 1292 пациента, среди которых 691 мужчина и 601 женщина. Для детального исследования объем выборки больных раком поджелудочной железы основан на диагнозах, подтвержденных цитологическим методом (т.к. это основной метод подтверждения диагноза), и включил 393 случая заболевания (203 мужчины и 190 женщин).

В нашем исследовании проведен анализ возрастного фактора: разделили пациентов в проведенном исследовании на 4 возрастные группы: до 30 лет, 30–49 лет, 50–69 лет, старше 70 лет, и провели анализ согласно распространенности процесса (классификация TNM). Полученные результаты представлены на рисунке 1.

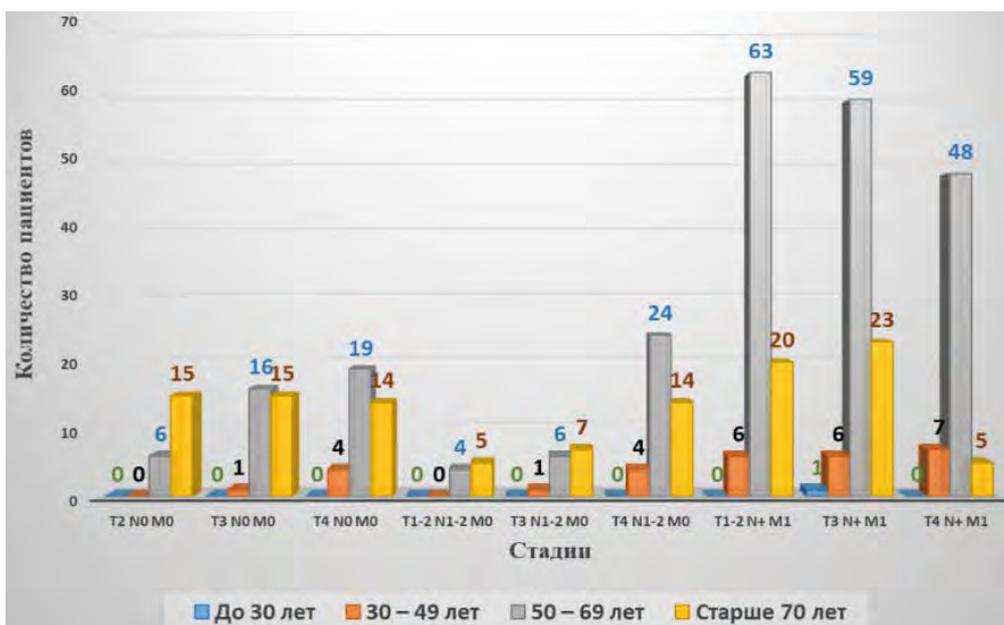


Рис. 1 – Распределение пациентов согласно возрастной категории и установленной стадии заболевания (n=393)

При изучении пациентов РПЖ по стадиям было обнаружено, что подавляющее число пациентов было зарегистрировано впервые уже с запущенными формами болезни – с III и IV стадиями. Вместе взятые они составили более 77 % случаев. По данным исследования локализованные стадии были диагностированы у 22,9 %, регионарные метастазы у 17,6 % и отдаленные метастазы – у 59,5 %. В основном пациенты получили симптоматическое и паллиативное лечение из-за тяжести состояния и распространенности процесса. Необходимо отметить, что радикальное лечение было проведено лишь 4 пациентам: двоим была выполнена панкреатодуоденальная резекция и двоим – дистальная субтотальная резекция поджелудочной железы.

Представленные данные свидетельствуют о том, что пик заболеваемости раком поджелудочной железы приходится на возраст 50–70 лет и T<sub>1-4</sub>N<sub>+</sub>M<sub>1</sub> стадию, по системе TNM, в особенности в группе в группе T<sub>4</sub>N<sub>+</sub>M<sub>1</sub>.

Цитологические варианты рака поджелудочной железы, выявленные в нашем исследовании, продемонстрированы на рисунке 2.

Из представленных сведений видно, что основными цитологическими вариантами являются опухолевые клетки злокачественные (более 60% случаев) и аденокарцинома БДУ (30% случаев). Аденокарцинома протока поджелудочной железы имеет один из худших прогнозов среди основных видов рака.

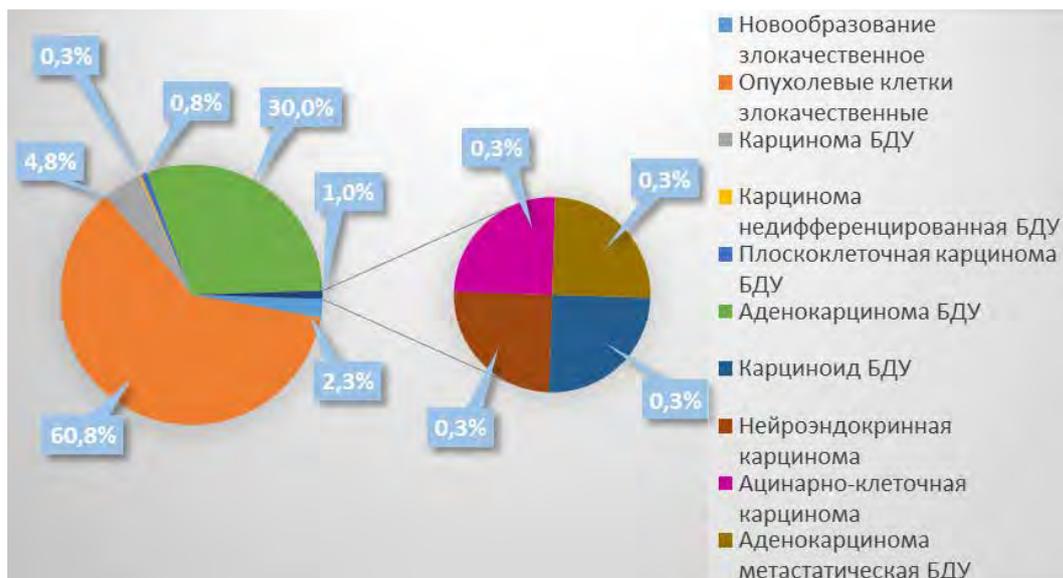
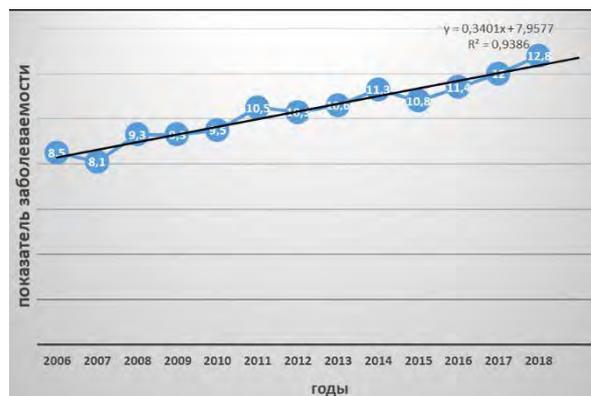


Рис. 2 – Цитологические варианты рака поджелудочной железы (n=393)

Возрастает онкологическая заболеваемость (в пересчете на 100 000 населения), что отчетливо видно на рисунке 3. Заболеваемость увеличилась более чем в 4,3 раза в г. Минск за период 2000–17 гг., и более чем в 1,5 раза в целом по стране за 2006–18 гг. Это происходит в результате демографического старения нации, которое проявляется увеличением доли пожилых людей, т.е. тех возрастных групп, наиболее подверженных риску возникновения онкологических заболеваний.



(А)



(Б)

Рис. 3 – Динамика заболеваемости раком поджелудочной железы: в г. Минск за 2000–17 гг. (А); в Республике Беларусь за 2006–18 гг. (Б) (Уровень надежности (95,0 %) = 0,8262)

Необходимо отметить, что показатели смертности отражают не смертность во всей популяции, а смертность в когорте пациентов, включенных в исследование. Смертность в период до 5 лет с момента постановки диагноза составила 392 пациента, что составило 99,6%, годовичная летальность составила 85,2%. Длительность

выживания зависит от распространенности заболевания и общего состояния здоровья пациента в момент установления диагноза.

На рисунке 4 представлен сравнительный анализ выживаемости трех групп пациентов, в зависимости от степени вовлечения опухолевого процесса: локализованные стадии, наличие регионарного либо отдаленного метастазирования.

Распространение опухолевого процесса на окружающие органы (желудок, надпочечники, ободочную кишку и т.д.) непосредственно влияет на хирургическую тактику. При наличии метастазов в печень и канцероматоза брюшины хирургическое лечение не показано. Тем не менее в таких случаях рекомендована биопсия (УЗИ-, КТ- или лапароскопическая) для решения вопроса о проведении паллиативной химиотерапии [6].

Представленные данные свидетельствуют о том, что выживаемость в группах практически одинакова, т.к. пациентам было проведено симптоматическое лечение и биопсия проводилась для подтверждения злокачественного новообразования поджелудочной железы. Симптоматическую помощь получили 30,5% пациентов (120 случаев): 73 – в виде холедохостомии и 47 – в виде дренирования желчных путей. Химиотерапевтическое лечение прошли 250 пациентов (63,6 % случаев).

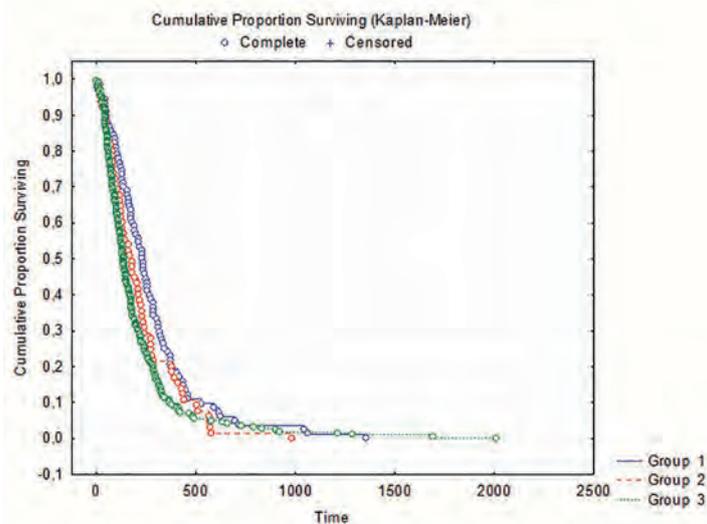


Рис. 4 – Сравнительный анализ выживаемости трех групп пациентов: I группа – локализованные стадии ( $T_{2-4}N_0M_0$ ); II группа – регионарные метастазы ( $T_{2-4}N_+M_0$ ) и III группа пациентов – отдаленные метастазы ( $T_{2-4}N_+M_+$ )

Несмотря на развитие современных технологий, диагностика злокачественных опухолей поджелудочной железы является трудной и нерешенной задачей, подтверждением которой является низкий удельный вес I и II стадии: 5,3% и 17,5%, соответственно.

### Заключение

В последние десятилетия были достигнуты значительные успехи в диагностике и лечении рака поджелудочной железы. Новые программы лечения включают усовершенствованные хирургические технологии, которые связаны с увеличением объема вмешательств, что стало возможным, благодаря введению новых схем лекарственной и таргетной терапии.

Аспирационная биопсия очага поражения поджелудочной железы стала стандартным подходом для постановки диагноза во многих учреждениях здравоохранения.

Как и при большинстве локализаций рака, относительная выживаемость при раке поджелудочной железы выше у лиц в возрасте до 50 лет. Это связано с большей тяжестью сопутствующей патологии и меньшей вероятностью получить радикальное хирургическое лечение у возрастных пациентов.

В период 2000–17 гг. в г. Минск отмечался существенный рост заболеваемости, более чем в 4,3 раза. Рост заболеваемости раком поджелудочной железы прослеживается не только на территории г. Минск, но и на всей территории Республики Беларусь в целом. По результатам нашего исследования заболеваемость увеличилась в 1,5 раза за период 2006–18 гг.

На данный момент скрининг рака поджелудочной железы все еще не разработан. Клинико-анамнестические, лабораторные данные позволяют заподозрить опухоль и послужить поводом для обследования больного. Пункционная биопсия, выполняемая под контролем УЗИ или РКТ, решает единственную диагностическую задачу – морфологическая верификация изменений в поджелудочной железе. Метод относительно безопасен для больного. Подтвердить диагноз данным методом удастся у 57–96 % больных раком поджелудочной железы [3, 5].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Borazanci E and Haag S. Hereditary Pancreatic Cancer / 2017; DOI: 10.5772/65067

2. Камарли, З. П. Анализ выживаемости больных раком поджелудочной железы по стадиям и месту жительства в Кыргызстане / Вестник КРСУ. 2017;17:7:134–136.

3. Котельникова, А. Г. Клинические рекомендации по диагностике и лечению злокачественных опухолей поджелудочной железы / А.Г. Котельникова, Ю.И. Патютко, А.А. Тряпкин // Общероссийский союз общественных объединений «Ассоциация онкологов России» – Москва, 2014. – 44 с.

4. Прохоров, А. В. Опухоли поджелудочной железы: учебно-методическое пособие / А.В. Прохоров, М.Н. Шепетько, В.Е. Папок. // Минск: БГМУ, 2013. – 32 с.

5. Черенков, В. Г. Онкология : учебник / В. Г. Черенков. - 4-е издание, исправленное и дополненное // Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2017. – 512 с.

6. Шима В., Кауэбллинг К. Аденокарцинома поджелудочной железы: выявление, определение стадии и дифференциальная диагностика / Медицинская визуализация. 2015;5:52–72

7. Шмак, А. И. Эпидемиологические особенности злокачественных новообразований гепатопанкреатобилиарной зоны в мире и в Республике Беларусь / А.И. Шмак, Ф.В. Ерзинкян, Е.П. Мартынов, А.А. Котов, А.В. Ершченко // Вестник ВГМУ. – 2018;17:3:67–75.

## ANTIOXIDANT EFFECTS OF EMOXYRINE AS ADJUVANT OF ANTI-CANCER DRUGS АНТИОКСИДАНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ ЭМОКСИПИНА В КАЧЕСТВЕ АДЪЮВАНТА ПРОТИВООПУХОЛЕВЫХ ПРЕПАРАТОВ

**T. A. Zhukovets, M. A. Khanchevski, I. V. Koktysh, E. I. Kvasyuk, A. G. Sysa**

**T. A. Жуковец, М. А. Ханчевский, И. В. Коктыш, Е. И. Квасюк, А. Г. Сыса**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*maks.khanchevskiy@bk.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Антиоксиданты, как известно, минимизируют окислительный стресс, взаимодействуя со свободными радикалами, образующимися в результате клеточных аэробных реакций. Окислительный стресс связан со многими заболеваниями, особенно с опухолями. Поэтому антиоксиданты играют решающую роль в профилактике или лечении заболеваний, связанных с функционированием свободных радикалов. Однако большинство антиоксидантов оказывают противоопухолевое действие только при приеме в больших дозах. Поэтому комбинированное применение антиоксидантов с химиотерапевтическими средствами является привлекательной стратегией борьбы с различными опухолями. Эта статья посвящена антиоксидантным свойствам эмоксипина. Показан вклад данного соединения в усиление противоопухолевых свойств неларабина.

Antioxidants are known to minimize oxidative stress by interacting with free radicals produced as a result of cell aerobic reactions. Oxidative stress has long been linked to many diseases, especially tumours. Therefore, antioxidants play a crucial role in the prevention or management of free radical-related diseases. However, most of these antioxidants have anticancer effects only if taken in large doses. Therefore, the combined use of antioxidants with chemotherapeutic agents is an attractive strategy to combat various tumours. This article focuses on the antioxidant effect of emoxyrine. The contribution of this molecule in enhancing the anticancer potentials of nelarabine will be demonstrated.

*Ключевые слова:* модифицированные нуклеозиды, антиоксиданты, активные формы кислорода, рак, неларабин, эмоксипин.

*Keywords:* modified nucleotides, antioxidants, reactive oxygen species, cancer, nelarabine, emoxyrine.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-52-55>

Reactive oxygen species (ROS) are normal products of the aerobic metabolic reaction of the cell. They contain oxygen in the form of peroxides and superoxide hydroxyl radicals, singlet oxygen or hydrogen peroxide. ROS can be produced in increased amounts under pathophysiological conditions. ROS is usually induced endogenously by enzymes that generate ROS, such as xanthine oxidase, and metabolic byproducts generated in an electron transfer chain reaction. Externally, many factors, including environmental stress such as exposure to ionizing radiation or excessive ultraviolet (UV) radiation, can increase ROS production. ROS can damage cell membranes, lipids, proteins and DNA, causing serious damage and disruption of their normal functions. This can lead to mutations, apoptosis and failures in these systems [1]. Oxidative stress, an imbalance between ROS production and antioxidant defense mechanisms, thus occurs due to the inability of endogenous antioxidant defense mechanisms to protect against these disorders. This can lead to the development and exacerbation of many painful conditions, such as diabetes, Parkinson's disease, Alzheimer's disease,

acute renal failure, pulmonary failure, and cancer [2]. Therefore, taking antioxidant supplements is recommended to reduce oxidative damage to the human body. Antioxidants usually exert their effect primarily by either preventing ROS production or by absorbing the ROS produced. Some types of antioxidants are active by breaking down ROS into less harmful or neutral foods. When treating cancer, chemotherapy causes an increase in the production of reactive oxygen species (ROS) in cancer cells. Antioxidants have a great impact on cancer treatment and protection.

The effects of ROS can be two-sided: they can kill both normal and cancer cells by damaging proteins, lipids and DNA, or even cause cancer. In contrast, manipulations with ROS can induce apoptosis in cancer cells only because normal cells have a different redox environment than cancer cells and are less sensitive to redox manipulations. Therefore, modulation of ROS by antioxidants or prooxidants is a promising strategy for selectively targeting cancer cells during chemotherapy treatment [3].

Numerous original research articles have focused on whether additional antioxidants given during chemotherapy can protect normal tissues without adversely affecting tumor damage. Due to differences in study design, protocol of intervention, type of cancer, follow-up time, inclusive criteria, statistical analysis and chemotherapy regimen, uncertainties arise that allow a definitive conclusion regarding the risk of reduced tumor control due to the introduction of additional antioxidants during chemotherapy. Previous *in vitro* studies have shown that cytarabine and other related cytosine-based nucleoside analogs are toxic to tumor cells by increasing the level of cellular oxidative stress, since it can be neutralized by antioxidants [4]. In contrast, a recent review unequivocally concluded that the antioxidant, when used simultaneously, (a) does not interfere with chemotherapy, (b) enhances the cytotoxic effect of chemotherapy, (c) protects normal tissues, and (d) increases patient survival and therapeutic response. [5].

However, very little is known about the effect of combinations of antimetabolites with antioxidants on cytotoxic innate and adaptive immune cells, and whether the toxicity of lymphocytes affects its anticancer efficacy.

Therefore, in the present study, we investigated the effect of various concentrations of nelarabine (an anticancer drug) *in vitro* with emoxypine (as an antioxidant) or without it on the HepG2 liver cancer cell line.

Nelarabine is an analogue of a purine nucleoside (Fig. 1), converted into the corresponding arabinosyl guanine nucleoside triphosphate (araGTP), which leads to inhibition of DNA synthesis and cytotoxicity.

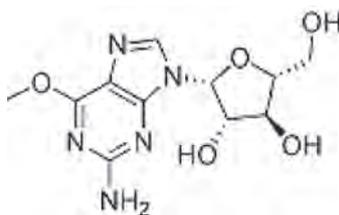


Fig. 1 – Structural formula of nelarabine

Purine nucleoside analogs enter cells through specific nucleoside carriers: concentrating and balancing nucleoside carriers. Carriers of organic ions, as well as carriers of peptides, can also participate in the uptake of certain analogs by cells and viruses.

Once inside the cell, the nucleoside analog undergoes an initial stage of rate-limiting phosphorylation by side kinase, which leads to the production of a monophosphate metabolite. Then the second stage of phosphorylation is performed by nucleoside monophosphate kinase, and the third stage of phosphorylation is performed by nucleoside diphosphate kinase. Triphosphates can be incorporated into nucleic acids by competing with endogenous nucleoside triphosphates, or they can inhibit DNA and RNA synthesis by inhibiting basic enzymes such as polymerases. In addition, ribonucleotide reductase M1 (RRM1), a key enzyme involved in nucleotide metabolism, can be inhibited by both diphosphorylated and triphosphorylated analogs. Catabolic enzymes can reduce the amount of active metabolites, including deaminases and 5'-nucleotidases.

Nelarabine itself is used to treat T-cell acute lymphoblastic leukemia (ALL) and T-cell lymphoblastic lymphoma by slowing or stopping cell growth.

Emoxipine is a 3-hydroxypyridine derivative (Fig. 2) with powerful antioxidant properties. In medicine emoxipine is used as a drug from the group of antiplatelet agents and antioxidants, it is a microcirculation corrector. The active component of the drug, methyl ethyl pyridine, after penetration into the bloodstream, strengthens the vessels, prevents them from rupture, and thins the blood, thereby preventing the development of destructive processes in the lumen of the nipples.

The antioxidant effect of the drug “Emoxipine” allows you to stimulate natural processes, to neutralize free radicals, thereby preventing damage to vital biological molecules.

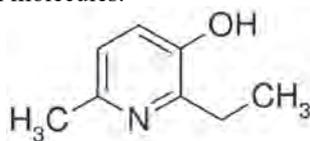


Fig. 2 – Structural formula of emoxipine

The form:

$$\varphi(x) = c + \frac{d - c}{1 + e^{b(\log x - \log e)}}.$$

The estimated parameters of the models have a definite physical meaning. In particular, for the log-logistic model, the parameters  $c$  and  $d$  determine the lower and upper horizontal asymptotes of the sigmoid curve,  $e$  corresponds to the position of the inflection point, and  $b$  – to the angle of inclination in the transition region. Fitting of model parameters to the analyzed empirical data was carried out using the generalized method of minimizing the sum of squares of deviations of model forecasts from the observed values, taking into account specially selected weight coefficients.

Statistical analysis of the estimated parameters was carried out using Student's  $t$ -test, which tested the hypothesis of the equality of each coefficient to zero and calculated  $p$ -values that determine the achieved level of significance. The statistical significance of the model as a whole was verified by comparing it with a simple regression with a zero slope coefficient (the horizontal regression line corresponds to the absence of dose-effect dependence) by ANOVA.

The results of experimental data are provided at the fig. 3.

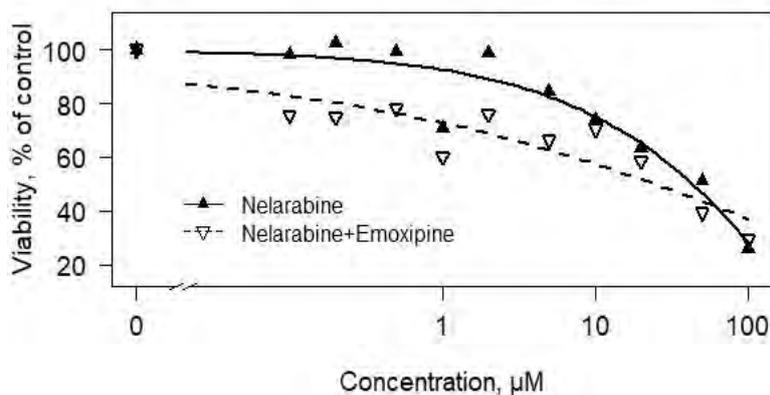


Fig. 3 – Viability of liver cancer cell line HepG2 after exposure to nelarabine or combination of nelarabine with emoxypine

As can be seen from the data presented at fig. 3, both nelarabine and the combination of nelarabine and emoxypine in the studied concentration range ( $10^{-4}$  to  $10^{-7}$  M) lead to 70% reduction in cell viability compared to control.

Statistical analysis of the significance of the estimated model parameters for the studied compounds according to the  $t$ -criterion leads to the following values of  $p$ -values (table 1).

Table 1 – Parameter estimates of model of impact of nelarabine or combination of nelarabine with emoxypine on liver cancer cell line HepG2

Параметр	Estimate (µM)	Std. Error	$t$ -value	$p$ -value
$b$ : Slope (nelarabine)	0.68	0.15	4.5435	$2.562 \cdot 10^{-05}$ ***
$b$ : Slope (nelarabine with emoxypine)	0.26	0.049	5.3079	$1.531 \cdot 10^{-06}$ ***
$c$ : lower limit	24.19	38.05	-1.1613	0.2499
$d$ : upper limit	98.45	3.14	31.3226	$< 2.2 \cdot 10^{-16}$ ***
$e$ : $ED_{50}$ (nelarabine)	111.25	84.65	1.3143	0.1935
$e$ : $ED_{50}$ (nelarabine with emoxypine)	307.83	516.93	0.5955	0.5536

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

As can be seen from the data presented in the table, slope ( $b$ ) and upper limit ( $c$ ) quotients are statistically significant for nelarabine and combination of nelarabine and emoxypine, while they were not statistically significant for the rest of the model parameters.

The log-logistic model «dose-effect» for nelarabine looks like:

$$\varphi(\% \text{ of control}) = 24,19 + \frac{98,45 - 24,19}{1 + e^{0,68 \cdot (\log C(\mu\text{M}) - \log 111,25)}}$$

The log-logistic model «dose-effect» for the combination of nelarabine and emoxypine looks like:

$$\varphi(\% \text{ of control}) = 24,19 + \frac{98,45 - 24,19}{1 + e^{0,26 \cdot (\log C(\mu\text{M}) - \log 307,83)}}$$

Analysis of variances (ANOVA) showed no statistically significant differences between the effects of nelarabine and combination of nelarabine and emoxypine ( $F = 0.5091$ ,  $p = 0.6036$ ).

Our results show that antioxidant emoxypine not only does not affect the main function of antimetabolite nelarabine, namely: to interrupt the cell division and growth, but also looks like it modulates its action. Our results contribute to a better

understanding of the molecular mechanisms of the effect of nucleic acids antimetabolites on biochemical processes, which can serve as the basis for the targeted search and creation of new anticancer drugs.

This work was supported by Belarusian Republican Foundation for Fundamental research (grant №M20MC-043).

#### REFERENCES

1. *Fuchs-Tarlovsky V.* Role of antioxidants in cancer therapy / Fuchs-Tarlovsky V // *Nutrition*. 2013;29:15–21.
2. An overview of the antioxidant effects of ascorbic acid and alpha lipoic acid (in liposomal forms) as adjuvant in cancer treatment. Attia M [et al.] // *Antioxidants*. 2020;9:359–373.
3. Role of reactive oxygen species in cancer progression: molecular mechanisms and recent advancements / Aggarwal V [et al.] // *Biomolecules*. 2019;9:735.
4. Cytosine-based nucleoside analogs are selectively lethal to DNA mismatch repair-deficient tumour cells by enhancing levels of intracellular oxidative stress / Hewish M [et al.] // *British Journal of Cancer*. 2013;108:983–992.
5. Antioxidants as precision weapons in war against cancer chemotherapy induced toxicity – Exploring the armoury of obscurity / Singh K [et al.] // *Saudi Pharmaceutical Journal*. 2018;26:2:177–190.

### МикроРНК let-7e И miR-140 КАК БИОМАРКЕРЫ ДЕФОРМИРУЮЩИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ СУСТАВОВ

### MicroRNA let-7e AND miR-140 AS BIOMARKERS OF DEFORMING JOINT DISEASES

**П. Т. Журко, И. В. Коктыш, Р. М. Смолякова**  
**P. T. Zhurko, I. Koktysh, R. Smolyakova**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
pavlinats@mail.ru, drkoktysh@gmail.com  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Исследован уровень экспрессии циркулирующих микроРНК let-7e и miR-140 в плазме периферической крови и синовиальной жидкости пациентов с гонартрозом и коксартрозом. Выявлено статистически значимое снижение экспрессии miR-140 в синовиальной жидкости и let-7e в периферической крови пациентов с остеоартритами ( $p < 0,05$ ). МикроРНК let-7e характеризует сопутствующую патологию и указывает на развитие метаболического синдрома. Установлена корреляционная связь уровней экспрессии изучаемых микроРНК со степенью тяжести заболевания.

The circulating microRNAs (let-7e and miR-140) expression levels were studied in the plasma of peripheral blood and synovial fluid of patients with gonarthrosis and coxarthrosis. There was a statistically significant decrease in the expression of miR-140 in synovial fluid and let-7e in the peripheral blood of patients with osteoarthritis ( $p < 0.05$ ). MicroRNA let-7e characterizes comorbidity and indicates the development of metabolic syndrome. It was established a correlation between the microRNAs expression levels and the disease severity.

*Ключевые слова:* микроРНК, синовиальная жидкость, периферическая кровь, остеоартрит, тяжесть течения, биомаркер.

*Keywords:* microRNA, synovial fluid, peripheral blood, osteoarthritis, severity, biomarker.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-55-58>

Остеоартрит – дегенеративно-дистрофическое заболевание суставов, распространенность которого увеличивается, занимая первое место среди всех нозологических форм патологии суставов и поражая не менее 20% населения. В Республике Беларусь отмечается неуклонный рост заболеваемости остеоартритами, при этом все чаще поражая молодое население. Актуальность изучения данной патологии также обусловлена высоким уровнем временной нетрудоспособности, ранней инвалидизацией населения и ухудшением качества жизни пациентов в целом.

В настоящее время описаны клинические фенотипы пациентов с остеоартритами, однако патогенетические механизмы развития и достоверные методы лабораторной диагностики, в том числе молекулярно-генетические, гонартрозов и коксартрозов до конца не изучены, что затрудняет постановку диагноза, а также прогнозирование исхода.

В качестве биологических маркеров остеоартритов могут быть использованы малые некодирующие РНК, в частности, микроРНК. В связи с небольшим количеством нуклеотидов, формирующих уникальную последовательность микроРНК, данный вид нуклеиновой кислоты характеризуется крайне низкой изменчивостью, и, соответственно, высоким постоянством: микроРНК имеют мало шансов на вариацию или мутацию. Однако известно, что воздействия лекарственных препаратов, различных внешних стимулов, влияющих на генетические и эпиге-

нетические программы, могут приводить к изменениям экспрессии микроРНК (снижению или увеличению), что, в конечном итоге, может привести к формированию патологического процесса в организме. Дерегуляция на уровне экспрессии этих молекул наблюдается при самых различных заболеваниях организма человека, например, при злокачественных новообразованиях поджелудочной железы, предстательной железы, головы и шеи, яичников, молочной железы, мочевого пузыря, почек, при гормональных заболеваниях, а также при заболеваниях опорно-двигательного аппарата и ряде других.

Особой клинической значимостью отмечаются циркулирующие микроРНК благодаря простоте их получения, стабильности и высокой чувствительности. Предполагается выделение клетками микроРНК в межклеточное пространство в случае здорового функционирования организма и при формировании патологического процесса, что делает возможным анализ экспрессии данных биомолекул с целью изучения молекулярных основ формирования заболеваний и молекулярной диагностики.

Малая некодирующая РНК miR-140 принимает участие в процессах хондрогенеза и развитии хрящевой ткани, и является единственной микроРНК с характерным для хряща паттерном экспрессии. Компьютерное моделирование патологических процессов предполагает участие циркулирующих miR-140-3p в сыворотке крови в регуляции метаболических процессов, способствующих развитию остеоартрита. Однако подчеркивается необходимость проведения функциональных исследований, чтобы подтвердить биоинформатический анализ и пролить свет на метаболические пути, приводящие к возникновению и развитию остеоартрита [1]. Кроме того, определяется необходимость разработки стандартизованных протоколов выделения и анализа циркулирующих микроРНК в более крупных когортах различных этнических групп перед использованием miR-140 в клинической практике.

Считается, что микроРНК семейства let-7 являются наиболее распространенными микроРНК в клетках и тканях организма, включая хондроциты. Показано, что данные микроРНК необходимы для нормальной пролиферации хондроцитов в ростовой пластинке. В эксперименте ингибирование let-7 в хондроцитах приводило к подавлению экспрессии микроРНК let-7, что снижало пролиферацию хондроцитов [2, 3].

Цель: выявить особенности экспрессии циркулирующих микроРНК let-7e и miR-140 в синовиальной жидкости и плазме крови пациентов с гонартрозом и коксартрозом.

Исследуемую группу составили с информированного согласия 17 пациентов с деформирующими заболеваниями суставов (в том числе 11 пациентов с гонартрозом и 6 пациентов с коксартрозом), подвергавшихся оперативному лечению (артроскопии или тотальному эндопротезированию суставов). Группу сравнения составили 7 пациентов с отсутствующими рентгенологическими и клиническими признаками деформирующей заболевание суставов, также перенесших оперативное вмешательство на суставах.

Характеристика исследуемых групп представлена в таблице. В исследовании также учитывались степени активности деформирующих заболеваний суставов

Таблица 1 – Характеристика пациентов исследуемых групп и группы сравнения

Клинический диагноз / группа	Количество пациентов, пол		Возраст, лет*
	6	женщины – 5; мужчины – 1	
Коксартроз	6	женщины – 5; мужчины – 1	64,5 [60;69]
Гонартроз	11	женщины – 8, мужчины – 3	57,0 [51,0;67,0]
Остеоартрит (ОА)	17	женщины – 13, мужчины – 4	60,0 [55,0;67,0]
Группа сравнения	7	женщины – 4, мужчины – 3	49 ,0 [26,0;57,0]

Примечание: \* – указаны медианы и процентиля [25%; 75%]

Забор периферической крови и синовиальной жидкости для исследований проводился во время оперативного вмешательства (эндопротезирования сустава или артроскопии).

Выполнено исследование мочи, общий и биохимический анализы крови, а также анализ коагулограммы.

Для определения уровня экспрессии микроРНК в синовиальной жидкости и плазме у пациентов с деформирующими заболеваниями суставов использовался адаптированный нами протокол молекулярно-генетического исследования («miRNeasy Serum / Plasma Kit», Qiagen, Германия). Экспрессия микроРНК определялась в двухшаговой полимеразной цепной реакции (ПЦР): этап обратной транскрипции (miRCURY LNA RT Kit, Qiagen, Германия), далее – ПЦР в реальном времени (miRCURY LNA miRNA SYBR Green PCR Kit, Qiagen, Германия). Исследовались циркулирующие микроРНК: hsa-miR-140-5p (MIMAT0000431) и hsa-let-7e-5p (MIMAT0000066). Нормализацию полученных значений Ct проводили по Ct малой ядерной РНК U6. Для определения экспрессии микроРНК использовали метод  $2^{-\Delta\Delta Ct}$ .

Статистический анализ полученных результатов проводился непараметрическими методами с использованием программы «Statistica 8.0». Для выявления статистически значимых различий или взаимосвязи признаков критический уровень значимости  $p$  нулевой гипотезы принимали равным 0,05.

Проведенные нами молекулярно-генетические исследования плазмы периферической крови не показали статистически значимые изменения уровня экспрессии miR-140 при остеоартритах, тем самым не подтверждая результаты компьютерного моделирования.

Однако у пациентов с остеоартритами в синовиальной жидкости установлено снижение уровня экспрессии микроРНК miR-140 ( $p=0,03$ ), коррелирующее со степенью активности заболевания ( $R_s=-0,65$ ,  $p=0,02$ ). Кроме того, отмечена тенденция к увеличению кратности изменения экспрессии miR-140 в синовиальной жидкости пациентов с деформирующими заболеваниями суставов по сравнению с аналогичным показателем в контрольной группе ( $p=0,08$ ).

При коксартрозах установлено статистически значимое подавление более чем в 5 раз экспрессии miR-140 в синовиальной жидкости по сравнению с аналогичным показателем в контрольной группе ( $p=0,03$ , рисунок 1).

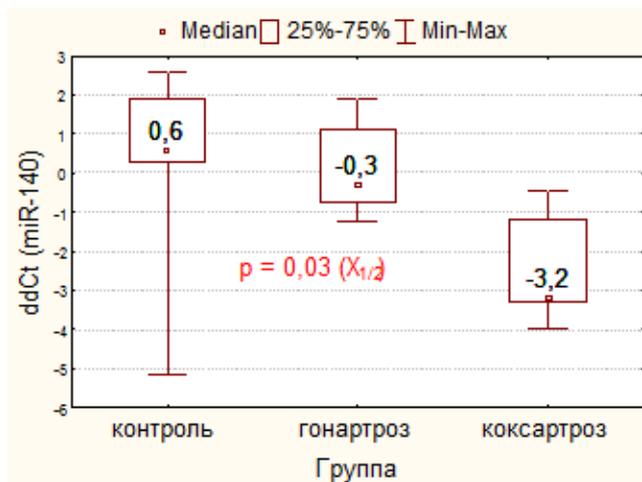


Рис. 1 – Экспрессия циркулирующей микроРНК miR-140 в синовиальной жидкости

Сравнение результатов молекулярно-генетических исследований в независимости от нозологий деформирующий заболеваний суставов показал снижение относительной экспрессии циркулирующей микроРНК let-7e в периферической крови пациентов с остеоартритами ( $p=0,03$ , рисунок 2).

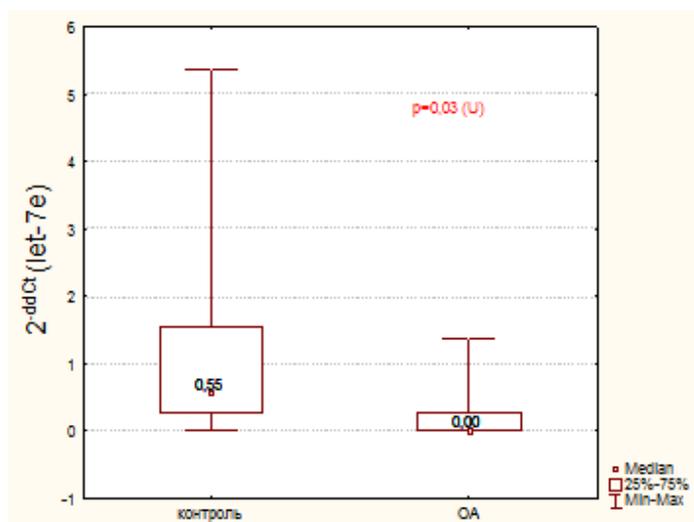


Рис. 2 – Экспрессия циркулирующей микроРНК let-7e в периферической крови исследуемых групп

Выявленное нами изменение экспрессии let-7e может объясняться наличием сопутствующей патологии, в частности, присутствием компонентов метаболического синдрома, сопровождаемого системным воспалением, а также воспалительной природой формирования самого остеоартрита. Это подтверждается исследованиями по участию семейства let-7 в процессах пролиферации, апоптоза и аутофагии хондроцитов.

Исследование экспрессии let-7e в синовиальной жидкости пациентов с гонартрозами и коксартрозами не выявило статистически значимых различий в уровне экспрессии данной циркулирующей микроРНК в сравнении с контрольной группой. Однако некоторые литературные данные описывают участие всего семейства микроРНК let-7 в процессах хондрогенеза у мышей и формировании деформирующих заболеваний суставов. Поэтому нами проведен корреляционный анализ, который показал статистически значимую умеренную обратную корреляционную зависимость между уровнем экспрессии let-7e в синовиальной жидкости и степенью активности остеоартрита ( $R_s=-0,53$ ,  $p=0,03$ ).

Развитие тяжелых форм остеоартритов ассоциируют в том числе с микроРНК let-7e [4]. Отмечается связь низких уровней let-7e с повышенным риском артропластики из-за тяжелого течения остеоартрита. На экспериментальной модели крыс деформирующих заболеваний выявлено снижение экспрессии let-7e в сыворотке крови и хряще коленного сустава. Показана обратная зависимость уровня экспрессии let-7e с тяжелым течением остеоартритов коленного и тазобедренного суставов [5].

Кроме молекулярно-генетического исследования нами проанализированы клинико-лабораторных показатели у пациентов с остеоартритами, а также их связь с экспрессией микроРНК.

Клинико-лабораторные исследования показали изменения в общем анализе крови пациентов с остеоартритами, характерные для воспалительного процесса. Установлено статистически значимое увеличение количества лейкоцитов, сегментоядерных нейтрофилов и моноцитов ( $p < 0,05$ , соответственно). Также выявлены изменения в анализе гемостазиограммы (снижение ПТИ, увеличение МНО) и активности аланинаминотрансферазы периферической крови данной группы пациентов ( $p < 0,05$ , соответственно). Данные гемостазиограмм пациентов с деформирующими заболеваниями суставов указывают на тенденцию к удлинению периода формирования кровяного сгустка и более низкой свертывающей способности крови пациентов исследуемой группы.

На основе изучения экспрессии циркулирующих микроРНК выявлены взаимосвязи нарушений клинико-лабораторных и молекулярно-генетических показателей при деформирующих заболеваниях суставов.

Экспрессия miR-140 / let-7e микроРНК ассоциирована с изменениями клинико-лабораторных показателей периферической крови пациентов с остеоартритами. При гонартрозе установлена прямая сильная статистически значимая связь уровня экспрессии miR-140 с количеством нейтрофилов ( $R_s = 0,9$ ,  $p < 0,05$ ) в периферической крови, а коэффициент нормализации let-7e прямо коррелировал с относительным количеством моноцитов ( $R_s = 0,7$ ,  $p < 0,05$ ) и обратно коррелировал со средней концентрацией гемоглобина в эритроцитах ( $R_s = -0,8$ ,  $p < 0,05$ ). Развитие коксартроза сопровождается наличием связи между уровнем экспрессии miR-140 в плазме и средней концентрацией гемоглобина в эритроцитах ( $R_s = 0,9$ ,  $p < 0,05$ ) а также обратной корреляцией между относительным изменением экспрессии let-7e и средним содержанием гемоглобина в эритроците ( $R_s = -0,9$ ,  $p < 0,05$ ).

Анализ экспрессии циркулирующих микроРНК miR-140 и let-7e в синовиальной жидкости и периферической крови показал участие данных биомолекул в развитии деформирующих заболеваний суставов и возможность использования в качестве биомаркеров при оценке прогноза течения деформирующих заболеваний суставов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Serum microRNA array analysis identifies miR-140-3p, miR-33b-3p and miR-671-3p as potential osteoarthritis biomarkers involved in metabolic processes / E. Ntounou L. Feng [et al.] // Clin Epigenetics. – 2017. – Vol. 9. – DOI: 10.1186/s13148-017-0428-1.
2. Mirzamohammadi, F. MicroRNAs in cartilage development, homeostasis, and disease / F. Mirzamohammadi, G. Papaioannou, T. Kobayashi // Curr Osteoporos Rep. – 2014. – Vol. 12, № 4. – P. 410–419.
3. Let-7 and miR-140 microRNAs coordinately regulate skeletal development / G. Papaioannou [et al.] // Proc Natl Acad Sci U S A. – 2013. – Vol. 110, № 35. – P. E3291– E3300.
4. Dysregulation of both miR-140-3p and miR-140-5p in synovial fluid correlate with osteoarthritis severity / C-M. Yin [et al.] // Bone Joint Res. – 2017. – Vol. 6, № 11. – P. 612–618.
5. Circulating microRNA let-7e is decreased in knee osteoarthritis, accompanied by elevated apoptosis and reduced autophagy / L. Feng [et al.] // Int J Mol Med. – 2020. – Vol. 45, № 5. – P. 1464–1476.

## АНАЛИЗ ЧАСТОТЫ ВСТРЕЧАЕМОСТИ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ К СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ПАТОЛОГИИ У СПОРТСМЕНОВ

### ANALYSIS OF THE FREQUENCY OF OCCURRENCE OF MOLECULAR GENETIC MARKERS OF PREDISPOSITION TO CARDIOVASCULAR PATHOLOGY IN ATHLETES

**А. С. Люльченко**

**A. Lyulchenko**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
makarevich.nastyusha@gmail.com*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Сердечно-сосудистые патологии на протяжении десятилетий занимают лидирующие позиции по инвалидизации и смертельным исходам во всём мире. Среди спортсменов риск сердечно-сосудистой патологии

существенно возрастает по причине экстремальных физических нагрузок. В работе проведено генотипирование образцов ДНК спортсменов и контрольной группы по отобранным генам-кандидатам патологии сердечно-сосудистой системы. В сформированных группах выявлены носители неблагоприятных генотипов, существенно повышающих риск тромбозов: у 3,2 % гимнастов и 17,1% представителей пожарно-спасательного спорта выявлены опасные мутации II и V факторов свёртываемости крови.

For decades, cardiovascular diseases have been the leading cause of disability and death worldwide. Among athletes, the risk of cardiovascular disease increases significantly due to extreme physical exertion. Genotyping of the DNA samples of athletes and the control group based on the selected candidate genes for the pathology of the cardiovascular system was carried out. Carriers of unfavorable genotypes that significantly increase the risk of thrombosis were identified in the formed groups: dangerous mutations of blood clotting factors II and V were detected in 3.2 % of gymnasts and 17.1% of representatives of fire and rescue sports.

*Ключевые слова:* мутация, полиморфизм, гемостаз, фактор риска, тромб, тромбообразование, сердечно-сосудистые заболевания, смертность.

*Keywords:* mutation, polymorphism, hemostasis, risk factor, blood clot, thrombosis, cardiovascular diseases, mortality.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-58-62>

Сердечно-сосудистые заболевания – группа болезней сердца и кровеносных сосудов. В настоящее время данные патологии являются одной из ведущих причин смертности населения по всему миру. По оценке ВОЗ 17,9 миллионов смертей ежегодно вызваны сердечно-сосудистыми заболеваниями; что составляет 44% всех случаев неинфекционных заболеваний и 31% всех смертей в мире [1]. Публикуемые ежегодно статистические данные по Республике Беларусь указывают на высокий уровень заболеваемости и смертности от болезней системы кровообращения (~25%).

Из вышесказанного можно сделать вывод, что ущерб, наносимый данной группой заболеваний, для экономики существенен и включает в себя не только затраты на лечение, но и потери, обусловленные инвалидностью, снижением производительности труда и преждевременной смертью. Поэтому важно рассматривать мультифакторный риск развития сердечно-сосудистых патологий для возможности ранней диагностики заболеваний и их осложнений, профилактики. Следовательно, изучение роли генетических факторов в этиологии и патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний имеет большое значение.

Особое место в патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний занимает тромбообразование. Так при инфаркте миокарда частота тромбозов сердечных артерий составляет до 90%. Развитие инсультов связано с тромбозами сосудов головного мозга в 75 – 80% случаев. Мутации генов систем гемостаза и антигемостаза или отсутствие таких мутаций определяют, насколько сильным должно быть воздействие внешних факторов, чтобы произошло тромбообразование. В целом, наибольшее клиническое и прогностическое значение для тромбозов имеют полиморфные варианты Thr/Ala гена  $\alpha$ -цепи фибриногена (F1 свёртываемости крови), мутация G20210A гена FII свёртывания крови (протромбин), лейденская мутация (точечная мутация гена FV свёртывания крови), а также вариант Val/Leu FXIII свёртываемости крови и 4G/5G гена PAI-1 [2].

Участок гена с полиморфизмом Thr/Ala, кодирует часть фибриногена, ответственную за его взаимодействие с FXIII свёртывания, также в этой части белка находится центр взаимодействия  $\alpha$ 2-антиплазмина и фибрина.  $\alpha$ 2-антиплазмин локализуется в сгустке фибрина, который, благодаря этому, не расщепляется под действием плазмина, образуется тромб [3]. Мутация гена FII свертывания крови связана с заменой последовательности нуклеотидов в протромбине, что приводит к нарушению его основной функции, образованию фибрина, а точнее либо к его гиперэкспрессии, либо наоборот – к снижению. Лейденовская мутация – фактор предрасположенности к венозным тромбозам, характеризуется резистентностью FV к действию протеина C, который в норме является антикоагулянтом и расщепляет FV, из-за чего возникает гиперкоагуляция. Мутация замедляет скорость, с которой APC инактивирует FV, из-за чего растёт риск образования тромба. Вариант Val/Leu FXIII гена свёртываемости крови приводит к увеличению скорости активации FXIII в несколько раз. Повышение активности FXIII свёртываемости крови сопровождается увеличением адгезивности и агрегации кровяных пластинок. Кодированный геном ингибитора активатора плазминогена PAI-1 4G/5G белок играет важнейшую роль в регуляции фибринолиза. Наличие 4 гуанинов вместо 5 в структуре гена ингибитора активатора плазминогена приводит к повышению его функциональной активности [4].

Особый интерес представляет изучение частоты встречаемости молекулярно-генетических маркеров сердечно-сосудистой патологии у профессиональных спортсменов, экстремальные физические и эмоциональные нагрузки могут способствовать проявлению неблагоприятной наследственности, приводящей к летальным или инвалидизирующим событиям. Среди спортсменов риск смерти из-за сердечно-сосудистой патологии существенно превышает таковой в общей популяции (1,6 на 100 тыс. для спортсменов и 0,75 на 100 тыс. для популяции в целом). Например, в структуре внезапной смерти спортсменов более 50% приходится на сердечно-сосудистую патологию, причём средний возраст погибших составляет 18±5 лет [5]. Выявление групп повышенного риска среди спортсменов позволит снизить вероятность развития патологии. Зная о наличии предрасположенности к,

например, рассматриваемому здесь тромбообразованию, с помощью индивидуального медико-биологического обеспечения могут быть скорректированы образ жизни и система тренировок спортсмена.

Целью настоящей работы является анализ частоты встречаемости молекулярно-генетических маркеров сердечно-сосудистой патологии у спортсменов по сравнению с контрольной группой.

### Материалы и методы

В исследование были включены следующие группы спортсменов: представители команд по художественной гимнастике (32 человека) и футболу (46 человек), сотрудники Министерства по чрезвычайным ситуациям, занимающиеся пожарно-спасательным спортом (41 человек), представители спецназа Министерства внутренних дел (9 человек). Контрольная группа включала 167 человек. В качестве биологического материала для молекулярно-генетических исследований была использована ДНК, выделенная из Buccal epithelium.

Локусы генов F1 Thr312Ala, F2 G20210A, F5 G1691A, F13 Val34Leu и PAI-1 4G/5G определяли с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени.

Амплификационная смесь с конечным объемом 10 мкл на одну реакцию содержала 5 мкл 2×ПЦР буфера, 1 мкл 10× TaqMan-зонда, и доведена H<sub>2</sub>O. В пробирки для ПЦР вносилось по 9 мкл амплификационной смеси и 1 мкл (15нг) образца ДНК. В амплификаторе проводилась денатурация образцов при 95°C в течение 10 минут, после – 40 циклов амплификации при следующих условиях: 15 с. денатурации при 95°C; 60 с. отжига и синтеза при 60°C и считывание флуоресценции плашки. Для статистического анализа использовался критерий согласия Пирсона ( $\chi^2$ ), при необходимости с учётом поправки Йетса.

### Результаты и их обсуждение

Распределение искомым генотипов в контрольных группах для всех проанализированных полиморфизмов соответствовало распределению Харди-Вайнберга. Распределения частот генотипов и аллелей среди сформированных групп с контрольной группой, состоявшей из 167 человек, без явной патологии сердечно-сосудистой системы.

Результаты генотипирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Частоты распределения генотипов по полиморфизмам генов сердечно-сосудистой патологии сформированных групп и контрольной группы

	Гимнасты	МЧС	Спецназ	Футбол	Контроль
<i>F1 Thr312Ala</i>	N=32	N=41	N=9	N=46	N=167
<i>Thr/Thr</i>	68,8	50,0	88,9	57,7	58,7
<i>Thr/Ala</i>	25,0	42,5	11,1	34,6	37,1
<i>Ala/Ala</i>	6,2	2,5	0	7,7	4,2
<i>P</i>	0,4	0,76	0,21	0,48	–
<i>F2 G20210A</i>	N=32	N=41	N=9	N=46	N=161
<i>G/G</i>	100	92,7	100	97,8	96,3
<i>G/A</i>	0	7,3	0	2,2	3,7
<i>A/A</i>	0	0	0	0	0
<i>P</i>	0,54	0,61	0,84	0,88	–
<i>F5 G1691A</i>	N=32	N=41	N=9	N=46	N=161
<i>G/G</i>	90,6	90,2	100	100	95,0
<i>G/A</i>	9,4	9,8	0	0	5,0
<i>A/A</i>	0	0	0	0	0
<i>P</i>	0,62	0,51	0,79	0,3	–
<i>F13 Val34Leu</i>	N=32	N=41	N=9	N=46	N=165
<i>Val/Val</i>	43,8	54,5	66,7	73,1	46,7
<i>Val/Leu</i>	46,9	35,7	33,3	26,9	47,3
<i>Leu/Leu</i>	9,3	9,5	0	0	6,0
<i>P</i>	0,78	0,36	0,45	0,03	–
<i>PAI-1 4G/5G</i>	N=32	N=41	N=9	N=46	N=150
<i>4G/4G</i>	25,0	36,6	0	39,1	27,7
<i>4G/5G</i>	50,0	51,2	55,6	52,2	50,0
<i>5G/5G</i>	25,0	12,2	44,4	8,7	21,3
<i>P</i>	0,87	0,36	0,1	0,11	–

Представленные результаты, позволили выявить статистически значимые различия в распределении частот генотипов полиморфизма Val34Leu гена FXIII в группе футболистов: среди них частота неблагоприятных генотипов, являющихся фактором риска тромбообразования, существенно ниже, чем в контрольной популяции. Кроме того, в группе футболистов статистически достоверно повышена частота аллеля 4G полиморфизма 4G/5G гена PAI-1 ( $\chi^2 = 3,82$ ,  $p < 0,05$ ), который является фактором риска тромбообразования. Наличие этого аллеля сопровождается повышенной экспрессией гена PAI-1 и повышением уровня ингибитора активатора плазминогена, в результате чего снижается активность фибринолитической системы, и риск тромбообразования увеличивается в 2 раза.

Обращает на себя внимание существенно повышенная частота носителей лейденской мутации в группах лиц, занимающихся художественной гимнастикой (9,4%) и работников МЧС (9,8%) по сравнению с контрольной группой (5,0%). Кроме того, у работников МЧС частота гетерозиготных носителей мутации G20210A в гене FII (7,3%) практически в 2 раза выше по сравнению с контрольной группой (3,7%). В то же время, среди сотрудников спецназа и футболистов не выявлено ни одного носителя лейденской мутации.

Следует отметить, что по результатам генотипирования по генам сердечно-сосудистой патологии среди сотрудников спецназа частота неблагоприятных вариантов по всем проанализированным полиморфизмам существенно ниже по сравнению с контролем. При анализе не было обнаружено ни одной Лейденской мутации или мутации протромбина, а также гомозиготных генотипов 4G/4G по гену PAI-1. Частота благоприятных гомозигот 5G/5G по гену PAI-1 оказалась выше по сравнению с контрольной группой.

Была произведена оценка индивидуального риска развития сердечно-сосудистой патологии в исследуемых выборках. При этом проводили комплексный анализ сразу по 5 наиболее информативным маркерам патологии сердечно-сосудистой системы, что позволяет более точно рассчитать риск этой патологии и в дальнейшем разработать для них персональные рекомендации.

В соответствии с функциональной значимостью вариантов полиморфизмов генов, ассоциированных с предрасположенностью к сердечно-сосудистой патологии (см. таблица 2), каждому неблагоприятному аллелю присваивается значимость риска «1», а благоприятному «-1». Таким образом, по результатам генотипирования по каждому неблагоприятному полиморфизму возможны значения риска «0», «1» и «2», для благоприятного (протекторного) – соответственно «0», «-1» и «-2». В зависимости от суммы баллов и комбинаций генотипов определяется общий риск сердечно-сосудистой патологии: низкий – сумма баллов значимости составляет 1 и менее; умеренный – сумма баллов значимости составляет 2 – 3; высокий – сумма баллов значимости составляет 4 или более.

В случае носительства опасных Лейденской мутации и мутации протромбина риск сердечно-сосудистой патологии считали высоким независимо от комбинации генотипов по другим генам. Риск дополнительно повышается за счет совместного действия неблагоприятной гомозиготы PAI-1 4g/4g и неблагоприятного аллеля по полиморфизму гена F13 (аллель Leu – на +1, гомозигота Leu/Leu – на +2).

Таблица 2 – Варианты полиморфизмов генов предрасположенности к сердечно-сосудистой патологии и их значимость при оценке риска

Ген	Полиморфизм	Аллель	Характеристика риска сердечно-сосудистой патологии	Значимость (вклад в общий риск), баллов
F1	Thr312Ala	Thr	N	0
		Ala	Повышен	1
F2	G20210A	G	N	0
		A	Повышен	1
FVL	G1691A	G	N	0
		A	Повышен	1
F13	Val34Leu	Val	N	0
		Leu	Повышен	1*
PAI-1	4G/5G	4G	Повышен	1*
		5G	N	0
ACE	I/D	I	Снижен	-1
		D	Повышен	1

\*Риск дополнительно повышается из-за совместного действия неблагоприятной гомозиготы PAI-1 4g/4g и неблагоприятного аллеля по полиморфизму гена F13 (аллель Leu – на +1, гомозигота Leu/Leu – на +2).

По результатам генотипирования и расчета риска сердечно-сосудистой патологии у представителей национальных команд Республики Беларусь по художественной гимнастике, у 4 гимнасток риск этой патологии определен как высокий, причем у 3 из них обнаружена опасная Лейденская мутация.

По результатам генотипирования сборных команд Республики Беларусь по пожарно-спасательному спорту по генам предрасположенности к патологии сердечно-сосудистой системы выявлено 15 спортсменов с высоким

риском этой патологии. Особое внимание следует уделить 4 спортсменам, с выявленной Лейденской мутацией в гетерозиготном состоянии, существенно повышающая риск тромбообразования.

Анализ генов, продукты которых отвечают за синтез и активность факторов свертывания крови и фибринолиза, дает возможность оценить риск развития патологий, связанных с нарушением баланса свертывающей и противосвертывающей систем крови. Большое значение имеет комплексный анализ сразу по нескольким маркерам патологии сердечно-сосудистой системы, что позволит ещё более точно рассчитать риск нарушений. Именно изменения в системе гемостаза и фибринолиза при постоянном внешнем воздействии, по мнению некоторых исследователей, являются независимыми и одними из решающих факторов риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Top 10 causes of death [Электронный ресурс] / World health organization – Режим доступа: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> - Дата доступа: 09.04.2021.

2. Heit, J. A. Thrombophilia: Clinical and Laboratory Assessment and Management. / J. A. Heit // Consultative Hemostasis and Thrombosis. 3rd ed. Philadelphia / ed. C. Kitchens. – Saunders Elsevier, 2013. – P. 205–39.

3. Крючкова, Н. М. Полиморфизм генов MTHFR, GP1BA, FGA при тромбоэмболии легочной артерии / Н. М. Крючкова, Т. Е. Федорова, А. А. Чернова // РМЖ – 2020. – Т.28, №3. – С. 18-20.

4. Баркаган, З. С. Основы диагностики нарушений гемостаза / З. С. Баркаган, А. П. Момот – М.: Ньюдиамед, 1999. – 217 с.

5. Бойцов, С. А. Национальные рекомендации по допуску спортсменов с отклонениями со стороны сердечно-сосудистой системы к тренировочно-соревновательному процессу // С. А. Бойцов, И. П. Колос, П. И. Лидов // Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии. – 2011. – Т.7, №6. – С. 4-60.

## ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА ПЛОДОВЫХ ТЕЛ *GANODERMA LUCIDUM* НА ПОКАЗАТЕЛИ ВИДОВОГО ИММУНИТЕТА В МОДЕЛИ ИММУННОГО ОТВЕТА У МЫШЕЙ ЛИНИИ BALB/C INFLUENCE OF THE *GANODERMA LUCIDUM* FRUIT BODIES EXTRACT ON INNATE IMMUNITY INDICATORS IN THE MODEL OF AN IMMUNE RESPONSE IN BALB/C MICE

***A. K. Lyamtseva, T. P. Romanovskaya***  
***A. Lyamtseva, T. Romanovskaya***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
lyamtseva98@gmail.com  
Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

Современные лабораторные и клинические исследования выявили противоопухолевые, иммуномодулирующие, гепатопротекторные, антиоксидантные и др. свойства *Ganoderma lucidum* благодаря наличию в его составе индивидуальных компонентов с фармакологической активностью. Его воздействие на иммунную систему разнообразно. Основной иммуностропный эффект экстракта плодовых тел *Ganoderma lucidum* направлен на увеличение показателей фагоцитарной активности перитонеальных макрофагов и увеличение активности классического пути активации системы комплемента.

Modern laboratory and clinical studies have revealed antitumor, immunomodulatory, hepatoprotective, antioxidant, and other properties of *Ganoderma lucidum* due to the presence in its composition of individual components with pharmacological activity. Its effects on the immune system are varied. The main immunotropic effect of the *Ganoderma lucidum* fruit bodies extract is aimed at increasing the indicators of the phagocytic activity of peritoneal macrophages and increasing the activity of the classical pathway of activation of the complement system.

*Ключевые слова:* *Ganoderma lucidum*, экстракт плодовых тел, иммуностропная активность, биологически активные вещества, иммунный ответ.

*Keywords:* *Ganoderma lucidum*, fruit body extract, immunotropic activity, biologically active substances, immune response.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-62-65>

## Введение

*Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., известный как трутовик лакированный, Рейши – популярный высший базидиальный гриб, используемый в традиционной восточной медицине для профилактики и лечения различных патологических состояний.

В настоящее время из *Ganoderma lucidum* (*G. lucidum*) выделено и идентифицировано 240 вторичных метаболитов, среди которых наиболее изучены и биологически активны тритерпеноиды и полисахариды [1]. Они способны оказывать противоопухолевое, иммуномодулирующее, антибактериальное, противовоспалительное, антиаллергическое, гипогликемическое, гепатопротекторное и др. действия [3].

Ряд исследований продемонстрировали иммуномодулирующие эффекты *G. lucidum* как *in vivo*, так и *in vitro*, включая стимулирование пролиферации и дифференцировки антигенпрезентирующих клеток, таких как дендритные клетки, усиление фагоцитарной активности макрофагов; усиление гуморального и клеточного иммунитета, такое как стимулирование продукции иммуноглобулинов, пролиферативных ответов Т- и В-лимфоцитов и продукции цитокинов [5].

Поиск и разработка грибных препаратов, улучшающих объективное и субъективное состояние больного во время лечения и в период восстановления, является на сегодняшний день одним из важных направлений, особенно в области гуманистической медицины. То есть основной задачей включения в схему лечения препаратов сопровождения является не столько их эффективность против основного заболевания, сколько помощь в ведении полноценной жизни во время и после лечения основными препаратами.

Препараты на основе полисахаридов, синтезируемые грибами рода *Ganoderma*, например, PSK (коммерческое название крестин) обладают иммуномодулирующей активностью и широким спектром противоопухолевой активности. PSK действует как непосредственно на клетки опухоли, так и опосредованно через повышение клеточного иммунитета. Широкие клинические испытания прошла биологическая добавка к пище Ганополи (*Ganopoly*), содержащая полисахариды плодовых тел *G. lucidum*. Исследование 44 пациентов с поздними стадиями рака показало, что прием Ганополи приводит к усилению иммунного ответа.

Для создания эффективного лекарственного средства необходимо решить такие вопросы, как обоснование новых направлений использования биологически активных веществ базидиомицетов, стандартизация химического состава препарата, обеспечение воспроизводимости биологических эффектов, установление роли препарата в схемах лечения больных, определение оптимальных лечебных доз и путей введения препаратов [2].

## Материалы и методы исследования

Исследование влияния экстракта плодовых тел *G. lucidum* на показатели видового иммунитета проведено на лабораторных животных – мышах (самцы) линии BALB/c. Опытная и контрольная группы мышей состояли из 6 животных.

Из высушенных и измельченных плодовых тел *Ganoderma lucidum* получали этанольные экстракты. Лабораторные животные опытной группы получали экстракт на основе плодовых тел гриба *G. lucidum*, группа контроля вместо экстракта получали дистиллированную воду в том же объеме и в те же дни, что и животные опытных групп.

Индукция иммунного ответа (иммунизация) производилась суспензией эритроцитов барана (0,1 мл суспензии в концентрации  $1 \times 10^8$  клеток/мл на мышь). Животные снимались с эксперимента на 7-е сутки после иммунизации. Исследуемый экстракт вводился животным опытной группы в дозе 50 мг/кг массы однократно в день иммунизации. Таким образом, достигалось воздействие исследуемого препарата на развитие индуктивной фазы иммунного ответа.

Для оценки показателей видового иммунитета определялись следующие показатели:

- показатели функциональной активности перитонеальных макрофагов: фагоцитарный показатель – ФП, фагоцитарное число – ФЧ;
- функциональная активность классического пути активации системы комплемента – СН50;
- функциональная активность альтернативного пути активации системы комплемента – АР50.

Для определения указанных параметров применялись стандартные для такого рода исследований методы.

Статистический анализ данных осуществлялся с помощью пакета прикладных программ Statistica 8.0. Для тестирования данных на подчинение закону нормального распределения использовался W-критерий Шапиро-Уилка, критерий Колмогорова-Смирнова, а также осуществлялось построение графиков распределения. Данные не подчинялись закону нормального распределения, что позволило применить для статистической обработки непараметрический метод. Для представления полученных данных использовали показатели медианы, нижнего и верхнего квартиля (25-й и 75-й процентиля). Для сравнения двух независимых групп использовали непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Различия считались статистически значимыми при уровне значимости (p) менее 0,05. Для построения и математической обработки экспериментальных графиков использовали компьютерные программы «Microsoft Office Excel 2013».

**Результаты исследования и их обсуждение.** В ряде исследований было показано, что экстракты плодовых тел, спор и мицелия *G. lucidum* и выделенные из них полисахариды, тритерпены и белок, обладают выраженными иммуномодулирующими свойствами. Характер воздействия биологически активных веществ этого гриба на иммунную систему разнообразен и включает в себя действие на функции гуморального и клеточного

иммунитета. Одним из важнейших механизмов иммуномодулирующего действия полисахаридов *G. lucidum* является активация макрофагов и влияние на их функции [1].

В таблице 1 представлены данные, отражающие влияние фракций экстракта плодовых тел *G. lucidum* на показатели видового иммунитета.

Таблица 1 – Влияние фракций экстракта плодовых тел *G. lucidum* на показатели видового иммунитета

Показатели	Группы лабораторных животных		Уровень значимости
	Контрольная группа	Опытная группа	
Фагоцитарный показатель, %	29,0 (25,0÷30,0)	48,5 (47,0÷50,0)	0,004
Фагоцитарное число	4,2 (3,1÷5,1)	6,3 (5,6÷7,0)	0,005
Активность классического пути системы комплемента, СН50 (у.е.)	24,5 (22,0÷32,0)	45,5 (38,0÷50,0)	0,005
Активность альтернативного пути системы комплемента, АР50 (у.е.)	7,95 (5,5÷10,4)	10,8 (9,0÷14,4)	0,06

В отношении фагоцитарной активности перитонеальных макрофагов обнаруживается статистически значимое увеличение параметров ФП и ФЧ, что указывает на возрастание поглотительной способности макрофагов (рис.1). Макрофаги являются мощными фагоцитарными клетками, ключевыми игроками в системе врожденного иммунитета и связующим звеном между врожденным и адаптивным иммунитетом. Активированные макрофаги продуцируют многочисленные биоактивные соединения, а также цитокины, в первую очередь интерлейкины (ИЛ-1, ИЛ-6), ФНО- $\alpha$  и ИНФ- $\gamma$ , которые имеют решающее значение для набора и активации других иммунных клеток и стимуляции адаптивного иммунитета [5].

В опытах *in vitro* и *in vivo* было показано, что водные экстракты плодовых тел и полисахариды *G. lucidum* повышают фагоцитарную активность и эффективность фагоцитоза перитонеальных макрофагов. Водные экстракты плодовых тел, полисахаридные фракции и индивидуальные полисахариды, выделенные из плодовых тел, спор и мицелия, значительно стимулируют продукцию макрофагами цитокинов. Активация макрофагов сопровождается усилением кислородного метаболизма – респираторного взрыва, характеризующегося резким увеличением потребления кислорода клеткой и образованием активных форм кислорода [1].

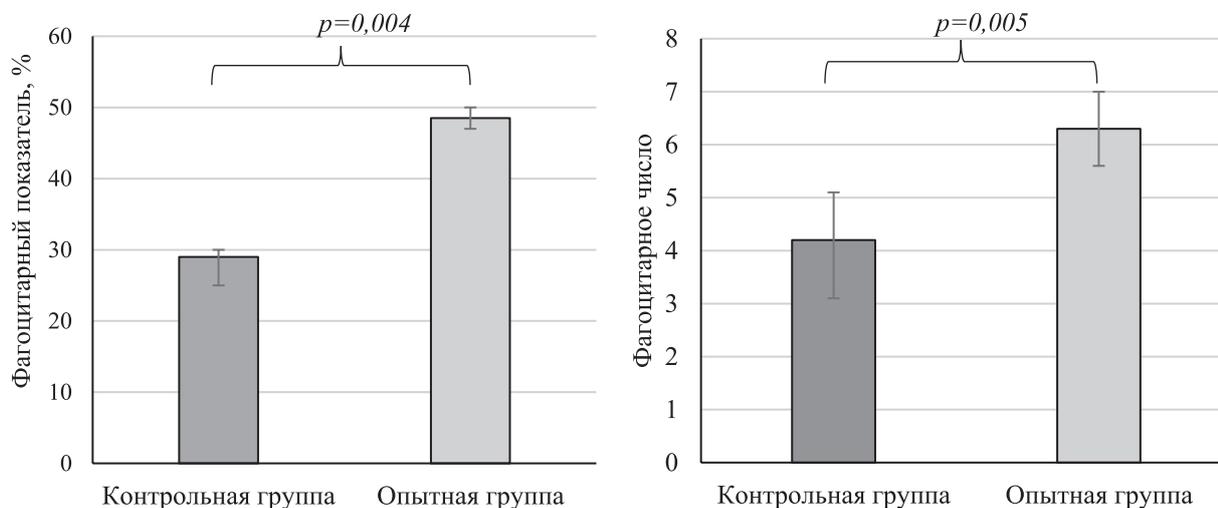


Рис. 1 – Показатели ФП и ФЧ лабораторных животных контрольной и опытной групп

Показатель активности системы комплемента СН50 статистически значимо увеличивался в группе животных, иммунизированных эритроцитами барана, получавших экстракты плодовых тел *G. lucidum* (рис.2). Значения показателя АР50 в исследуемых группах не имело отличий ( $p < 0,05$ ). Из чего следует, что экстракт *G. lucidum* способствует увеличению активности классического пути активации системы комплемента.

Комплемент является важным фактором врожденного иммунитета, играющим существенную роль в развитии иммунных и воспалительных реакций. Представляя собой первичный барьер на пути развития инфекционных процессов, инициируя огромное разнообразие клеточных и гуморальных реакций и межмолекулярных взаимодействий, формирующих иммунный ответ, комплемент, по сути, является цитотоксичной системой защиты организма, обеспечивающей в норме элиминацию инородных патогенов, токсических продуктов тканевого распада, опсонизацию некротических и апоптотических клеток, облегчая их захват фагоцитами,

индукцию и усиление воспаления, а также секрецию иммунорегуляторных молекул и удаление из кровотока иммунных комплексов [4].

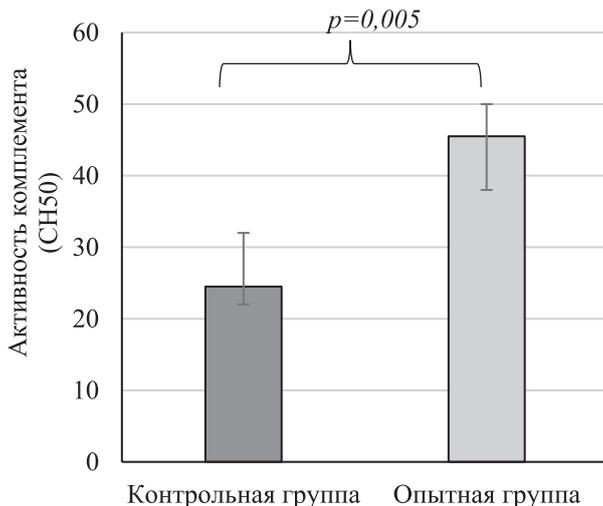


Рис. 2 – Показатель активности комплемента лабораторных животных контрольной и опытной групп

### Заключение

Таким образом, у животных опытной группы наблюдалось достоверное в сравнении с контрольной группой усиление фагоцитарной активности перитонеальных макрофагов и увеличение функциональной активности классического пути активации системы комплемента. Основной иммунотропный эффект экстракта плодовых тел *G. lucidum* направлен на модификацию клеточного иммунного ответа (в модели индукции эритроцитами барана).

Перечисленные результаты подтверждают возможность использования экстракта плодовых тел *G. lucidum* для повышения иммунного статуса организма в качестве средства вспомогательной терапии для усиления реакций клеточного иммунитета.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Автономова, А. В. Противоопухолевые и иммуномодулирующие свойства трутовика лакированного *Ganoderma lucidum* / А.В. Автономова, Л.М. Краснопольская // Микология и фитопатология. 2013;1:3–11.
2. Краснопольская, Л. М. Клинические испытания препаратов полисахаридов высших грибов и выбор дальнейших путей их использования / Л.М. Краснопольская, А.В. Автономова, М.С. Ярина // Биологические особенности лекарственных и ароматических растений и их роль в медицине: международная научно-практическая конференция, посвященная 85-летию ВИЛАР, Москва, 23–25 июня 2016 г. / ФГБНУ ВИЛАР; редколлегия: Л.Н. Зайко (гл. ред.) [и др.]. – Москва, 2016. – С. 487–491.
3. Романовская, Т. Р. Исследование *in vivo* гематотропных и иммунотропных свойств субстанций на основе мицелия грибов *Ganoderma lucidum* и *Laetiporus sulfureus* / Т. Р. Романовская, Н. В. Иконникова, М. В. Лобай // Журнал БГУ. Экология. 2019;1:76–83.
4. Sarma JV. The complement system / Sarma JV, Ward Peter A // Cell Tissue Research. 2011;343:227–235.
5. Wang, X. Immunomodulating Effect of *Ganoderma* (Lingzhi) and Possible Mechanism / Wang X, Lin Z // Ganoderma and Health: Pharmacology and Clinical Application. 2019;1182:1–37.

**ПРОТОКОЛ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО  
ПЛАНИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВЫ И ШЕИ  
TREATMENT PLANNING PROTOCOLS  
FOR HEAD AND NECK TUMORS IRRADIATION**

**А. И. Макарова<sup>1,2</sup>, М. Н. Петкевич<sup>1,2</sup>  
N. I. Makarava<sup>1,2</sup>, M. N. Piatkevich<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
nasyaollessik1994@gmail.com*

<sup>2</sup>*РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова, п. Лесной, Республика Беларусь  
nasyaollessik1994@gmail.com*

<sup>1</sup>*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*National Cancer Center of Belarus*

С целью обеспечения высококачественной лучевой терапии в Республиканском научно-практическом центре онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова группой медицинских физиков разработан первый в Беларуси локальный протокол для дозиметрического планирования опухолей головы и шеи. Протокол содержит практические, обоснованные рекомендации при планировании облучения пациентов с опухолями головы и шеи с применением современных линейных ускорителей электронов, основанные на многолетнем клиническом опыте работы квалифицированных медицинских физиков.

In order to provide high-quality radiation therapy at the National Cancer Center of Belarus, a group of medical physicists developed the first local protocol in Belarus for radiotherapy treatment planning of head and neck tumors patients. The protocol contains grounded practice-oriented recommendations based on the long-term clinical experience of qualified medical physicists in treating patients with head and neck tumors for irradiation using modern linear accelerators.

*Ключевые слова:* лучевая терапия, опухоли головы и шеи, протоколы дозиметрического планирования, медицинский физик, методики облучения.

*Keywords:* radiation therapy, head and neck tumors, treatment planning protocols, medical physicist, radiation techniques.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-66-69>

Во всем мире злокачественные новообразования головы и шеи в среднем являются причиной 650 000 новых случаев онкологических заболеваний и 330 000 смертей ежегодно. В 2018 году заболевания опухолей головы и шеи заняли седьмое по распространенности в мире: было зарегистрировано 890 000 новых случаев и 450 000 человек умерли от этого [1]. Средняя 5-летняя выживаемость после постановки диагноза в развитом мире составляет 42-64 % [2].

В группу опухолей головы и шеи (ОГШ) входят новообразования различной гистологической структуры следующих локализаций: губа и полость рта; глотка: ротоглотка, носоглотка, гортаноглотка; гортань: надсвязочный отдел, средний отдел (область голосовых складок), подсвязочный отдел; полость носа и околоносовые пазухи; первично неопределяющаяся карцинома с метастазами в шейные лимфоузлы; злокачественная меланома верхних отделов желудочно-кишечного тракта и дыхательных путей; большие слюнные железы; щитовидная железа.

Для лечения пациентов, страдающих злокачественными новообразованиями головы и шеи, используют все методы лечения: хирургическое, лучевое и химиотерапия. Результаты лучевого лечения пациентов с опухолями губы и слизистой оболочки полости рта I–II стадии в целом сопоставимы с хирургическим методом. Распространенные опухоли на III–IV стадиях лечат с использованием лучевой терапии в виде пред-и/или послеоперационного воздействия с целью создания более благоприятных условий для радикального хирургического вмешательства и уменьшения числа рецидивов. В качестве основного метода лечения лучевая терапия также применяется при нерезектабельных опухолях или высоком риске хирургического вмешательства [3].

В работах [4,5] показана необходимость создания протоколов, которые включают в себя рекомендации действий медицинского физика на всех этапах проведения дистанционной лучевой терапии, как сложного многоэтапного процесса. С целью повышения качества лучевой терапии, уменьшения времени нахождения персонала и пациентов в зоне радиационного воздействия во время сеансов лучевой терапии, оптимизацию работы медицинского физика разработан настоящий протокол дозиметрического планирования облучения пациентов с опухолями головы и шеи.

В процессе разработки протоколов проведён анализ зарубежных рекомендаций по планированию лучевой терапии, в результате создана уникальная структура локальных протоколов, адаптированная к региональным особенностям проведения лучевого лечения.

Протокол включает в себя:

- анатомию локализации;
- предлучевую подготовку, в том числе рекомендуемое позиционирование пациента и использование специальных иммобилизирующих приспособлений, предназначенных для фиксации и комфортного воспроизводимого положения пациента во время всех сеансов лучевой терапии;
- критерии определения и нанесения объемов облучения и критических органов;
- описание современных методик планирования, физико-технические указания и требования к планированию облучения, конфигурацию углов пучков облучения, методы обратной оптимизации дозиметрического планирования;
- подходы к обоснованному выбору плана облучения, базирующимся на критериях оценки гомогенности и конформности дозового распределения в мишени, дозовой нагрузки на критические органы и ткани.

Предлучевая подготовка пациента начинается с получения объемной анатомической информации о пациенте с помощью использования компьютерной томографии, при этом границы сканирования определяются от макушки черепа или орбито-меатальной линии до рукоятки грудины. Для снижения дозы на слизистую полости рта возможно использование дополнительных приспособлений (пробка, каппа, «bite block» и др.). Положение пациента во время сканирования: лежа на спине, руки располагаются вдоль тела. Голова должна находиться в немного запрокинутом положении, так чтобы подбородок пациента находился достаточно высоко и далеко от шеи, а шейный отдел позвоночника был максимально распрямлен. Такое положение обеспечивает максимальное исключение спинного мозга из зоны планируемого объема облучения. Плечи должны быть максимально оттянуты книзу, чтобы открыть шею и надключичные ямки [3].

Затем определяются основные объемы мишеней облучения:

- GTV – весь определяемый диагностическими методами объем опухолевого поражения, включающий пораженные опухолью лимфоузлы,
- клинический объем облучения CTV – структура, включающая объем GTV и дополнительные зоны высокого риска распространения опухоли, обычно до 1 см во всех направлениях,
- планируемый объем облучения PTV – структура, которая включает CTV и 0,3-0,5 см во всех направлениях в зависимости от применяемых средств иммобилизации и методик лучевого лечения.

В протоколе описаны три методики дозиметрического планирования ОГШ: 3Д КЛТ – трехмерная конформная лучевая терапия, ЛТМИ – лучевая терапия с модуляцией интенсивности, СЛТМИ – секторная лучевая терапия с объемной модуляцией интенсивности. Выбор методики облучения обусловлен анатомическими особенностями пациента, аппаратным оснащением радиологического отделения, наличием соответствующего квалифицированного персонала, временем облучения и предъявляемых требований к дозовым нагрузкам на здоровые критические органы и нормальные ткани в каждом отдельном клиническом случае.

В рекомендациях описан один из способов создания плана с помощью методики 3Д КЛТ:

- расположение пучков ионизирующего излучения (рис.1),
- выбор энергии излучения углов поворота коллиматора и гентри,
- примеры формирования полей с помощью многолепесткового коллиматора,
- расстановка весовых коэффициентов для каждого поля облучения,
- возможности применения клиновидных фильтров.

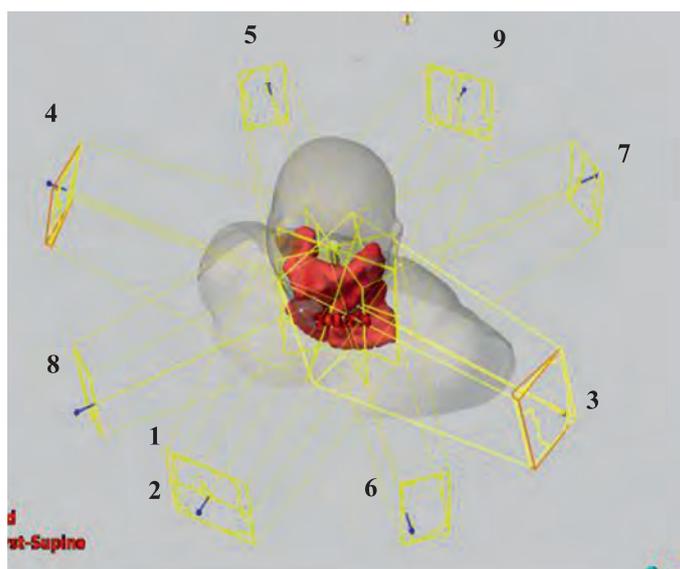


Рис. 1 – Пример расстановки полей при планировании облучения опухолей головы и шеи методом 3Д КЛТ

Описание планирования облучения с помощью методик ЛТМИ и СЛТМИ включает:

- способы расположения пучков ионизирующего излучения (рис.2),
- примеры их формирования,
- необходимые дополнительные структуры для обратного планирования;
- примеры планируемых дозовых пределов и способы их достижения в процессе управления оптимизацией обратного планирования;
- критерии гомогенности и конформности дозового распределения в мишенях облучения и дозовые нагрузки на окружающие здоровые ткани и критические органы.

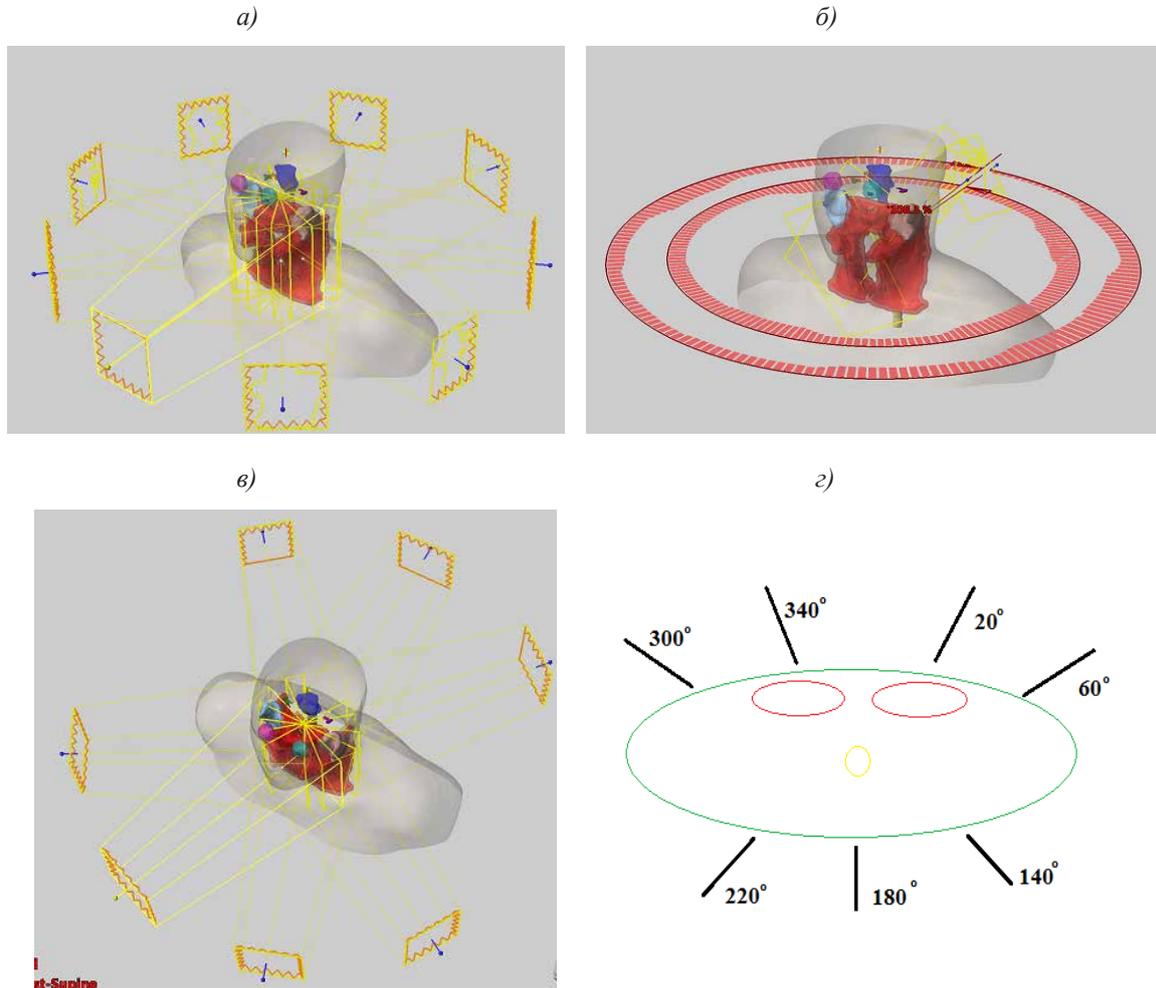


Рис. 2 – а) пример расстановки 9 полей облучения опухолей головы и шеи с помощью IMRT методики, б) пример высокотехнологичной методики VMAT при планировании облучения опухолей головы и шеи, в), г) схема расстановки 7 полей облучения опухолей головы и шеи с помощью IMRT методики, с целью уменьшения дозовой нагрузки на надплечья и времени сеанса облучения

Завершающим этапом планирования облучения оцениваются дозиметрические параметры плана лучевого лечения. Используя гистограмму «доза-объем», медицинским физиком производится количественный анализ:

- дозовых нагрузок на критические органы с учетом вероятности их повреждения согласно RTOG клиническим протоколам и QUANTEC,
- дозового распределения в планируемом объеме PTV согласно международным критериям оценки (99% объема PTV покрывается 90% от предписанной дозы, 95% – 95%), согласно ICRU 83.

Визуальная оценка дозового распределения производится по каждому срезу на трансверсальной, фронтальной и сагиттальной плоскостях диагностических изображений.

Радиационный онколог совместно с медицинским физиком ставят одобрения на лечебный план, затем производится верификация плана на линейном ускорителе с помощью использования фантома или портала, в случае успешной проверки и получения 95% и выше совпадения дозового распределения планов полученным на ЛУЭ и на системе планирования, пациент начинает сеансы лечения на гамма терапевтическом оборудовании дистанционной лучевой терапии.

Разработка и внедрение нормативно-регламентирующей документации медицинского персонала позволяет эффективно и безопасно реализовать все процедуры предлучевой подготовки и лучевого лечения пациента, повысить качество лечебного процесса, оптимизировать работу специалистов и уменьшить время нежелательного

нахождения персонала и пациентов в сфере ионизирующего излучения. Внедрение в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова протоколов дозиметрического планирования РПЖ позволило оптимизировать систематический подход на всех этапах проведения лучевой терапии, регламентировать все технические и физические аспекты планирования и облучения пациента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Laura Q. M.* Head and Neck Cancer. / Q. M. Laura, M. D. Chow // *New England Journal of Medicine*. – 2020. – P. 60–72.
2. *Beyzadeoglu, M.* Radiation Therapy for Head and Neck Cancers: A Case-Based Review / M. Beyzadeoglu, G. Ozyigit, U. Selek. – London : Springer, 2015. – 243 p.
3. Клинический протокол «Алгоритмы диагностики и лечения злокачественных новообразований» : постановление Министерства Здравоохранения Респ. Беларусь, 6 июля 2018 г., № 60.
4. *Piatkevich, M. N.* Development of methodical recommendations for the establishment of physical and technical support for external radiation therapy procedures / M. N. Piatkevich, N. I. Makarava, E. V. Titovich, V. F. Malishevskiy // IX International Scientific Conference for Young Scientists, Graduates, Master and PhD Students «Actual Environmental Problems». – 2019. – P. 197.
5. *Piatkevich, M. N.* Development of methodical recommendations regulating the selection of external beam radiation therapy technique and parameters of treatment planning / M. N. Piatkevich, N. I. Makarava, E. V. Titovich, V. F. Malishevskiy, M. S. Mayorava // IX International Scientific Conference for Young Scientists, Graduates, Master and PhD Students «Actual Environmental Problems». – 2019. – P. 198.

### ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ, СФОРМИРОВАННОЙ НА ОСНОВЕ НАНОПЛЕНОК СЕРЕБРА РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ, ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИММУНОХИМИЧЕСКИХ ТЕСТ-СИСТЕМ

#### THE OPTICAL PROPERTIES STUDY OF THE SOLID PHASE FORMED BASED ON VARIOUS STRUCTURES SILVER NANOFILMS, OPTIMIZED FOR THE IMMUNOCHEMICAL TEST SYSTEMS

**Я. И. Мельникова<sup>1</sup>, А. А. Щербович<sup>1</sup>, И. В. Коктыш<sup>1</sup>,  
О. С. Кулакович<sup>2</sup>, А. А. Романенко<sup>2</sup>, С. А. Маскевич<sup>1</sup>  
Y. Melnikova<sup>1</sup>, A. Scherbovich<sup>1</sup>, I. Koktysh<sup>1</sup>,  
O. Kulakovich<sup>2</sup>, A. Ramanenka<sup>2</sup>, S. Maskevich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт физики им. Степанова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь  
scherbovich.a.a@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus,

<sup>2</sup>B. I. Stepanov Institute of Physics, Minsk, Republic of Belarus

С использованием различных методов осаждения наночастиц серебра на полиэлектролиты ПДАДМАХ и поли-L-лизин созданы твердофазные плазмонные нанопленки. Проанализированы спектры оптической плотности и оценены оптические отклики сигнала флуоресценции комплексов «серебряная нанопленка – полиэлектролит – IgG-FITC». Установлено, что максимальный оптический отклик регистрируется для нанопленок серебра, полученных с помощью методики осаждения серебряных частиц в течение суток. При этом максимумы оптической плотности расположены в интервале 412-414 нм. При формировании на поверхности полученных пленок комплексов «наночастица серебра-полиэлектролит-IgG-FITC» для всех трех серебряных подложек регистрируется длинноволновое смещение их спектров оптической плотности плазмонного возбуждения на 14-18 нм.

Solid-phase plasmonic nanofilms were created using various sedimentation methods of silver nanoparticles on polyelectrolytes PDADMAC and poly-L-lysine. The spectra of optical density are analyzed and the optical responses of the fluorescence signal of the complexes “silver nanofilm - polyelectrolyte - IgG-FITC” are estimated. It was found that the maximum optical response is recorded for silver nanofilms obtained using the technique of silver particle sedimentation during the day. The optical density maxima are located in the interval 412-414 nm. During the formation of the silver nanoparticle-polyelectrolyte-IgG-FITC complexes on the surface of the films

obtained, a long-wavelength shift of their plasmon excitation optical density spectra by 14-18 nm is recorded for all three silver substrates.

*Ключевые слова:* иммунофлуоресценция, поли-L-лизин, полидиаллилдиметиламмоний хлорид, изотиоцианат флуоресцеина, плазмоника.

*Keywords:* immunofluorescence, poly-L-lysine, poly diallyldimethylammonium chloride, fluorescein isothiocyanate, plasmonics.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-69-72>

В настоящее время наночастицы серебра широко используются как эффективные оптические преобразователи разнообразных биоспецифических взаимодействий. В частности, резонансные оптические свойства нанометровых металлических частиц успешно применяются для разработки биочипов и биосенсоров для иммуноанализа. Подобные устройства представляют большой интерес для биологии, медицины и химии [1].

Оптические и физико-химические свойства синтезированных наночастиц серебра в основном определяются их размером, формой и кристаллической структурой. Эти параметры можно варьировать во время химического синтеза за счет снижения концентрации солей серебра и использования большего количества стабилизатора, чтобы избежать агрегации наночастиц.

Наночастицы серебра эффективно поглощают и рассеивают свет. Их сильное взаимодействие со светом происходит из-за того, что электроны проводимости на поверхности металла подвергаются коллективным колебаниям, когда они возбуждаются светом с определенной длиной волны. Это колебание известно как поверхностный плазмонный резонанс, и оно приводит к тому, что интенсивности поглощения и рассеяния наночастиц серебра намного выше, чем у неплазмонных наночастиц одинакового размера.

В подавляющем большинстве случаев для возбуждения поверхностного плазмонного резонанса используется система с высоким показателем преломления, состоящая из прозрачного материала и нанесенной на его поверхность проводящей пленки нанометровой толщины. Противоположная сторона пленки контактирует с анализируемой средой. В основе построения такой системы лежит метод послойной адсорбции [2]. Сущность метода заключается в том, что пленки формируются путем нанесения чередующихся слоев противоположно заряженных материалов на заряженную подложку. Слои могут быть выполнены различными способами, например, нанесением покрытия погружением, центрифугированием, нанесением покрытия распылением. Методом послойной адсорбции можно наносить различные материалы, включая полиионы, металлы, керамику, наночастицы и биологические молекулы.

Поскольку в основе метода послойной сорбции лежит электростатическое связывание соседних слоев, pH растворов полиионов должно быть таким, чтобы они были заряжены. Катионные полимеры легко сочетаются с противоположно заряженными белками и используются для улучшения сорбции антигена/антитела и коллоидной стабильности.

Цель исследования: изучить оптические спектры твердой фазы, сформированной на основе нанопленок серебра различного строения, оптимизированной для создания иммунохимических тест-систем с детекцией по сигналу флуоресцентной метки.

### Материалы и методы

В исследовании использовались: нитрат серебра; цитрат натрия; полиэлектролиты (ПЭ): полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПДАДМАХ), поли-L-лизин гидробромид (поли-L-лизин); хлорид натрия; иммуноглобулин, меченый флуоресцеином (IgG-FITC). Эксперименты проводились в прозрачных 96-луночных полистирольных планшетах для иммуноанализа (Greiner, Австрия).

Для приготовления коллоидов серебра использовалась стандартная методика цитратного восстановления, подробно описанная ранее [3]. Наночастицы серебра электростатически осаждались на ПЭ-модифицированную поверхность лунок полистирольных планшетов и выдерживались различное время в течение суток при комнатной температуре. В результате получены серебряные подложки (AgC1, AgC2, AgC3) разной структуры вследствие различного времени осаждения:  $t(\text{AgC1}) < t(\text{AgC2}) < t(\text{AgC3})$ . Фиксация IgG-FITC на поверхности серебряной подложки происходила с помощью полиэлектролитов, растворов ПДАДМАХ или поли-L-лизина по стандартной методике [4]. Для исследования оптических свойств IgG-FITC добавлялся в количестве 100 мкл в металлизированные и неметаллизированные лунки планшета, обработанные полиэлектролитами в различных концентрациях.

Для регистрации спектров оптической плотности применялся планшетный ридер CLARIOstarPlus (BMG Labtech, Германия). Статистическая обработка результатов измерений проводилась с помощью пакета программы MS Excel. Графическое отображение данных выполнялось, используя программу OriginLab.

### Результаты и их обсуждение

Исследованы особенности спектров поглощения и интенсивности оптических откликов твердой фазы, сформированной на основе нанопленок серебра различного строения (AgC1, AgC2, AgC3), после осаждения полиэлектролитов (ПДАДМАХ-С1, ПДАДМАХ-С2, поли-L-лизин-С1, поли-L-лизин-С2) и затем IgG-FITC.

В качестве контрольной группы сравнения использовались спектры поглощения иммуноглобулина, меченого флуоресцеином, иммобилизованного на поверхности полистирола, покрытого соответствующими концентрациями полиэлектролитов: ПДАДМАХ-С1, ПДАДМАХ-С2, поли-L-лизин-С1, поли-L-лизин-С2.

На рисунке 1 представлены в абсолютных (1А) и относительных (1Б) единицах спектры поглощения серебряных нанопленок (AgC1, AgC2, AgC3), в диапазоне 300-800 нм, покрытых полиэлектролитом ПДАДМАХ-С1. Полученные спектры подобны друг другу по форме, но заметно отличаются величиной оптической плотности. В каждом из спектров поглощения проявляются две полосы: одна коротковолновая с максимумом в области 410-415 нм и вторая длинноволновая в области 550-650 нм. Относительная интенсивность длинноволновой полосы поглощения возрастает в ряду экспериментальных образцов нанопленок: AgC1 < AgC2 < AgC3. Отметим также, что максимум коротковолновой полосы поглощения пленок AgC2 и AgC3 несколько (на 1-2 нм) смещены в коротковолновую сторону относительно аналогичной полосы спектра поглощения образца AgC1.

Интенсивную коротковолновую полосу поглощения осажденных на диэлектрических поверхностях плазменных пленок серебра связывают с возбуждением локализованных в наночастицах коллективных электронных осцилляций (локализованных плазмонов), а длинноволновую полосу поглощения связывают с возбуждением таких осцилляций в разного рода агрегатах наночастиц серебра [5]. В рамках такой интерпретации спектров поглощения полученных нанопленок можно сделать логичный вывод, что для образца с большей оптической плотностью, когда на полимерной поверхности, покрытой полиэлектролитом ПДАДМАХ, осаждена серебряная пленка большей поверхностной плотности, имеется большее число агрегатов наночастиц. Таким образом, полоса спектра поглощения в области 550-650 нм может быть индикатором значимости агрегатов наночастиц серебра в формировании флуоресцентного отклика плазменной пленки при иммунохимическом взаимодействии.

Рассмотрим представленные на рисунке 2 спектры поглощения комплекса «серебряная подложка (AgC1, AgC2, AgC3) – ПДАДМАХ-С1 – IgG-FITC». Данные спектры также представлены в абсолютных (2А) и относительных (2Б) единицах.

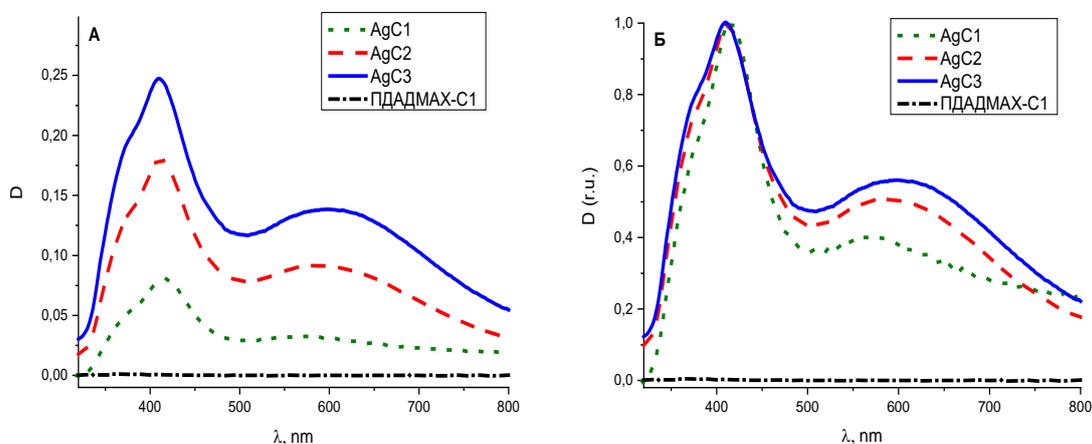


Рисунок 1 – Спектры поглощения серебряных нанопленок (AgC1, AgC2, AgC3), покрытых ПДАДМАХ-С1 (А – в абсолютных единицах, Б – в относительных единицах)

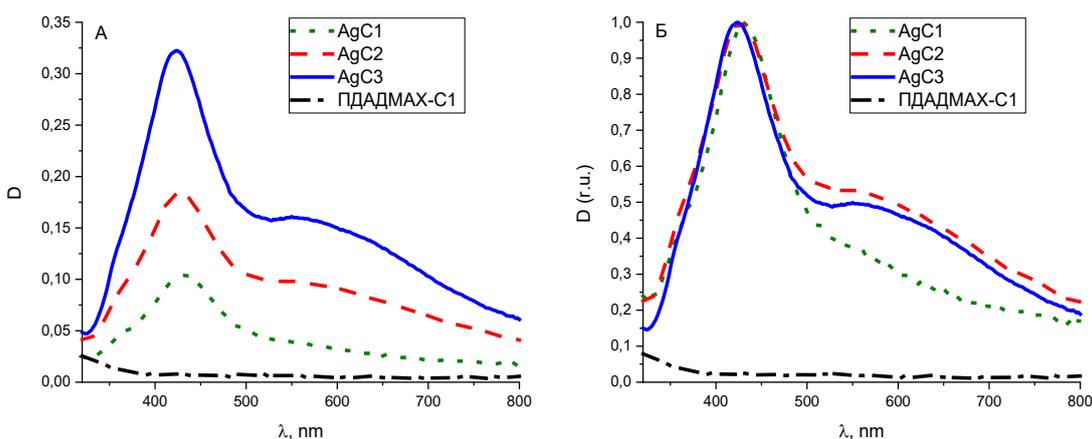


Рисунок 2 – Спектры поглощения комплекса IgG-FITC-ПДАДМАХ-С1 на серебряных нанопленках (AgC1, AgC2, AgC3) (А – в абсолютных единицах, Б – в относительных единицах)

Как видно из представленных результатов, наибольшее увеличение оптической плотности по сравнению с контролем для комплекса «наночастицы серебра-полиэлектролит-IgG-FITC» наблюдается при использовании серебряной подложки AgC3.

Сравнивая полученные спектры (рис. 1-2), заметен спектральный эффект сорбции конъюгата IgG-FITC.

Комплекс IgG-FITC имеет полосу поглощения на длине волны 498 нм, что свидетельствует об изменении спектров поглощения серебряных подложек, покрытых полиэлектролитами, в области 500 нм.

Также наблюдается длинноволновое смещение максимумов спектров поглощения для комплексов «наночастицы серебра-полиэлектролит-IgG-FITC» для всех трех серебряных подложек: AgC1 на 18 нм (432 нм), AgC2 на 16 нм (428 нм) и для AgC3 на 14 нм (424 нм) по отношению к положениям максимумов оптической плотности спектров поглощения серебряных подложек, покрытых полиэлектролитами в отсутствие сорбции IgG-FITC.

Для оценки вклада структуры серебряной нанопленки на оптические свойства твердой фазы исследованы спектры поглощения комплексов «наночастицы серебра AgC1-полиэлектролит-IgG-FITC», «наночастицы серебра AgC2-полиэлектролит-IgG-FITC», «наночастицы серебра AgC3-полиэлектролит-IgG-FITC» в зависимости от используемого полиэлектролита.

На рисунке 3 представлены спектры поглощения комплексов «наночастицы серебра (AgC1, AgC3)-полиэлектролит (ПДАДМАХ-С1, ПДАДМАХ-С2, поли-L-лизин-С1, поли-L-лизин-С2) - IgG-FITC».

При анализе полученных спектров выявлено, что при использовании поли-L-лизина для серебряных подложек AgC1, AgC3 наблюдается формирование длинноволновой полосы с максимумом в области 600 нм, в случае с ПДАДМАХ такая полоса появляется в области 570 нм.

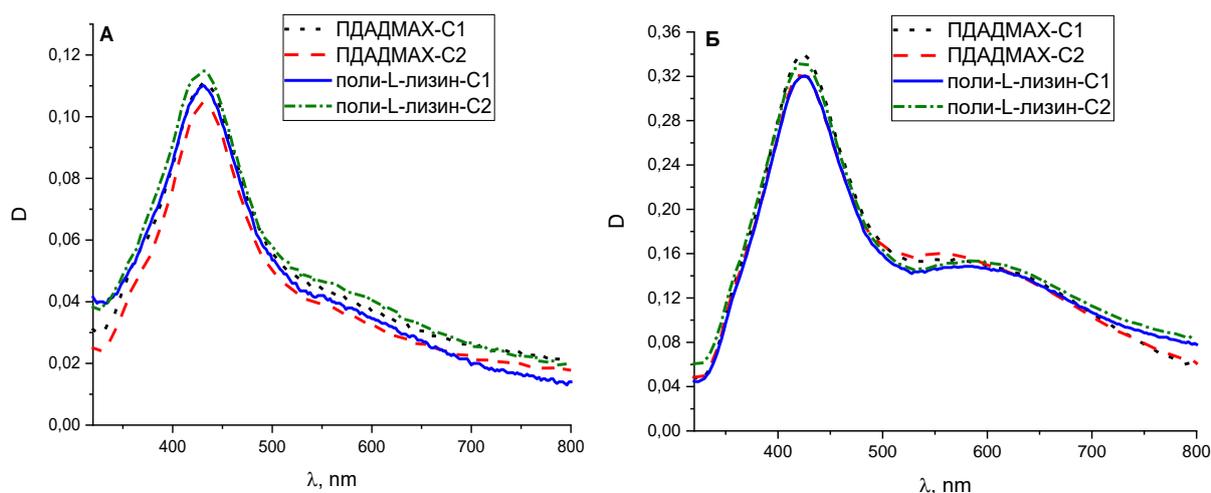


Рисунок 3 – Спектры поглощения: А – комплекс «наночастицы серебра (AgC1)-полиэлектролит - IgG-FITC»; Б – комплекс «наночастицы серебра (AgC3)-полиэлектролит - IgG-FITC»

**Вывод.** С использованием различных методов осаждения наночастиц серебра на полиэлектролиты ПДАДМАХ и поли-L-лизин созданы твердофазные плазмонные нанопленки. Проанализированы спектры оптической плотности и оценены оптические отклики сигнала флуоресценции комплексов «серебряная нанопленка – полиэлектролит – IgG-FITC». Установлено, что оптический отклик возрастает для нанопленок серебра, получаемых с помощью методики осаждения серебряных частиц в течение суток. При этом максимумы оптической плотности расположены в интервале 412 - 414 нм. При формировании на поверхности полученных пленок комплексов «наночастица серебра-полиэлектролит-IgG-FITC» для всех трех серебряных подложек регистрируется длинноволновое смещение их спектров оптической плотности плазмонного возбуждения на 14 - 18 нм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богатырев, В.А. Методы синтеза наночастиц с плазмонным резонансом: / учеб.пособие / В.А. Богатырев [и др.]. СаратовскийГУ им. Н.Г. Чернышевского: Саратов. 2009. – 35.
2. Sato K., Yoshida K., Takahashi S., Anzai J. // Adv. Drug Del. Rev. 2011. 63. P. 809.
3. Kulakovich, O. Improved method for fluorophore deposition atop a polyelectrolyte spacer for quantitative study of distance-dependent plasmon-assisted luminescence / O. Kulakovich [et al.] // Nanotechnology. – 2006. – Vol. 17, № 20. – P. 5201–5206.
4. Высококчувствительный иммунофлуоресцентный анализ простат-специфического антигена с использованием наночастиц серебра / И.В. Коктыш [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2020. – Т.87, № 5. – С. 796-803.
5. Ostrowski, D.P. The Effects of Aggregation on Electronic and Optical Properties of Oligothiophene Particles / D. P. Ostrowski [et al.] // ACS Nano. – 2012. – Vol. 6, № 6. – P. 5507–5513.

# ПОЛУЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА КОПРОПОРФИРИНОВЫХ КОНЪЮГАТОВ МОНОКЛОНАЛЬНЫХ АНТИТЕЛ

## GETTING AND CHARACTERISTICS OF COPROPORPHYRIN CONJUGATES OF MONOCLONAL ANTIBODIES

**Я. И. Мельникова, Я. В. Лайков**  
**Y. Melnikova, Y. Laikov**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им А.Д. Сахарова БГУ,  
Минск, Республика Беларусь  
laykovyan270599@gmail.com  
Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus*

Получены конъюгаты N-оксисукцинимидного эфира Pd(II)копропорфирина I с ферритинспецифичными моноклональными антителами субкласса IgG2a, в одностадийной реакции конъюгирования, с антигенсвязывающей активностью, увеличенной в 3–7 раз. Двухфазная зависимость функциональной активности конъюгатов от глубины модификации свидетельствует о наличии двух популяций модифицируемых аминогрупп. Модификация более доступных из них приводит к функциональной активации молекулы IgG. Показаны преимущества в связывании с антигеном модифицированных моноклональных антител HSF 102 по сравнению с нативными моноклональными антителами.

Conjugates of Pd (II) coproporphyrin I N-hydroxysuccinimide ester with ferritin-specific monoclonal antibodies of the IgG2a subclass were obtained in a one-step conjugation reaction, with antigen-binding activity increased by 3–7 times. The two-phase dependence of the functional activity of the conjugates on the depth of modification indicates the presence of two populations of modified amino groups. Modification of the more accessible ones leads to functional activation of the IgG molecule. Advantages in binding to an antigen of modified monoclonal antibodies HSF 102 compared to native monoclonal antibodies are shown.

*Ключевые слова:* моноклональные антитела, иммуноглобулин G, металлопорфириновые конъюгаты, люминесцентный иммуноанализ.

*Keywords:* monoclonal antibodies, immunoglobulin G, metalloporphyrin conjugates, luminescent immunoassay.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-73-76>

Одним из наиболее чувствительных методов люминесцентного иммуноанализа является метод, в котором используются ковалентно связанные с антителами или антигенами порфириновые соединения, в качестве которых используют различные типы флуоресцирующих порфиринов. Особое внимание на сегодняшний день уделяется группе копропорфиринов. Эти порфирины водорастворимы, имеют достаточно высокий квантовый выход флуоресценции (до 0,2), разнесенные по длинам волн более чем на 180 нм области возбуждения (380–420 нм) и излучения (600–640 нм) и флуоресценции, позволяют получить довольно высокую чувствительность иммуноанализа.

Существование длительной люминесценции палладий-копропорфирина со временем затухания  $1,2 \cdot 10^{-3}$  с позволяет использовать его в иммунолюминесцентном анализе с временным разрешением при чувствительности определения иммунологических компонентов до  $10^{-12}$  М.

Ранее предложенные методы получения подобных конъюгатов требовали двухстадийной реакции конъюгирования с активацией порфиринов на первой стадии и сопровождалась значительным снижением функциональной активности антител. Целью данной работы было получить металлопорфириновые конъюгаты антител с неизменной функциональной активностью в одностадийной реакции конъюгирования

С помощью метода химической модификации антител, основанного на количественном присоединении молекул N-оксисукцинимидного эфира Pd(II)-копропорфирина I к моноклональным антителам HSF 102, были получены специфические порфириновые конъюгаты с глубиной модификации равной 0,7; 1,0; 1,7; 2,4; 3,7 молекулы модификатора на молекулу белка.

Палладий-копропорфириновые конъюгаты моноклонального антитела HSF 102, с глубиной модификации 1,0 (Рис. 1) показали превышение параметров аффинности в 7 раз по сравнению с немодифицированным мАТ HSF 102.

Увеличение глубины модификации моноклональных антител палладий-копропорфирином до 1,7 также привело к активации способности полученных конъюгатов связывать антиген (Рис. 2). При этом данный параметр превысил показатели нативных моноклональных антител в 4,8 раза.

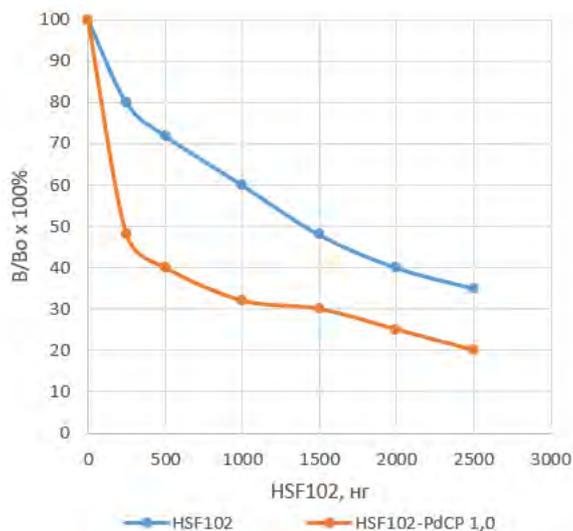


Рис. 1 – Определение параметров связывания антигена нативными и модифицированными Pd(II) копропорфирином моноклональными антителами HSF 102. Глубина модификации МАТ HSF102-PdCP – 1.0

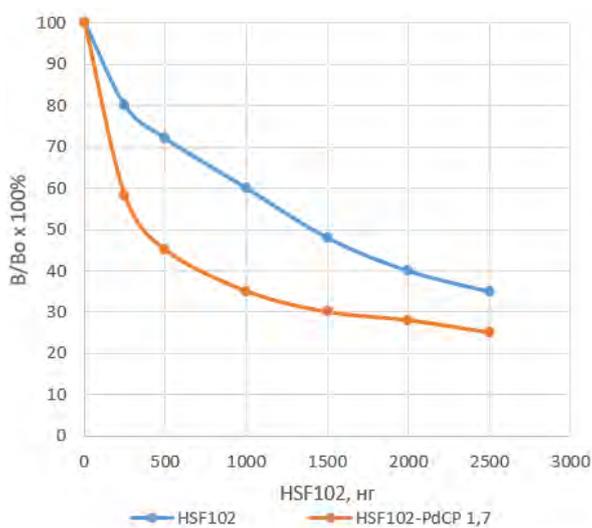


Рис. 2 – Определение параметров связывания антигена нативными и модифицированными Pd(II) копропорфирином моноклональными антителами HSF 102. Глубина модификации МАТ HSF102-PdCP – 1.7

При использовании в конкурентном анализе конъюгатов HSF102-PdCP с глубиной модификации 2,4 (Рис. 3) концентрация полумаксимального ингибирования связывания была в 5 раз ниже у конъюгата чем у нативного антитела, что свидетельствует о 5-кратном возрастании способности порфиринового конъюгата связывать антиген.

Конъюгаты МАТ HSF 102 с наибольшей глубиной модификации, равной 3,7 (Рис. 4), также показали в конкурентном анализе увеличение антигенсвязывающей способности в 4,6 раза по сравнению с нативным МАТ HSF 102.

В работе К. Смит и ее соавторов было установлено, что порфириновые конъюгаты моноклональных антител с глубиной модификации от одной до трех молекул порфирина на молекулу белка, обладают повышенной антигенсвязывающей активностью, но увеличение этого параметра было не столь значительным.

По данным Chrysovalanto Staneloudi и соавт. порфириновые конъюгаты моноклональных антител с глубиной модификации от 0,67 до 2 проявляли повышенную способность связывать антиген, повышение глубины модификации до 4–5 приводило к снижению биологической активности конъюгатов.

Данные исследования согласуются также с результатами работы Н. Малатести и соавт. в которых описывается отсутствие потери антигенсвязывающей активности порфириновых конъюгатов моноклональных антител по сравнению с нативными антителами. Антигенсвязывающую активность в данной работе измеряли методом цитофлуориметрии.

В работах С. Банфи и соавт. упоминается об не уступающих фототоксических эффектах порфириновых конъюгатов моноклональных антител по сравнению с другими фотосенсибилизаторами, использующимися в фотодинамической терапии, но при этом конъюгаты порфиринов с моноклональными антителами значительно повышали специфичность действия по сравнению с теми же современными фотосенсибилизаторами.

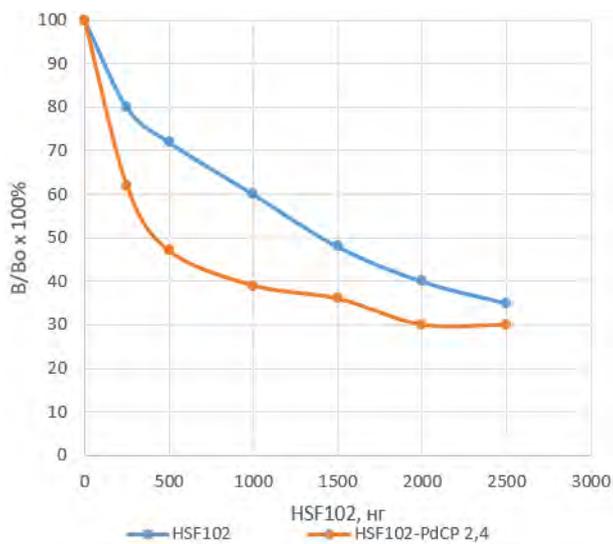


Рис. 3 – Определение параметров связывания антигена нативными и модифицированными Pd(II) копропорфирином моноклональными антителами HSF 102. Глубина модификации МАТ HSF102-PdCP – 2.4

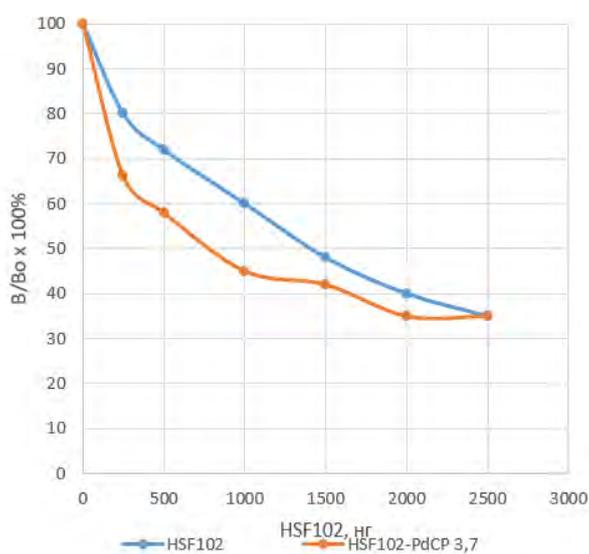


Рис. 4 – Определение параметров связывания антигена нативными и модифицированными Pd(II) копропорфирином моноклональными антителами HSF 102. Глубина модификации МАТ HSF102-PdCP – 3.7

Анализируя полученные результаты, следует отметить двухфазную зависимость активности антител от глубины модификации с максимумом эффекта активации при модификации одной аминокислотной группы моноклонального антитела HSF102.

Превышение оптимальной глубины модификации не дает обычных эффектов снижения антигенсвязывающей активности. Такая зависимость свидетельствует как о наличии более чем одного фактора, определяющего функциональные эффекты модификации молекулы иммуноглобулина, так и о возможном существовании двух популяций модифицируемых аминокислотных групп белка.

Модификация палладий-копропорфирином более доступных аминокислотных групп на поверхности белка приводит к функциональной активации всей молекулы IgG, связывание же модификатора со второй популяцией аминокислотных групп вызывает инактивирующий эффект.

Перспективы данного метода модификации моноклональных антител определяются возможностью повышения специфичности различных веществ, используемых в иммунофлуоресцентных и иммунофосфоресцентных методах иммуноанализа, а также имеют значительный потенциал в качестве фотосенсибилизатора для фотодинамической терапии при лечении злокачественных новообразований.

Фотодинамическая терапия становится все более эффективным методом лечения опухолей, но часто ограничивается побочными эффектами. Эта проблема решается путем конъюгирования фотосенсибилизатора с опухолеспецифическими моноклональными антителами, которые в свою очередь повышают специфичность самого фотосенсибилизатора и позволяет не воздействовать на окружающие опухоль ткани. Также при использовании

порфириновых конъюгатов с моноклональными антителами и радиоактивными металлами можно использовать для лечения опухолей, путем выборочного облучения необходимых малигнизированных тканей.

Таким образом с использованием твердофазного конкурентного иммунохимического анализа определены константы взаимодействия полученных палладий-порфириновых конъюгатов с антигеном и установлено, что параметры антигенного связывания всех конъюгатов превосходят параметры взаимодействия с антигеном нативных моноклональных антител HSF 102 в 4–7 раз.

Определена оптимальная глубина модификации моноклональных антител при использовании данного модификатора, которая составляет 1 молекулу модификатора на одну молекулу иммуноглобулина.

Полученные модифицированные N-оксисукцинимидным эфиром Pd(II)копропорфирина I антитела, представляют собой иммунохимические реагенты с антигенсвязывающей активностью, увеличенной в результате возрастания конформационной подвижности всей молекулы антитела.

Функциональная активация антител при их модификации наилучшим образом отвечает целям получения порфириновых конъюгатов антител с максимальной иммунореактивностью и дает значительные преимущества при биомедицинском использовании таких конъюгатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Aguilar-Ortiz E.* Porphyrins as Ligands: Background and Trends/ Aguilar-Ortiz E, Jalilian A, Avila-Rodriguez MA// Medicinal Chemistry Community. 2018. P. 1–5.
2. *Banfi S.* Photodynamic effects of porphyrin and chlorin photosensitizers in human colon adenocarcinoma cells / Banfi S, Caruso E, Caprioli S // Bioorganic and Med Chemistry. 2004.
3. *Malatesty N.* Synthesis and in vitro investigation of cationic 5,15-diphenyl porphyrin-monoclonal antibody conjugates as targeted photodynamic sensitizers / Malatesty N [et al] // International journal of Oncology. 2005. P. 1561–1568.
4. *Smith K.* Mono- and tri-cationic porphyrin-monoclonal antibody conjugates: photodynamic activity and mechanism of action / K. Smith [et al] // Immunology. 2010. P. 256–265.
5. *Staneloudi C.* Development and characterization of novel photosensitizer: scFv conjugates for use in photodynamic therapy of cancer / Staneloudi C [et al] // Immunology. 2007. 514–517 p.

## МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА P2Y12 РЕЦЕПТОРА ЧЕЛОВЕКА С МОЛЕКУЛОЙ R-138727

## MOLECULAR MODELING OF THE P2Y12 COMPLEX OF HUMAN RECEPTOR WITH R-138727 MOLECULE

***A. A. Морозова, А. В. Бакунович***

***A. A. Morozova, A. V. Bakunovich***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*a.a.morozova22@gmail.com*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

*a.a.morozova22@gmail.com*

Ведущей причиной смерти человека во всем мире является атеротромбоз различной локализации. Ключевым моментом в борьбе с данной патологией является назначение антиагрегантов. Данные лекарственные средства отличаются между собой по механизму ингибирования активности тромбоцитов. Прасугрел - антагонист класса тиенопиридинов, является сильным ингибитором активации и агрегации тромбоцитов, опосредованной тромбоцитарными АДФ-рецепторами класса P2Y12.

The leading cause of human death throughout the world is atherothrombosis of various localization. The key point in the fight against this pathology is the appointment of antiplatelet agents. These drugs differ from each other in the mechanism of inhibiting platelet activity. Prasugrel, an antagonist of the thienopyridine class, is a potent inhibitor of platelet activation and aggregation mediated by platelet ADP receptors of the P2Y12 class.

*Ключевые слова:* прасугрел, P2Y12, агрегация тромбоцитов.

*Keywords:* Prasugrel, P2Y12, platelet aggregation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-76-79>

Антиагреганты – лекарственные средства, препятствующие тромбообразованию за счет уменьшения функциональной активности тромбоцитов.

Существует около 20 препаратов, которые, действуют различными способами и подавляют агрегацию тромбоцитов. К основным антиагрегантным препаратам, показавшим свою эффективность в клинических испытаниях, а также широко применяемым в клинической практике, относят ацетилсалициловую кислоту, тиенопиридины и блокаторы гликопротеиновых П<sub>2</sub>/П<sub>3</sub> рецепторов тромбоцитов.

Производные тиенопиридина проявляют антитромбоцитарные свойства путем подавления агрегации тромбоцитов, инициируемой аденозиндифосфатом (АДФ). АДФ выходит из тромбоцитов и в процессе их активации и взаимодействует с двумя типами рецепторов на поверхности тромбоцитов: P2Y<sub>1</sub>, P2Y<sub>12</sub>. Активация P2Y<sub>1</sub>-рецепторов способствует изменениям формы тромбоцитов, активация P2Y<sub>12</sub>-рецепторов поддерживает активность гликопротеиновых рецепторов и стимулирует агрегацию тромбоцитов.

Начало действия тиенопиридинов отсроченное. Это связано с необходимостью их превращения в области печени в активные метаболиты, которые осуществляют воздействие на тромбоциты.

P2Y<sub>1</sub>-подобные рецепторы, сгруппированны вокруг предполагаемого положения отрицательно заряженной фосфатной группы агониста АДФ. P2Y<sub>12</sub>R регулирует активацию тромбоцитов и образование тромбов, а также несколько антитромботических препаратов, нацеленных на P2Y<sub>12</sub>R, включая пролекарства клопидогрел и прасугрел, которые метаболизируются и ковалентно связываются.

Действие прасугрела обусловлено необратимым связыванием его активного метаболита с тромбоцитарными АДФ-рецепторами класса P2Y<sub>12</sub>.

P2Y<sub>12</sub>R человека содержит 342 аминокислотных остатка в том числе 4 внеклеточных остатка Cys в положениях 17, 97, 175 и 270. Cys 97 и Cys 175 связаны дисульфидным мостиком и важны для рецепторной экспрессии [1]. Имеется два потенциальных N-связанных сайта гликозилирования на внеклеточном амино-конце, которые могут модулировать его активность. Большинство из семи трансмембранных спиралей P2Y<sub>12</sub>R не перпендикулярны плоскости мембраны, и могут быть наклоненными или изогнутыми. В свою очередь, VIII карбоксиконцевая спираль параллельна липидному бислою мембраны [2].

Прасугрел является пролекарством, которому необходимо ферментативное преобразование в печени в его активный метаболит R-138727. R-138727 необратимо связывается с рецепторами АДФ типа P2Y<sub>12</sub> на тромбоцитах, предотвращая активацию рецепторного комплекса GPIIb / IIIa. Абсорбция и метаболизм после приема внутрь проходят быстро, составляя 79% и более. Максимальная концентрация активного метаболита в плазме крови достигается примерно через 30 мин после приема препарата.

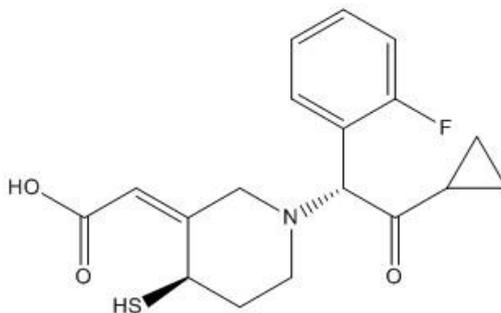


Рис. 1 – Химическая структура активного метаболита прасугрела (R-138727)

Прасугрел не определяется в плазме после приема внутрь. Он быстро гидролизует в кишечнике до тиолактона, который затем превращается в активный метаболит. Активный метаболит подвергается дальнейшей биотрансформации путем S-метилирования или конъюгации с цистеином с образованием 2 неактивных соединений. Активный метаболит прасугрела быстро появляется в крови после приема внутрь, заметный эффект проявляется через 15 мин. со средним временем для достижения 20% ингибирования агрегации тромбоцитов через 30 мин после введения. Максимальный эффект прасугрела наступает через 1 час. Стах составляет около 500 нг/мл<sup>-1</sup> после ударной дозы 60 мг. Подавление агрегации тромбоцитов достигает устойчивого состояния через 2–4 дн. Метаболит выводится в виде неактивных метаболитов приблизительно 68% дозы с мочой и 27% - с калом. Период полувыведения активного метаболита составляет около 7.4 ч (2-15 ч).

Для визуализации результатов использованы химические пакеты ChemOffice2016, Molinspiration, PrankWeb, Molegro Virtual Docker.

Для молекулярного моделирования использовали 3D структуру рецептора P2Y<sub>12</sub> (pdb 4NTJ) человека полученную методом рентгеноструктурного анализа. Из указанной структуры удаляли молекулы воды и фосфат-ионы и в расчетах учитывались только координаты атомов белковой части P2Y<sub>12</sub>R.

Для устранения недочетов модели молекулы R-138727 выполнялся расчет минимизации энергии в среде MM2 до достижения глобального минимума полной энергии. MM2 чаще всего рекомендуется для расчета свойств небольших органических моделей.

С помощью интернет ресурса Molinspiration рассчитаны: объем молекулы, площадь молекулярной полярной поверхности, модулятор ионного канала, ингибитор киназы, протеазы, ингибитор фермента.

Для предсказания сайтов связывания лиганда и его непосредственного визуального анализа использовали веб-серверную программу PrankWeb [3]. Моделирование молекулярного докинга осуществлялось с помощью пакета 1-Click Docking сервера MCULE.

Molegro Virtual Docker использовали для изучения и анализа взаимодействия R-138727 с P2Y<sub>12</sub>R путем и визуализации модели, определения активных центров и связывания с лигандом, а также оценки связей между ними.

Оптимизация молекулы R-138727 (активного метаболита прасугрела) осуществлялась в силовом поле MM2. При этом, показатели оптимизированной молекулы составили: для дальних сил ван-дер-Ваальса – -3.4972; для сил ван-дер-Ваальса разделенных двумя атомами – 16.7145. Энергия диполь/дипольных взаимодействий составила 2.7509. А общая энергия оптимизированной молекулы R-138727 составила 26.3669 kcal/mol.

С помощью программы PrankWeb было обнаружено 5 сайтов связывания в молекуле P2Y<sub>12</sub>, которые были ранжированы по активности и вероятности связывания. Самый активный сайт (из 5 обнаруженных) имеет соответственно значения 6,32 и 0,178. Данный сайт находится в пределах данных аминокислот: SER 101; VAL 102; TYR 105; PHE 106; TYR 109; LEU 155; SER 156; ASN 159; HIS 187; VAL 190; ASN 191; CYS 194; GLN 195; PHE 252; ALA 255; ARG 256; TYR 259; LYS 280; GLN 98; GLY 1064; PHE 1065; ILE 1072; LYS 1095.

Молекулярный докинг молекулы R-138727 с P2Y<sub>12</sub> рецептором представлен на рисунке 2.

Анализ полученной молекулярной модели взаимодействия R-138727 с P2Y<sub>12</sub>R показал, что молекула R-138727 способна формировать водородные связи с HIS 187 и GLN 98, а также стерические взаимодействия с LYS 280; TYR 105; SER 101; THR 76; THR 100; PHE 104; LYS 80; TYR 32; LEU 284; GLU 281; SER 83; CYS 97; ASP 84 (рисунок 3).

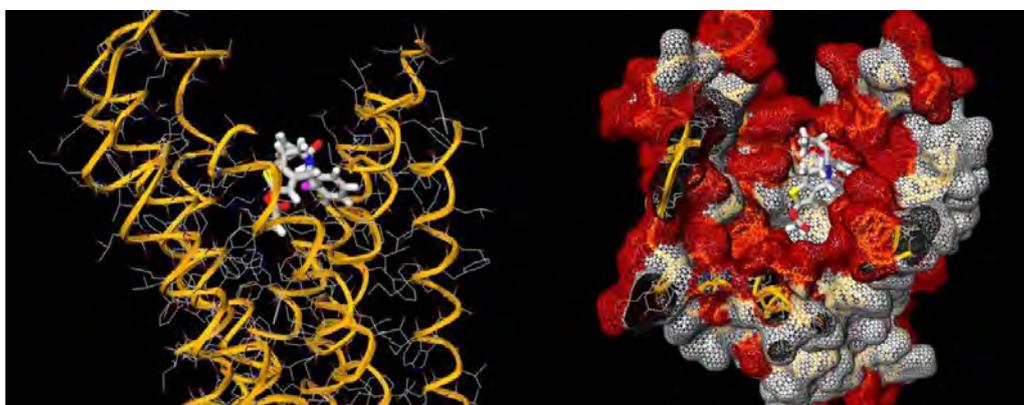


Рис. 2 – Молекулярная модель комплекса P2Y<sub>12</sub> рецептора человека с молекулой R-138727

Оценка связей между P2Y<sub>12</sub> рецептором человека и молекулой R-138727 показала, что суммарная энергия атомов равна -77,045. Энергия водородных связей и сильных электростатических взаимодействий составила -0,606. Длина – 3.47882 Å. Энергия взаимодействия рецептора с лигандом – -76,737. А общая энергия системы составила – -69.742.

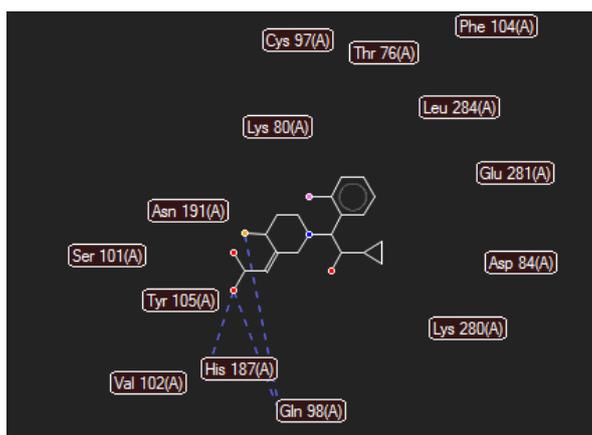


Рис. 3 – водородные и стерические взаимодействия молекулы R-138727 в активном центре P2Y<sub>12</sub>R

### Оценка биоактивности метаболита прасугрела R-138727

Лекарственное сходство определяется сложным балансом различных молекулярных свойств и особенностей структуры, которые определяют, будет ли конкретная молекула является сходной с известными лекарственными средствами. К таким свойствам относится гидрофобность, электронное распределение, характеристики водородных связей, размер и гибкость молекул и, конечно же, наличие различных фармакофорных свойств влияют на

поведение молекулы в живом организме, включая биодоступность, транспортные свойства, сродство к белкам, реактивность, токсичность, метаболическую стабильность и многие другие.

Оценка биоактивности препаратов основывается на коэффициентах ресурса Molinspiration. Так, если значение коэффициента меньше 0 – это говорит о том, что активность соединения низкая; значение от 0 до 0,2 – средняя, от 0,2 и выше – высокая.

Анализ структуры метаболита прасугрела показал, что R-138727 имеет низкую активность в качестве ингибитора киназ и модулятора ионного канала, составляющие соответственно -0.24 и -0.13. Как лиганд рецепторов, сопряжённых с G-белком, ингибитор протеаз и ингибитор ферментов молекула имеет среднее значение, составляя 0.15, 0.19, 0.10 соответственно.

Из литературных данных известно, что антиагрегантный препарат прасугрел является пролекарством и быстро метаболизируется в печени до активного метаболита – R-138727. При молекулярном моделировании метаболита с P2Y<sub>12</sub> рецептором человека была подтверждена его способность связываться в активном центре фермента. Данное исследование подтверждает, что метаболит R-138727 обладает биоактивностью в организме человека, а также возможность использования прасугрела в качестве антитромботического препарата для профилактики атеротромботических осложнений, инфаркта миокарда, инсульта и других заболеваний сердечно-сосудистой системы связанных с повышенной реактивностью тромбоцитов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Cattaneo. M. The platelet P2Y<sub>12</sub> receptor for adenosine diphosphate: congenital and drug-induced defects / M.Cattaneo // Blood. – 2011. – Vol. 117, № 7. – P. 2102–2112.
2. Zhong X. N-linked glycosylation of platelet P2Y<sub>12</sub> ADP receptor is essential for signal transduction but not for ligand binding or cell surface expression / X. Zhong [et al.] // FEBS Lett. – 2004. – Vol. 562, iss. 1-3. – P. 111-117.
3. Jendele, L. PrankWeb: a web server for ligand binding site prediction and visualization / L. Jendele [et al.] // Nucleic Acids Research. – 2019. – Vol. 47, iss. 1. – P. 345-349.

## THE COMPARISON OF INTRAEPITHELIAL LYMPHOCYTES IN SMALL AND LARGE INTESTINE OF CROHN'S DISEASE PATIENTS

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНТРАЗПИТЕЛИАЛЬНЫХ ЛИМФОЦИТОВ ТОНКОЙ И ТОЛСТОЙ КИШКИ У ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ КРОНА

**A. Mohammad<sup>1</sup>, A. Starastin<sup>2</sup>, D. Nizheharodava<sup>1,2</sup>  
А. Мохаммед<sup>1</sup>, А. Старостин<sup>2</sup>, Д. Нижегородова<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусская медицинская академия последипломного образования, г. Минск, Республика Беларусь  
alijassim419@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education, Minsk, Republic of Belarus

The changes in intraepithelial lymphocytes phenotype of the small and large intestine were established in patients with Crohn's disease what may be used as a hallmark of immune inflammation in the gut and make intraepithelial lymphocytes ideal candidate for targeting in further immunoregulation of mucosal adaptive immune response against autoantigens.

У пациентов с болезнью Крона установлены фенотипические изменения интраэпителиальных лимфоцитов тонкой и толстой кишки, что может являться биомаркером иммунного воспаления в желудочно-кишечном тракте и позволяет рассматривать интраэпителиальные лимфоциты в качестве терапевтической мишени при иммунорегуляции адаптивного мукозального иммунного ответа на аутоантигены.

**Ключевые слова:** Интраэпителиальные лимфоциты, тонкая кишка, толстая кишка, Болезнь Крона, аутоиммунное воспаление.

**Keywords:** Intraepithelial lymphocytes, small intestine, colon, Crohn's disease, autoimmune inflammation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-79-82>

**Introduction.** Intestinal intraepithelial lymphocytes (IELs) are a heterogeneous population of lymphoid cells, which localizes between the intestinal epithelial cells that form the intestinal mucosal barrier. IELs distributed in the small intestine and large intestine; the small intestine contains at least ten times more IELs than the colon. The classification of IELs

includes two main subtypes: “induced” IELs that are phenotypically similar to conventional memory effector T cells and innate-like “natural” IELs that exhibit regulatory functions. Induced IELs express either CD8 $\alpha\beta$ + or CD4+T-cell receptor ( $\alpha\beta$ +TCRs) phenotype and migrate to the periphery in response to antigenic stimulation via the upregulation of gut homing markers. Natural IELs exhibit an antigen-experienced phenotype in response to self-antigen during thymic maturation: either the  $\alpha\beta$ + or  $\gamma\delta$ +TCRs and are typically CD8 $\alpha\alpha$ +, but lack CD8 $\alpha\beta$  or CD4 co-receptors, and migrate to the intestinal epithelium. Moreover, CD8 $\alpha\alpha$ +IELs can develop extrathymically within cryptopatches or isolated lymphoid follicles in mucosa so the role of the thymus in natural IELs development remains controversial [1].

Once IELs traffic to the intestine, these cells become tissue resident and do not recirculate. The relative frequency of individual IEL subtypes differs in dependence on the intestine area. The number and proportion of IEL populations are differed between humans and influenced by housing conditions, depending on the level of antigenic stimulation in the intestine. IELs subsets are characterized with an antigen-experienced cytolytic effector phenotype, but the antigenic reactivity is regulated by their function within the intestinal epithelium under physiological or pathological (intestinal injury and inflammation) conditions [2].

The differentiation, activation and functional specialization of all IELs subsets are defined by interactions with other cell types and soluble factors as well as are influenced by ecological factors like dietary and microbial products in the gut. The dynamic interactions between environmental cues and the mucosal adaptive immune system help maintain a stable ratio and sustain barrier function. Addition to this, IELs activation status and their close localization to the intestinal epithelium suggest that these cells may be involved into immunopathological responses and initiate or exacerbate inflammatory bowel diseases (IBD) or promote cancer development and progression [3].

Two chronic inflammatory diseases of the gastrointestinal tract – Crohn’s disease and ulcerative colitis – refers to IBD and are characterized by an uncontrolled adaptive immune response against intestinal bacteria. Nearly 5 million individuals worldwide suffer from IBD, and the prevalence of disease continues to increase up to 70,000 new diagnoses each year. Current investigations indicate that the etiology of IBD is multifactorial, with environmental, microbial, genetic, and immunological components contributing to the pathophysiology of disease. An imbalance between regulatory and cytolytic effector lymphoid cells within the epithelium results in a dysregulation of mucosal immunity and the generation of a pro-inflammatory microenvironment in IBD. The epithelial cytolysis leads to ulceration, allowing bacterial invasion of the mucosae and enhanced T-cell activation, along with the reduction in regulatory cells amplifying the pro-inflammatory immune response [4].

Nowadays there are limited data for a role of IELs in IBD. It is reported the correlation of the disease severity and the increase in the number of  $\gamma\delta$ TCR+IELs in ulcerative colitis and Crohn’s disease. Recent paper defined a novel subset of human CD8 $\alpha\beta$ +  $\gamma\delta$ T-cells expressing and reported that the numbers of this IELs correlate inversely with disease severity, and are restored to levels observed in healthy controls upon treatment, suggesting their role in mucosal regeneration in IBD. But there are also studies on IELs roles in the pathological conditions. So the data about IELs in preventing or reducing susceptibility to IBD remain under investigations [2, 4].

**The aim** of the study was to estimate intraepithelial lymphocytes phenotype in small and large intestine from patients with Crohn’s disease.

**Materials and methods.** Samples of small intestine and colon mucosa were obtained from CD patient (n=5) and healthy donor (n=3) during scheduled surgeries. CD diagnosis was confirmed by histological examination of the sample. The mucosal layer separation step is presented at figure 1.



*Fig. 1 – The mucosal layer separation step from colon of healthy donor*

IELs isolation was performed according to Trapecare et al. [5]. Briefly, the specimens were cut into 1–5 mm<sup>2</sup> fragments and incubated for 1 h under intense shaking: the mucosal fragments were placed inside a 50ml tube contained in a larger tube that was taped to a rotor. The medium contained 2mM DTT and 5mM EDTA in RPMI 1640 (Gibco Life Technologies, Germany) supplemented with 10% fetal calf serum (FCS) and mixtures of antibiotics and antimycotic (Gibco Life Technologies, Germany). A single cell suspension was obtained by filtering through a 70mm sterile filter (Sarstedt, Germany), washed in phosphate-buffer saline (PBS) and layered onto the 40%-60% Percoll gradient. The

gradients were centrifuged at 1000 g for 20 min. The cell fraction between 40–60% Percoll was the most enriched for IEL and washed twice in PBS with 10% of FCS (figure 2).

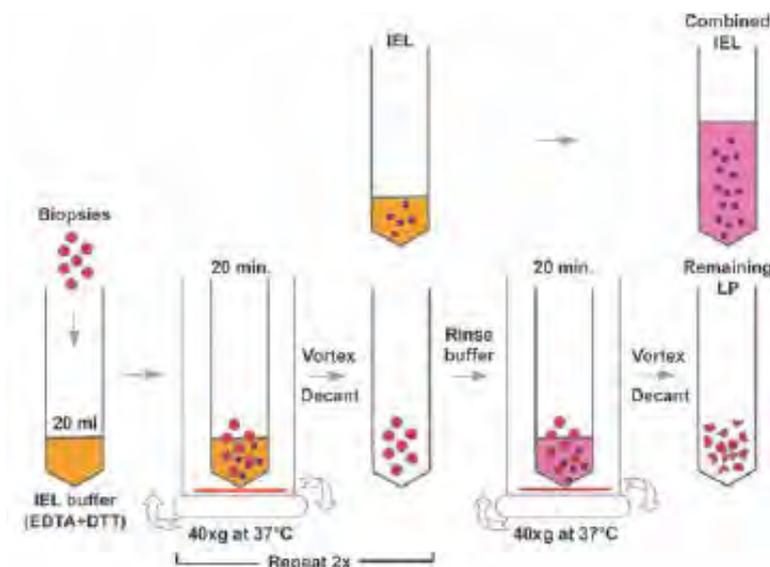


Fig. 2 – IELs isolation algorithm [5]

For immunophenotyping,  $2 \times 10^5$  IEL were stained with 10  $\mu$ l of CYTO-STAT tetra CHROME monoclonal antibodies panels (CD45-FITC/CD4-RD1/CD8-ECD/CD3-PC5 or CD45-FITC/CD56-RD1/CD19-ECD/CD3-PC5) and incubated at 20–25°C for 15 minutes in the dark. The aliveness and the phenotype were measured on 10000 IEL using flow cytometer Cytoflex (Beckman Coulter, USA). The algorithm of lymphoid cells analysis is presented at figure 3.

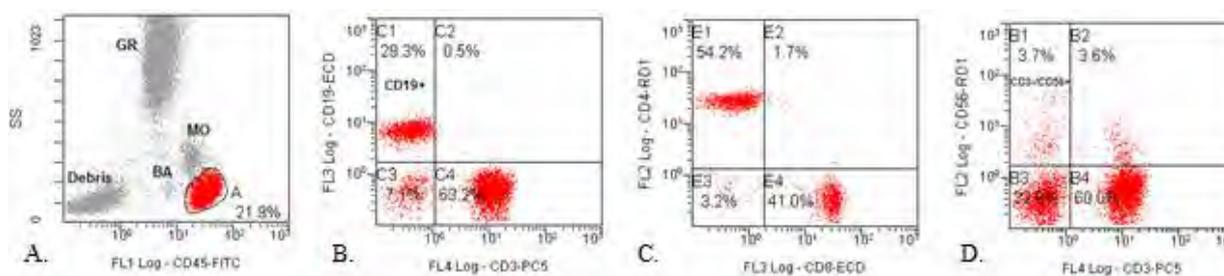


Fig. 3 – The algorithm of lymphoid cells analysis

Note: A – lymphocytes population, B – CD3<sup>+</sup>T-cells and CD19<sup>+</sup>B-cells, C – CD3<sup>+</sup>CD4<sup>+</sup>T-helpers and cytotoxic CD3<sup>+</sup>CD8<sup>+</sup>T-cells, D - CD3<sup>+</sup>T-cells and CD56<sup>+</sup>NK-cells

Statistical analysis was made using Statistica 8.0.

**Results.** After isolation, IELs quantity from CD patient colon was higher than from healthy donor as well as cells number per tissue cm<sup>2</sup>:  $8.72 \times 10^5/\text{cm}^2$  – in CD patients and  $4.3 \times 10^5/\text{cm}^2$  – in donors. The investigation of IEL viability after isolation in the both samples revealed that majority of cells was alive cells (92.1% in CD patients and 95.8% in healthy donors).

The results of IELs phenotype using four-color flow cytometry analysis are presented in the table 1.

Table 1 – Immunophenotype of IELs in Crohn’s disease patients and healthy donors

Groups	Diagnosis	Gut samples	n	CD3 <sup>+</sup> T-cells	CD4 <sup>+</sup> T-helpers	CD8 <sup>+</sup> T-cells	CD19 <sup>+</sup> B-cells	CD56 <sup>+</sup> NK-cells
Group 1	Crohn’s disease	Small intestine	5	87,3* (73,4÷90,2)	22,7 (8,4÷57,5)	62,1 (38,4÷66,2)	10,9* (6,2÷27,5)	10,1 (7,2÷12,2)
Group 2	Crohn’s disease	Colon	5	63,1* (54,3÷80,3)	47,9 (17,8÷54,6)	47,1 (36,2÷51,0)	21,1* (14,9÷26,3)	14,1 (11,8÷20,9)
Group 3	Healthy donors	Colon	3	53,2 (28,5÷69,1)	48,5 (30,7÷70,8)	60,7 (28,6÷66,3)	32,0 (22,6÷66,1)	9,9 (9,4÷26,6)

In CD patients the number of CD3<sup>+</sup>IELs in small and large intestine were increased as compared to healthy donors. Moreover, CD3<sup>+</sup>IELs were predominated in small intestine in CD patients. At the same time CD19<sup>+</sup>B-cells were decreased in all gut samples from CD patients as compared to healthy donors. While there were no differences in the percent of

CD56<sup>+</sup>NK-cells in investigated groups (table 1). These results suppose the involvement of T-cells in the pathogenesis of Crohn's disease.

The decrease of CD3<sup>+</sup>CD4<sup>+</sup>T-helper in small intestine as compared to large intestine with a tendency to increase of CD3<sup>+</sup>CD8<sup>+</sup>cytotoxic T-lymphocytes in small intestine (immunoregulatory ratio=0,4 (0,1÷2,7)) were established in CD patients. It was demonstrated the equal numbers of CD3<sup>+</sup>CD4<sup>+</sup>T-helper and CD3<sup>+</sup>CD8<sup>+</sup>cytotoxic T-lymphocytes in the colon of CD patients with CD4<sup>+</sup>/CD8<sup>+</sup> ratio=1.2 in CD patients but the increase of cytotoxic T-cells IEL compared to T-helper IEL with CD4<sup>+</sup>/CD8<sup>+</sup> ratio=0,73 (0,5÷2,4) in healthy donor what corresponded to literature data.

According to literature data Crohn's disease are also generally thought to be driven by aberrant CD4<sup>+</sup> IEL and LPL responses, in this case directed against the intestinal microbiota, aberrant differentiation and/or functions as major contributing factors to immunopathology at mucosal sites. Probably, the established decrease of CD3<sup>+</sup>CD4<sup>+</sup>T-helper in small intestine may be explained by apoptotic cell death as result of hyper stimulation and activation. Perhaps the most significant detrimental effect of CD4<sup>+</sup> induced IELs is their ability, in conjunction with CD4<sup>+</sup> T cells in the *lamina propria*, to promote the development of small intestinal inflammation in patients with IBD. Although both Crohn's disease and ulcerative colitis share some important end-stage pathways of tissue damage, they represent immunologically different diseases with distinct effector CD4<sup>+</sup> T cell types involved. Crohn's disease is considered to be a classical TH1-cell-mediated inflammatory disorder that is characterized by elevated levels of IFN $\gamma$  and IL-12. However, the more recent findings that inflamed colons from both mouse models and patients with Crohn's disease show considerable TH17 cell infiltrates, suggests a more complex disorder. In addition, IL-23, which promotes TH17 cell responses, seems to be a major player in IBD pathogenesis and genome-wide association studies in humans defined IL-23R as one of the major IBD susceptibility genes. Recent studies have also pointed to roles for thymic stromal lymphopoietin (TSLP) and the IL-17 family member IL-25 in the induction of CD4<sup>+</sup> T cell-driven intestinal inflammation. Further studies are also needed to distinguish the exact contribution made by IELs in the inflamed intestine from that made by infiltrating systemic and lamina propria T cells.

In humans, CD8<sup>+</sup>IELs closely resemble systemic effector memory cells and exhibit cytolytic activity. It is thought that the intestinal microenvironment conditions CD8<sup>+</sup>IELs to respond to non-classical major histocompatibility complex (MHC) class I molecules through the activation of natural killer receptors (NKR). These MHC class I ligands are upregulated in response to epithelial stress, infection or inflammation. Instead, it is thought the activation of antigen-specific conventional CD8 $\alpha\beta$ <sup>+</sup>TCR $\alpha\beta$ <sup>+</sup> IELs or recognition of epithelial stress ligands by these cells induces epithelial cytolysis. Animal studies suggest that autoreactivity is primarily a characteristic associated with the naturally occurring TCR $\alpha\beta$ <sup>+</sup>CD8 $\alpha\alpha$ <sup>+</sup> IEL subset. This IEL subset was shown to be selected by self-antigens restricted by non-classical and classical MHC class I and II molecules during thymic development. The current line of thought is self-reactive T cells that failed to undergo negative selection are destined to preferentially migrate and expand in the intestine, where they acquire CD8 $\alpha\alpha$  and granzyme. In addition to having an autoreactive TCR, these naturally occurring innate-like lymphocytes express activating NK receptors, that enable them to recognize self-antigens induced under conditions of stress and inflammation. This latter autoreactivity is destined to recognize modifications of self that signal the presence of pathogens and transformed cells.

**Conclusion.** In CD patients T-lymphocytes are involved in intestinal inflammation and play the major role in disease immunopathogenesis. Moreover, the disturbance of T-helper and cytotoxic cells balance was established in CD patients colon characterizing with increased number of CD4<sup>+</sup>IELs and decreased number of CD8<sup>+</sup>IELs what reflect the aberrant effector T-cell function.

## REFERENCES

1. *Sumida, H.* Dynamics and clinical significance of intestinal intraepithelial lymphocytes / H. Sumida // Immunological Medicine. 2019. Vol. 42, №3. P. 117-123.
2. *Van Kaer, L.* Developments, homeostasis and functions of intestinal intraepithelial lymphocytes / L. Van Kaer [et al.] // J Immunol. 2018. Vol. 200. P. 2235-2244.
3. *Cheroute, H.* The light and dark sides of intestinal intraepithelial lymphocytes / H. Cheroute [et al.] // Nat Rev Immunol. 2011. Vol. 11, №7. P. 445-456.
4. *Hu, M.D.* Sentinels at the frontline: the role of intraepithelial lymphocytes in inflammatory bowel disease / M.D. Hu [et al.] // Curr Pharmacol Rep. 2017. Vol. 23, №1. P. 321-334.
5. *Trapezare, M.* An Optimized and validated method for isolation and characterization of lymphocytes from HIV+ human gut biopsies / M. Trapezare [et al.] // AIDS Research and human retroviruses. 2017. Vol. 33, № S1. P. 31-39.

# СОДЕРЖАНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В КРОВИ И ВОЛОСАХ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ИХ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ У ПАЦИЕНТОВ С ИШЕМИЧЕСКИМ ИНСУЛЬТОМ

## CONTENT OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN BLOOD AND HAIR WITH DETERMINATION OF THEIR DIAGNOSTIC SIGNIFICANCE IN PATIENTS WITH ISCHEMIC STROKE

*И. Д. Пашковская<sup>1</sup>, Н. И. Нечипуренко<sup>1</sup>, А. П. Зажогин<sup>2</sup>, Т. А. Прокопенко<sup>1</sup>*  
*I. D. Pashkouskaya<sup>1</sup>, N. I. Nechipurenko<sup>1</sup>, A. P. Zajogin<sup>2</sup>, T. A. Prokopenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Государственное учреждение  
«Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии»

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет

г. Минск, Республика Беларусь,

*irenapass@mail.ru*

<sup>1</sup>Republican Research and Clinical Center of Neurology and Neurosurgery,

<sup>2</sup>Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Исследование макро-, микроэлементов в крови и волосах выполнено у 91 пациента с ишемическим инсультом и у 24 практически здоровых лиц, результаты которых приняты за норму. Установлено, что при ишемическом инсульте в цельной крови пациентов снижены концентрации магния, железа, меди, лития и алюминия, в волосах выявлено уменьшение уровней кальция, магния, железа, меди и цинка по сравнению со здоровыми лицами. Показано, что кальций, магний, цинк и железо в волосах обладают высокими диагностическими чувствительностью, специфичностью и эффективностью (более 60%) при ишемическом инсульте и они могут использоваться в качестве дополнительных информативных химических маркеров данной патологии.

The study of macro-and microelements in the blood and hair was carried out in 91 patients with ischemic stroke and 24 practically healthy persons, the results of which were taken as normal. It was found that in the blood of patients with ischemic stroke, the concentrations of magnesium, iron, copper, lithium, and aluminum are reduced, and a decrease in the levels of calcium, magnesium, iron, copper, and zinc in the hair was revealed. It has been shown that calcium, magnesium, zinc, and iron in hair have high diagnostic sensitivity, specificity, and efficiency (more than 60%) in ischemic stroke and they can be used as additional informative chemical markers of this pathology.

*Ключевые слова:* химические элементы, кровь, волосы, ишемический инсульт, диагностическая значимость.

*Keywords:* chemical elements, blood, hair, ischemic stroke, diagnostic significance.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-83-86>

### Введение

Микроэлементы участвуют в формировании каталитических центров и стабилизации регуляторных сайтов в составе более чем 1000 различных ферментов нервной и глиальной тканей, что обеспечивает поддержание разнообразных энергетических процессов. Они задействованы в работе большинства медиаторных систем головного мозга: серотонинергической, ГАМК- и дофаминергической, ацетилхолинергической. Нарушенный минеральный обмен играет существенную роль как в патогенезе нервных болезней, так и в изменении фармакокинетического ответа на воздействие вазоактивных препаратов, ноотропов, нейропротекторов и других лекарственных средств, что необходимо учитывать при назначении лечения больным с острыми и хроническими нарушениями церебрального кровообращения [1]. Изменения в минеральном обмене оказывают влияние на течение и скорость многих биохимических реакций и, прежде всего, на биосинтез и функциональную активность антиоксидантных ферментов, нуклеиновых кислот, белков, характер реакций перекисного окисления липидов мембран клеток нервной ткани и эндотелия. Нарушенный обмен эссенциальных химических элементов в организме может способствовать усугублению энергетического и трофического дефицита, падению пластического потенциала клеток, изменять регуляцию сосудистого тонуса, процессы внутриклеточной передачи сигнала, что в свою очередь, влияет на течение и исход ишемических повреждений мозга [2].

### Цель

Изучить концентрацию макро- и микроэлементов в крови и волосах у пациентов с острой ишемией головного мозга с определением их диагностической значимости.

## Материал и методы исследования

У 91 пациента с острой ишемией головного мозга, средний возраст которых составил  $68,2 \pm 11,6$  года, госпитализированных в неврологическое отделение УЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи» г. Минска, взята венозная кровь, а у 49 пациентов – образцы волос для исследования концентраций кальция, магния, железа, меди, цинка, алюминия и лития. Патогенетический вариант ишемического инсульта (ИИ) устанавливали согласно международным критериям TOAST. Верификацию диагноза проводили с помощью компьютерной (КТ) томографии головного мозга. По отдельным этиопатогенетическим подтипам ИИ пациенты разделились следующим образом: у 46 человек диагностирован гемодинамический вариант ИИ, 15 – кардиоэмболический, 16 – атеротромботический и 14 пациентов – лакунарный инфаркт мозга. Критериями исключения служили указания на наличие инсульта в анамнезе, интоксикаций различного генеза, сопутствующей патологии в виде острого инфаркта миокарда и пневмонии, тяжелой печеночной и почечной недостаточности.

Для сравнения использовали концентрации микроэлементов в крови и волосах 24 практически здоровых добровольцев, не связанных с профессиональной деятельностью, способной оказывать влияние на элементный состав в организме, в возрасте  $62,1 \pm 12,7$  лет ( $p > 0,05$  относительно возраста пациентов).

Пробы цельной крови брали из кубитальной вены в пробирки с гепарином. Образцы волос срезали с затылочной части головы, где их рост наиболее интенсивен. Волосы максимальной длины срезали от корней. Навеска волос для анализа составляла 150–200 мг и помещалась в маркированные бумажные пакеты.

Количественное содержание макро- и микроэлементов в волосах и цельной крови определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии на установке ЭМАС-200М. Регистрацию спектров проводили в двух спектральных диапазонах в зависимости от определяемых элементов: 302–336 и 458–492 нм. Для проведения анализов использовали угольные электроды диаметром 6 мм марки ОСЧ-7-3 со сферическим углублением на торце. Анализируемые растворы минерализованных волос в количестве 25 мкл наносили в углубление электрода и высушивали до сухого состояния под излучением ИК-лампы в течение 30–40 мин. Подготовленные пробы сжигали в дуге переменного тока [3].

Статистическую обработку полученных результатов в исследуемых группах проводили на основе пакета STATISTICA 10. При сравнении данных двух независимых групп использовали критерий Манна-Уитни. Статистически значимыми принимали различия при  $p < 0,05$ . Для установления диагностической значимости биохимических показателей определяли их диагностическую чувствительность (ДЧ), специфичность (ДС) и эффективность (ДЭ), используя четырехпольные таблицы.

## Результаты исследования и их обсуждение

В таблице 1 представлены сравнительный анализ концентраций макро- и микроэлементов в крови у здоровых лиц (норма) и пациентов с ИИ на 1-е – 3-и сутки от начала заболевания.

Таблица 1 – Содержание макро- и микроэлементов в крови у здоровых лиц и пациентов с ИИ

Химический элемент, ммоль/л	Здоровые лица, n=23	Пациенты с ИИ, n=91	Статистическая значимость различий
кальций	7,4 (5,6–14,9)	5,4 (2,7–11,5)	U=773, p=0,053
магний	3,9 (1,8–27,2)	3,1 (0,6–7,4)	U=732, p=0,027
железо	5,2 (4,1–8,1)	3,2 (2,2–5,4)	U=618, p=0,003
медь	0,2 (0,02–0,6)	0,03 (0,01–0,1)	U=669,5, p=0,008
цинк	0,4 (0,02–12,5)	0,1 (0,02–0,91)	U=926, p=0,397
алюминий	1,0 (0,7–1,6)	0,4 (0,07–1,0)	U=499, p=0,0001
литий	0,8 (0,02–3,2)	0,001 (0,0002–0,01)	U=184, p=0,0002

В цельной крови пациентов установлено статистически значимое снижение концентраций практически всех изученных эссенциальных химических элементов: магния ( $p=0,027$ ), железа ( $p=0,003$ ), меди ( $p=0,008$ ), лития ( $p=0,0002$ ) и условно-токсичного алюминия ( $p=0,0001$ ) по сравнению со здоровыми лицами. Уменьшение содержания магния может свидетельствовать о нарушении проницаемости клеточных мембран, приводящее к снижению синтеза и деградации многочисленных нейромедиаторов, к сдвигам в трансмембранном транспорте ионов и снижению энергетического потенциала клеток, усугубляемых активацией реакций перекисного окисления липидов [1]. Снижение концентрации железа и меди являются факторами, повреждающими антиокислительную систему и увеличивающими агрессивное действие окислителей на ткани нервной системы. Недостаток лития способен усиливать глутаматную эксайтотоксичность, приводящую к ускорению развития ишемического и дегенеративного процессов в нервной ткани в дальнейшем.

В таблице 2 проанализированы концентрации химических элементов в волосах пациентов с ИИ в сравнении с данными здоровых добровольцев.

В волосах пациентов установлено статистически значимое снижение концентраций кальция ( $p=0,031$ ), магния ( $p=0,00002$ ), железа ( $p=0,00002$ ), меди ( $p=0,048$ ) и цинка ( $p=0,003$ ) по сравнению со здоровыми лицами, что свидетельствует о формировании недостаточности этих микроэлементов в организме в целом, которая способствует нарушению протекания многих биохимических и физиологических реакций при ишемическом

повреждении головного мозга. Установлено статистически значимое однонаправленное снижение суммарного уровня магния и меди в волосах и крови, что свидетельствует о развитии дефицита этих эссенциальных элементов в организме. Показано достоверное уменьшение содержания кальция и железа в волосах при сохранении их концентраций на субнормальных или сниженных уровнях в крови, свидетельствующие о напряженности обмена данных элементов в организме и их усиленном использовании в отдельных звеньях патогенетической структуры ИИ. Оценка содержания лития в волосах не информативна, в цельной крови выявлено его достоверное снижение у пациентов с ИИ.

Таблица 2 – Содержание макро- и микроэлементов в волосах у здоровых лиц и пациентов с ИИ

Химический элемент, мкг/100 г	Здоровые лица, n=17	Пациенты с ИИ, n=49	Статистическая значимость различий
кальций	82 767 (14 942–122 448)	21 726 (13 003–36 003)	U=137,5, p=0,031
магний	18 329 (7016–33169)	1 250 (53–2 400)	U=10, p=0,000002
железо	2483 (1741–11223)	435 (339–693)	U=10, p=0,000002
медь	15,60 (14,30–493)	13,80 (4,30–30,90)	U=146,5, p=0,048
цинк	3 656 (2 567–5 334)	154 (79–2176)	U=96, p=0,003
алюминий	733 (463–895)	1 100 (58–3050)	U=197, p=0,337

Изучение содержания микроэлементов в волосах и крови показало, что уровни цинка и меди и их соотношения уменьшаются в популяции у лиц, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями (ишемическая болезнь сердца, артериальная гипертензия) [4]. В ряде работ выявлена корреляционная зависимость между проявлениями атеросклеротической патологии и пониженным содержанием цинка в волосах у пациентов с хронической ишемией мозга, что позволяет отнести выраженный дефицит цинка в крови и волосах к раннему диагностическому критерию атеросклеротических процессов в организме и соответственно маркеру развития острого нарушения мозгового кровообращения [5].

Мы предположили, что некоторые химические элементы, исследуемые в крови и волосах у пациентов с ИИ могут служить биомаркерами при этом патологическом состоянии. Чтобы это выяснить, определяли критерии диагностической значимости ряда макро- и микроэлементов у пациентов с ИИ на момент их поступления в стационар.

Результат определения критериев диагностической значимости изученных макро- и микроэлементов в крови при ИИ представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Критерии диагностической значимости макро- и микроэлементов в крови и волосах у пациентов с ИИ

Химический элемент	ДЧ, %		ДС, %		ДЭ, %	
	кровь	волосы	кровь	волосы	кровь	волосы
кальций	82,6	90,2	24,4	62,5	59,6	86,4
магний	82,8	90,7	24,0	100	57,0	91,5
железо	86,6	90,7	33,3	100	68,4	91,5
медь	86,0	83,9	37,9	17,8	74,6	52,5
цинк	47,9	90,0	53,9	55,6	41,6	84,7
алюминий	88,6	57,9	40,0	58,1	73,7	37,4
литий	98,2	–	23,0	–	64,1	–

Установлено, что макроэлементы – кальций и магний в крови обладают высокой ДЧ (82,6% и 82,8% соответственно), но низкой ДС и ДЭ (менее 60%); микроэлементы – железо, медь, алюминий и литий в крови имеют высокие ДЧ (86,6, 86,0, 88,6 и 98,2% соответственно) и ДЭ (68,4, 74,6, 73,7 и 64,1% соответственно) при незначительной ДС, что указывает на высокую вероятность уменьшения их концентраций при развитии ИИ (таблица 3). Однако низкая ДС не позволяет с большой долей вероятности исключить ИИ. Следовательно, микроэлементы – железо, медь, алюминий и литий в крови являются информативными чувствительными, но недостаточно специфичными факторами развития ИИ.

Показано, что кальций, магний и железо в волосах обладают высокими ДЧ, ДС и ДЭ (более 60%) и их концентрация была значимо ниже при ИИ, чем у здоровых добровольцев. Микроэлемент цинк в волосах имеет высокие ДЧ и ДЭ. Следовательно, такие показатели, как содержание кальция, магния, железа и цинка в волосах могут использоваться в качестве дополнительных высоко информативных химических маркеров ИИ.

### Заключение

Таким образом, у пациентов с ИИ установлено статистически значимое снижение в цельной крови концентраций магния на 21%, железа – на 39%, меди – на 85%, алюминия – на 60% и лития – на 99,9%. В то же время

в волосах данных пациентов обнаружено уменьшение концентраций кальция на 74%, магния – на 93%, железа – на 82,5%, меди – на 12%, цинка на 96% по сравнению с показателями здоровых людей. Получены объективные подтверждения возможности использования в качестве биомаркеров развития ИИ снижение концентраций кальция, магния, железа и цинка в волосах. Дополнительно можно использовать при диагностике острых нарушений мозгового кровообращения результаты содержания в крови железа, меди, алюминия и лития, обладающих высокими показателями ДЧ и ДЭ. Полученные данные позволяют более точно установить степень выраженности микроэлементных нарушений у пациентов с ишемическим инсультом и обосновывают целесообразность назначения дополнительных лекарственных препаратов для коррекции минерального обмена при данной патологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Громова, О. А. Нейротрофическая система мозга: нейропептиды, макро- и микроэлементы, нейротрофические препараты / О.А. Громова // Международный неврологический журнал. 2007;2:94–104.
2. Содержание микроэлементов, состояние антиоксидантной системы в крови и показатели микрогемодинамики при экспериментальной ишемии головного мозга и ишемическом инсульте у больных / Н.И. Нечипуренко, И.Д. Пашковская, Л.А. Василевская, Г.Т. Маслова, Т.В. Грибоедова // Закономерности развития патологических состояний и их коррекция : материалы международной конференции, 27–28 октября 2009 г. / В.С.Улащик и В.А.Кульчицкий (ред.). – Минск, 2009. – С. 167–171.
3. Количественный экспресс-анализ некоторых биоэлементов / А.П. Зажогин [и др.] // Вестник БГУ. Серия 1. 2001;2:3–7.
4. Studies of five microelement contents in human serum, hair, and fingernails correlated with aged hypertension and coronary heart disease / Tang YR [et al.] // Biological Trace Elements Research. 2003;92(2):97–104.
5. Бережная, С. В. Изменения содержания химических элементов в волосах больных хронической ишемией головного мозга / С.В. Бережная, Э.З. Якупов, Ю.А. Захаров // Земский врач. 2013;2:29–33.

### ДИСБАЛАНС МИКРОЭЛЕМЕНТОВ СЕЛЕНА И ЙОДА ПРИ ПЕРВИЧНЫХ ПРИЗНАКАХ АУТОИММУННОГО ТИРОИДИТА У ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА ИЗ ВИТЕБСКОЙ И МИНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

#### IODINE AND SELENIUM STATUS IN SCHOOL-AGE CHILDREN FROM VITEBSK AND MINSK REGIONS HAVING SONOGRAPHIC EVIDENCE OF AUTOIMMUNE THYROIDITIS

**С. В. Петренко<sup>1</sup>, А. Н. Батян<sup>1</sup>, Б. Ю. Леушев<sup>1</sup>,  
Ю. В. Жильцова<sup>1</sup>, Т. С. Опанасенко<sup>1</sup>, М. С. Петренко<sup>2</sup>**

**S. Petrenko<sup>1</sup>, A. Batyan<sup>1</sup>, B. Leushev<sup>1</sup>, Ju. Zhiltsova<sup>1</sup>, T. Opanasenko<sup>1</sup>, M. Petrenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>УО «Гимназия № 3», г. Минск, Республика Беларусь  
petrenko51@yahoo.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Gymnasium #3, Minsk, Republic of Belarus

У детей с сонографическими признаками АИТ из Витебской и Минской областей установлено сниженное содержание как йода, так и селена в организме, в отличие от здоровых детей. У здоровых детей содержание йода в организме составило 193,7 – 203,5 мкг/л, а у детей с АИТ – 98,7 – 101,3 мкг/л. Содержание селена в волосах составило у здоровых детей 0,38 – 0,58 мкг/кг, а у детей с АИТ – 0,14–0,18 мкг/кг. У здоровых детей содержание селена, так же, как и йода находится в нормативных пределах. У детей с сонографическими признаками АИТ, установлен выраженный йодно-селеновый дефицит, который может быть одной из причин снижения уровня антиоксидантной защиты организма и одним из ведущих факторов ответственных за формирование АИТ в различных регионах Беларуси.

Children with sonographic evidence of autoimmune thyroiditis living in Vitebsk and Minsk regions demonstrate decreased concentration of iodine and selenium in the body as compared to healthy children. Iodine concentration in healthy children is 193.7 – 203.5 µg/L, and in children having AIT – 98.7 -101.3 µg/L. Selenium concentration in the hair of healthy children is 0.38 – 0.58 µg/kg, and in children having AIT – 0.14 – 0.18 µg/kg. Healthy children demonstrate normal range of selenium and iodine concentration. Children with sonographic evidence of AIT demonstrate prominent iodine-selenium deficiency which is likely decrease the level of antioxidant protection of the body and could result in AIT development in children from different regions of Belarus.

*Ключевые слова:* йодная и селеновая обеспеченность, дети школьного возраста, зоб, аутоиммунный тиреоидит.

*Keywords:* iodine and selenium status, school age children, goiter, autoimmune thyroiditis.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-86-90>

Природный дисбаланс микроэлементов йода и селена в почве и, соответственно, в продуктах питания, выращенных на этих почвах, является наряду с инфекционными заболеваниями и наследственностью одной из основных причин развития аутоиммунного тиреоидита (АИТ) у населения. В последние десятилетия антропогенные загрязнения также вносят существенный вклад в рост показателей заболеваемости АИТ.

Внедрение активных противозобных мероприятий в Республике Беларусь при поддержке ЮНИСЕФ, основанных на регулярном использовании йодированной соли в промышленном производстве продуктов питания и хлебопечении, а также в питании организованных коллективов, привели к ликвидации йодного дефицита у детского населения в 2010-2011 гг., однако исследования другой группы риска – беременных женщин – выявило наличие у них йодного дефицита [1]. Как показано нами в предыдущих исследованиях [2], за последние десятилетия показатели первичной заболеваемости простого зоба у детей в республике достоверно снизились с 239,32 (на 100.000 детского населения) в 2007-2012 гг. до 190,6 в 2013-2018 гг. Однако, в противоположность этому в ряде регионов Республики Беларусь выявляется рост показателей заболеваемости аутоиммунной патологией щитовидной железы [2] и проблема роста аутоиммунной патологией щитовидной железы представляет важную медицинскую проблему.

Результаты научных исследований, полученные к настоящему времени, свидетельствуют, что нарушение баланса в организме таких важных для работы щитовидной железы микроэлементов, как йод, селен и в меньшей степени – магний и медь, является отрицательным экологическим фактором, влияющим на формирование патологии щитовидной железы. Рост показателей первичной заболеваемости АИТ в Республике Беларусь при достаточном йодном обеспечении детского населения свидетельствует о наличии отрицательных экологических факторов, кроме йодного дефицита, таких как дисбаланс микроэлементов селена и возможно других, таких как медь, кадмий и свинец. В данных литературы имеется информация о важности микроэлемента селена для развития аутоиммунной патологией щитовидной железы. Селен, в составе металлопротеинов входит в активный центр ферментов дейодиназ, которые участвуют в синтезе активного трийодтиронина (Т3) из неактивного тироксина (Т4) в крови, а также активируют превращение Т4 в неактивную форму – реверсивный Т3. Кроме того, селен регулирует активный центр глутатионпероксидазы фермента, который инактивирует свободные радикалы, образующиеся при синтезе тиреоидных гормонов и таким образом защищает щитовидную железу и организм в целом от оксидативного стресса, который считается ответственным за пусковые этапы развития АИТ [3]. При дефиците селена формируется недостаток дейодиназ, снижается образование Т3, приводящее к стимуляции гипоталамо-гипофизарной системы и увеличению синтеза тиреотропного гормона, который в свою очередь стимулирует образование перекиси водорода в железе, что вызывает развитие фиброза. В популяционном исследовании, проведенном Wu Q., 2015, показано, что в регионе с отсутствием недостатка селена в почвах и продуктах питания статистически реже встречается субклинический гипотиреоз, манифестный гипотиреоз и аутоиммунный тиреоидит. Суммарно распространенность этих заболеваний была почти в 2 раза меньше в регионе с достаточным обеспечением селеном по сравнению с селенодефицитным регионом [4].

Дефицит микроэлемент селена был установлен у детей Беларуси в ряде исследований [5], в то время как дети с сонографическими признаками аутоиммунного тиреоидита и больные с диагнозом АИТ не обследовались.

Задачей настоящего исследования было изучение микроэлементного статуса в регионах Беларуси, в которых не выявлено роста показателей заболеваемости АИТ на областном уровне – в районных населенных пунктах Минской и Витебской областей.

### **Материалы и методы исследования**

Проведены статистические расчеты динамики показателей первичной заболеваемости по АИТ в областях Республики Беларусь с 2007 по 2018 гг., с использованием показателя «f» Стьюдента.

В исследование было включено 102 здоровых ребенка и 50 детей с АИТ в возрасте 9-12 лет, проживающих в населенных пунктах Минской и Витебской областей.

Изучение йодной обеспеченности организма детей проводилось по определению экскреции йода с мочой церий-арсенитным спектрофотометрическим методом. Нормативные значения экскреции йода с мочой равны 150-300 мкг/кг. Содержание микроэлемента селена определяли в образцах волос методом рентгено-флуоресцентного анализа, с использованием спектрометра «Elva X». Нормативные значения для содержания селена в волосах равны 0,3-1,2 мкг/кг. Статистический анализ полученных результатов по микроэлементному обеспечению проводили методом непараметрической статистики.

### **Полученные результаты**

Для выяснения степени достоверности происходящих изменений показателей заболеваемости АИТ за 2007-2018 гг. данные были взяты из публикации материалов официальной статистики Минздрава РБ (Сравнительная характеристика деятельности эндокринологической службы Республики Беларусь 2007-2018 гг.). Для вычисления достоверности динамики указанные показатели по времени были разделены на две группы 2007-2012 гг.

и 2013-2018 гг. При сравнение этих двух групп установлен достоверный рост показателей первичной заболеваемости АИТ у детей (на 100 тыс.) в Брестской области с 50,97 до 75,46 ( $P=0,01$ ) и Гродненской области с 36,47 до 62,00 ( $P=0,025$ ), при отсутствие достоверных изменений изученного параметра в республике в целом (Таблица 1). Установлено, что рост показателей заболеваемости АИТ в Брестской ( $P=0,06$ ) и Гродненской ( $P=0,05$ ) областях достоверно выше среднереспубликанского показателя. В тоже время, в Гомельской области ( $P=0,0003$ ) и г. Минске ( $P=0,0019$ ) отмечено достоверное снижение показателей первичной заболеваемости АИТ у детей.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика показателей заболеваемости аутоиммунным тиреоидитом (АИТ, на 100 тыс. чел.) и уровни йодного обеспечения у детского населения в областях Беларуси в периоды 2007-2012 и в 2013-2018 гг.

№	Область	М±m, 2007–2012 гг.	М±m, 2013–2018 гг.	Уровень достоверности
1.	Гомельская	74,10±5,00	44,03±2,10	$P=0,0003^*$ ; ↓
2.	Могилевская	44,57±5,36	38,53±4,42	$P=0,407$ ;
3.	Брестская	50,97±6,81	75,46±3,26	$P=0,010^*$ ; ↑
4.	Гродненская	36,47±5,99	62,00±7,39	$P=0,025^*$ ; ↑
5.	Витебская	42,60±2,76	31,44±5,58	$P=0,105$ ;
6.	Минская	32,03±1,19	37,8±2,67	$P=0,079$ ;
7.	г. Минск	60,09±6,38	31,71±6,43	$P=0,0019^*$ ; ↓
8.	Беларусь	47,6±2,03	45,26±0,62	$P=0,717$ ;

Таким образом, установлен достоверный рост показателей заболеваемости АИТ за десятилетний период в населенных пунктах Брестской и Гродненской областей, а в Гомельской области и г. Минске - достоверное снижение значения этого показателя, в целом по республике его изменений - не установлено.

Как видно из Таблицы 1, в Минской и Витебской областях не выявлено достоверных изменений показателей заболеваемости АИТ за изученные периоды времени, однако это заставило нас провести более детальный анализ его динамики в некоторых населенных пунктах этих областей.

Как представлено в Таблице 2, несмотря на то, что на уровне областных показателей в Витебской области установлена тенденция к снижению показателя заболеваемости АИТ у детей, в г. Верхнедвинске выявлен достоверный его рост на 66,5%. Аналогичные результаты получены и в Минской области, в г. Любань, где установлен рост этого показателя у детей на 60,5% за последние десять лет.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика показателей заболеваемости АИТ (на 100 тыс. детей) в периоды 2007-2011 гг. и в 2012-2018 гг. в населенных пунктах Витебской и Минской областей и в Беларуси в целом

№	Область	М±m, 2007-2011 гг.	М±m, 2012–2018 гг.	Уровень достоверности
1.	Витебская область	44,7±0,43	31,4±5,53	$P=0,78$ ; $n=7$ , не дост. ↓
2.	г. Дубровно	28,6±3,78	26,5±7,74	$P=0,25$ ; $n=7$ , не дост.
3.	г. Верхнедвинск	38,3±6,76	57,6±6,53	$P=0,05$ $n=7$ , дост. ↑
1.	Минская область	32,3±5,48	36,8±17,94	$P=0,25$ ; $n=7$ , не дост. ↑.
2.	г. Мядель	24,7±4,98	36,5±5,54	$P=0,25$ ; $n=7$ , не дост. ↑
3.	г. Любань	35,4±5,86	58,6±8,43	$P=0,05$ $n=7$ , дост. ↑
4.	Беларусь	47,6±3,67	46,13±1,24	$P=0,65$ ; $n=7$ , не дост.

Эти результаты показали, что распространенность АИТ значительно шире, чем это представлено в статистических данных на уровне области.

Таким образом, показатели заболеваемости АИТ на уровне области не отражают истинную картину распространенности этого заболевания по районам.

Полученные результаты явились основанием для более детального обследования обеспечения микроэлементами йода и селена в формировании начальных признаков АИТ у детей, для выяснения закономерностей между дисбалансом микроэлементного статуса селена и йода в организме и показателями формирования аутоиммунного тиреоидита у детей школьного возраста в различных регионах Беларуси.

Йодная и селеновая обеспеченности организма, характеристика тиреоидной системы у детей из г. Верхнедвинска.

Результаты по содержанию селена в волосах, значение медианы содержания йода в моче, медиана объема щитовидной железы и частота употребления в пищу йодированной соли у детей школьного возраста из г. Верхнедвинска (Витебская область) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание селена в волосах, значение медианы (Me) содержания йода в моче, медиана (Me) объема щитовидной железы и частота употребления в пищу йодированной соли у здоровых детей и детей с диагнозом АИТ школьного возраста из г. Верхнедвинска

Дети	Кол-во детей, чел.	Содержание селена в волосах (мкг/кг)	Me йода Мкг/л	Me объем щж, мл	Употребление йодир. соли %
Здоровые	52	0,38±0,15	203,5	6,3	73,0
АИТ	25	0,14±0,02	98,7	8,8	50,0

Как представлено в Таблице 3, у здоровых детей обнаружено пограничное (на нижней границе нормы) селеновое обеспечение со средним значением содержания селена равным 0,38±0,15 мкг/кг при нормативных значениях 0,3-1,2 мкг/кг. В тоже время, у детей с сонографическими признаками АИТ обнаружена тенденция к снижению содержания селена со средним значением его содержания равным 0,14±0,02 мкг/кг, которое составляет 46,7% от нижней границы нормы. Таким образом, полученные результаты свидетельствует о выраженном дефиците селена и йода в организме школьников из г. Верхнедвинска с сонографическими признаками АИТ по сравнению со здоровыми детьми.

Йодная и селеновая обеспеченности организма, характеристика тиреоидной системы у детей из г. Любань (Минская область).

Данные по распространенности йодного дефицита, медианы содержания йода в моче, встречаемости зоба и медиана объем щитовидной железы у детей из г. Любани представлены в Таблице 4.

Таблица 4 – Содержание селена в волосах, значение медианы (Me) содержания йода в моче, медиана (Me) объема щитовидной железы и частота употребления в пищу йодированной соли у здоровых детей и детей с диагнозом АИТ школьного возраста из г. Любани

Дети	Кол-во детей, чел.	Содержание селена в волосах (мкг/кг)	Me йода Мкг/л	Me объем щж, мл	Употребление йодир. соли %
Здоровые	50	0,58±0,16	193,7	7,2	76,0
АИТ	25	0,18±0,1	101,3	8,4	66,0

У школьников из г.Любань без первичных признаков АИТ (Таблица 4) не установлено признаков снижения уровня селена в организме, его значение, так же, как и йода находится в нормативных пределах. В тоже время, у детей с сонографическими признаками АИТ из г. Любань обнаружено достоверно (P= 0,037) сниженное содержание селена со средним значением его содержания равным 0,18±0,1 мкг/кг при нормативных значениях 0,3-1,2 мкг/кг, что составляет 60,0% от нижней границы нормы. Таким образом, полученные результаты свидетельствует о существовании выраженного селенового дефицита в организме школьников из г. Любань с первичными признаками АИТ. Необходимо отметить, что употребление йодированной соли у детей с признаками АИТ как в г. Верхнедвинске, так и в г.Любань было ниже, чем у здоровых детей.

### Заключение

У детей с сонографическими признаками АИТ установлено сниженное содержание, как йода, так и селена в организме, что является отличительной чертой по микроэлементному обеспечению от здоровых детей. Содержание селена и йода в организме у этой группы детей обычно в 1,5 – 2 раза ниже, чем в группе здоровых детей и в 2-3 раза ниже, чем нижние показатели нормативных значений.

Таким образом, у детей с сонографическими признаками АИТ, установлен выраженный йодно-селеновый дефицит, который может быть одной из причин снижения уровня антиоксидантной защиты организма и одним из основных факторов ответственных за формирование АИТ в различных регионах Беларуси. Степень тяжести йододефицитных расстройств снизилась и в настоящее время может быть оценена как легкая по областям, в то время как уровни дефицита селена у школьников в ряде регионов страны остаются достаточно высокими.

Полученные нами результаты хорошо согласуются с данными других авторов [5].

### ЛИТЕРАТУРА

1. С.В. Петренко. Изучение обеспеченности микроэлементами селена, йода, железа и цинка населения различных экологических регионов Республики Беларуси с высокими показателями заболеваемости щитовидной железой/С.В. Петренко, Б.Ю. Леушев, Л.С. Гуляева, Д.А. Никитин, С.А. Лаптенюк// Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. №4. 2018.-с.109-118.
2. С.В. Петренко. Обеспеченность микроэлементами селена и йода, распространенность зоба и аутоиммунного тиреоидита у детей школьного возраста из Брестской и Гродненской областей/С.В.Петренко, Б.Ю.Леушев, М.С.Петренко, А.А.Горбик, В.В.Рудая// Мат. 20-международной конференции «Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века» Минск, МГЭУ им.А.Д.Сахарова.-- 2020. --С.144-147.
3. Schomburg L. Selenium, selenoproteins, and thyroid gland: interactions in health and disease // Nature reviews endocrinology. 2012 Vol 8(3). P.160-171.

4. Wu Q., Rayman M.P., Lu H., Schomburg L. et al. Low population selenium status is associated with increased prevalence of thyroid disease // J Clin Endocrinol Metab. 2015. Vol. 100. P. 4037–4047.

5. Е.Г. Мохорт. Содержание йода и селена в пищевых рационах детей и подростков, проживающих в домашних условиях и организованных коллективах/Е.Г.Мохорт, А.В.Славинский//Проблемы дефицита витаминов и микроэлементов в Республике Беларусь-Минск-2007, с.44-46.

## **ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ПРОСТЫМ ЗОБОМ И АУТОИММУННЫМ ТИРОИДИТОМ И УРОВНЕМ ЙОДНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА БЕЛАРУСИ ЗА 2007-2018 ГОДЫ**

### **DYNAMICS OF DIFFUSE GOITER AND AUTOIMMUNE THYROIDITIS INCIDENCE AND IODINE STATUS IN SCHOOLCHILDREN OF BELARUS FOR THE PERIOD OF 2007-2018**

**С. В. Петренко<sup>1</sup>, Т. В. Мохорт<sup>2</sup>, Б. Ю. Леушев<sup>1</sup>,  
Н. Д. Коломиец<sup>3</sup>, Е. Г. Мохорт<sup>2</sup>, Е. В. Федоренко<sup>4</sup>, С. А. Лаптенко<sup>5</sup>  
S. V. Petrenko<sup>1</sup>, T. V. Mokhort<sup>2</sup>, B. Jr. Leushev<sup>1</sup>,  
N. D. Kolomietz<sup>3</sup>, E. G. Mokhort<sup>2</sup>, E. V. Fedorenko<sup>4</sup>, S. A. Laptenok<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ,  
г.Минск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>БГМУ г.Минск, Республика Беларусь,

<sup>3</sup>БелМАПО г.Минск, Республика Беларусь,

<sup>4</sup>РНПЦ «Гигиена» г.Минск, Республика Беларусь,

<sup>5</sup>БНТУ г.Минск, Республика Беларусь

petrenko51@yahoo.com

<sup>1</sup>Belarusian State University ISEI BSU Minsk, Republic of Belarus,

<sup>2</sup>BSMU Minsk, Republic of Belarus,

<sup>3</sup>Belarusian Academy of Postgraduate Education, Minsk, Republic of Belarus,

<sup>4</sup>National Research and Practical Center of Hygiene, Minsk, Republic of Belarus,

<sup>5</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Улучшение йодного обеспечения детей школьного возраста (9-12 лет) в Беларуси (медиана экскреции йода в 2018 г. равна 191,3 мкг/л) за последние десять лет привело к значительному и достоверному снижению показателей заболеваемости простым зобом за исключением Гомельской области, где обнаружена тенденция к росту. В тоже время, показатели заболеваемости аутоиммунным тиреоидитом достоверно выросли в Брестской и Гродненской областях в 1,5 и 1,7 раза соответственно без достоверных изменений в других областях. Установлена тесная достоверная отрицательная корреляционная связь (коэффициент корреляции -0,550 по Пирсону) между показателями заболеваемости АИТ и йодным обеспечением населения по областям и по республике в целом.

Improvement of iodine status of schoolchildren aged 9-12 years in Belarus (iodine excretion median in 2018 was equal to 191,3 µg/l) for the last decade resulted in significant decrease of diffuse goiter incidence except Gomel region, where trend to increase was recorded. At the same time autoimmune thyroiditis incidence demonstrated significant growth in Brest and Grodno regions by 1,5 and 1,7 fold correspondingly. No significant changes were recorded in other regions. Significant negative correlation (Pirson correlation rate -0.550) was recorded between AIT incidence and iodine status of population by the regions and totally in the country.

*Ключевые слова:* медиана экскреции йода с мочой, дети школьного возраста, распространенность простого зоба аутоиммунного тиреоидита у детей Беларуси.

*Keywords:* median of urinary iodine excretion, school boy children, iodized salt, Goiter rate in Belarusian children.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-90-93>

Республика Беларусь в связи с особенностями биогеохимического состава почв и вод относится к геохимической провинциям на Земле с выраженным недостатком микроэлемента йода.

С 2001 года в республике сохраняется государственное регулирование по использованию йодированной соли в промышленном производстве пищевых продуктов и хлебопечении, организации питания в детских садах

и средних образовательных учреждениях, а также осуществляется контроль уровня продаж йодированной соли в торговой сети, что привело к значительному снижению йодного дефицита в первую очередь у детей школьного возраста республики в 2010-2011 гг. [1]. Многочисленными исследованиями доказано, что достаточное содержание йода в организме необходимо для нормального интеллектуального и физического развития ребенка.[2].

Однако, несмотря на многолетние широкомасштабные профилактические мероприятия по ликвидации йодного дефицита, в Республике Беларусь остаются группы риска по развитию йододефицитных заболеваний, среди которых – беременные женщины и дети школьного возраста [3]. Как показано в предыдущих исследованиях, вследствие ликвидации йодного дефицита у детского населения за последнее десятилетие практически во всех регионах страны произошло снижение показателей заболеваемости простым зобом, в то же время, в некоторых регионах выявлен достоверный рост показателей заболеваемости аутоиммунным тиреоидитом [4].

В настоящем исследовании проведен корреляционный анализ и сопоставление показателей первичной заболеваемости простым зобом и аутоиммунным тиреоидитом с йодным обеспечением (МЭЙМ) детей школьного возраста в 2007-2018 гг., с йодным обеспечением детей из указанных регионов в 2006 и 2018 гг.

### Материалы и методы исследования

В исследование в 2006 году было включено 1304 здоровых ребенка из 12 населенных пунктов, а в 2018 году – 873 в возрасте 9-12 лет, проживающих в 16 населенных пунктах, распределенных по Беларуси.

Степень йодного дефицита устанавливалась по содержанию йода в утренней порции мочи, который определялся спектрофотометрическим церий-арсенидным методом, а анализ динамики показателей заболеваемости простым зобом и аутоиммунным тиреоидитом (АИТ), статус тиреоидной системы - по ультразвуковому обследованию щитовидной железы. Для характеристики йодного обеспечения области рассчитывалась медиана экскреции йода с мочой (МЭЙМ) группы школьников, проживающих в данной области.

Показатели заболеваемости простым зобом и аутоиммунным тиреоидитом у детей школьного возраста в 2007–2018 гг. взяты из официальных материалов Минздрава Беларуси «Сравнительная характеристика деятельности эндокринологической службы Республики Беларусь» за 2007-2018 годы, значение медианы экскреции йода с мочой взяты из отчетов авторов второго и третьего национального исследования йодного статуса детей школьного возраста по проектам ЮНИСЕФ в 2006 и 2018 годах [5].

Статистическая обработка проводилась методом непараметрической статистики для оценки экскреции йода с мочой и методом Стьюдента для выделенных пятилетних групп (2007-2012 и 2013-2018 гг.) показателей заболеваемости простым зобом и аутоиммунным тиреоидитом. Корреляционный анализ проводился в программе Excel.

### Полученные результаты

Для выяснения достоверности динамики изменений показателей заболеваемости простым зобом и АИТ за 2007–2018 гг. по времени были разделены на две группы 2007-2012 гг. и 2013-2018 гг. и представлены в виде значения среднего.

В таблице 1, приведены полученные результаты, которые свидетельствуют о достоверном снижении показателей заболеваемости простым зобом у детского населения Брестской, Гродненской, Витебской областей, г. Минска (в 1,88 – 11,3 раза) и Беларуси в целом (в 1,25 раза), то время как в Могилевской и Минской областях показана тенденция к снижению, а в Гомельской области – тенденция к росту этого показателя на 7,4%. Содержание йода в организме детского населения в областях менялось разнонаправлено, хотя дефицита йодного обеспечения выявлено не было. В целом по республике за прошедшие 12 лет йодное обеспечение детей улучшилось с показателями МЭЙМ 179,2 мкг/л (2006г.) до 191,3 мкг/л (2018г.).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика показателей заболеваемости простым зобом и йодного обеспечения у детского населения (на 100 тыс. чел.) в Беларуси в периоды 2007-2012 гг. и в 2013-2018 гг.

№	Область	M±m, 2007-2012 гг.	Медиана йода 2006	M±m, 2013-2018 гг	Медиана йода 2018	Уровень достоверности, n = 6
1.	Гомельская	589,19±21,63	166,9	632,91±35,31	193,4	P= 0,323;
2.	Могилевская	348,69±37,74	191,2	306,72±18,67	287,5	P= 0,344;.
3.	Брестская	160,62±31,85	166,9	73,40±18,89	117,0	P= 0,042*; ↓
4.	Гродненская	306,51±8,23	199,3	174,72±2,01	171,4	P= 0,001*; ↓
5.	Витебская	92,32±34,04	188,7	8,14±3,43	190,8	P= 0,036*; ↓
6.	Минская	141,26±36,85	166,5	103,84±21,35	186,5	P= 0,402
7.	г. Минск	104,6±11,05	185,5	55,64±11,51	204,5	P= 0,013*; ↓
8.	Беларусь	239,32±13,37	179,2	190,6±9,28	191,3	P= 0,015*; ↓

Показатели заболеваемости АИТ у детей школьного возраста в изученные периоды изменялись неоднозначно (Таблица 2). Если показатели заболеваемости этой нозологической формой в Гомельской области и г. Минске достоверно снизились в 1,68 и 1,89 раза соответственно, то в Брестской и Гродненской областях отмечен их до-

стоверный рост в 1,5 и 1,7 раза, соответственно. В остальных областях и республике в целом не обнаружено достоверных изменений показателя заболеваемости АИТ у детей.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика показателей заболеваемости АИТ и йодного обеспечения у детского населения (на 100 тыс. чел.) в Беларуси в периоды 2007-2012 гг. и в 2013-2018 гг.

№	Область	М±m, 2007-2012 гг.	Медиана йода 2006	М±m, 2013-2018 гг	Медиана йода 2018	Уровень достоверности
1.	Гомельская	74,10±5,00	166,9	44,03±2,10	193,4	P= 0,0003*; ↓
2.	Могилевская	44,57±5,36	191,2	38,53±4,42	287,5	P= 0,407;
3.	Брестская	50,97±6,81	166,9	75,46±3,26	117,0	P= 0,010*; ↑
4.	Гродненская	36,47±5,99	199,3	62,00±7,39	171,4	P= 0,025*; ↑
5.	Витебская	42,60±2,76	188,7	31,44±5,58	190,8	P= 0,105;
6.	Минская	32,03±1,19	166,5	37,8±2,67	186,5	P= 0,079;
7.	г. Минск	60,09±6,38	185,5	31,71±6,43	204,5	P= 0,0019*; ↓
8.	Беларусь	47,6±2,03	179,2	45,26±0,62	191,3	P = 0,717;

Проведенный корреляционный анализ результатов между показателями йодного обеспечения (МЭЙМ) и заболеваемости АИТ, проведенный за период 2007-2012 гг. показал наличие тенденции к отрицательной корреляционной связи между йодным обеспечением населения и показателями первичной заболеваемости АИТ с коэффициентом корреляции по Пирсону равным -0,342; по Кендаллу ---0,255 и по Спирману -0,216.

Дальнейший анализ по выяснению взаимосвязи между указанными показателями в 2013-2018 гг. по областям республики показал наличие более тесной, чем за предшествующий период, отрицательной корреляционной взаимосвязи с коэффициентами корреляции по Пирсону равным -0,666, по Кендаллу -0,429 и Спирману -0,500.

Итоговый статистический анализ зависимости значения йодного обеспечения (МЭЙМ) и показателям первичной заболеваемости АИТ по результатам 2007-2018 гг. по г. Минску, областям Беларуси и республике в целом, показал наличие достоверной отрицательной корреляции по Пирсону со значением -0,550. При проведении анализа по непараметрической статистике, также установлена отрицательная достоверная корреляция между этими параметрами со значениями: -0,460 по Кендаллу и -0,572 по Спирману.

Таким образом, установлена тесная отрицательная корреляционная связь между показателями заболеваемости АИТ и йодным обеспечением населения по областям и по республике в целом.

#### Заключение

Белорусская модель ликвидации йодного дефицита, основанная на широкомасштабном использовании йодированной соли при производстве продуктов питания и при организации питания в школьных и дошкольных учреждениях показала высокую эффективность.

Улучшение йодного обеспечения детей привело к снижению показателей заболеваемости простым зобом у детей, в то время как в Брестской и Гродненской областях за последние 10 лет установлен достоверный рост заболеваемости аутоиммунным тиреоидитом, обусловленный, по-видимому, другими экологическими факторами. Полученные результаты, в целом, свидетельствуют о том, что несмотря на достаточное интегративное йодное обеспечение, соответствующее стандартам ВОЗ, рост показателей первичной заболеваемости АИТ в ряде регионов Беларуси, кроме возможных других факторов, обусловлен также и недостаточным йодным обеспечением у категории детского населения с признаками развития АИТ.

Однако для снижения показателей заболеваемости АИТ у детей необходимо изучение других неблагоприятных факторов внешней среды, таких как дисбаланс микроэлементов селена, цинка, меди, кадмия, свинца, ртути и алюминия в связи с ростом дополнительной антропогенной нагрузки и глобальных отрицательных экологических факторов (выбросы предприятий химического производства удобрений, нефтеперегонных и энергетических комплексов).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С.В. Петренко Динамика йодного обеспечения и показателей тиреоидной системы в группах риска по йододефициту в сельских регионах Беларуси/Петренко С.В., Дардынская И.В., Леушев Б.Ю., Мохорт Т.В., Коломиец Н.Д., Федоренко Е.В., Мохорт Е.Г., Бартошевич О.А.//Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2017. № 4. С. 63–69.
2. Delange F. Iodine deficiency as a cause of brain damage/Postgrad. Med. J. – 2001 – Vol. 77. – p. 217–220.
3. Мохорт Т.В. Оценка йодного обеспечения детей школьного возраста и беременных женщин в Республике Беларусь в 2017-2018 годах/ Т.В.Мохорт, С.В.Петренко, Б.Ю. Леушев, Е.В.Федоренко, Н.Д. Коломиец, Е.Г. Мохорт//Клиническая и экспериментальная тиреодология 2018. – т. 14. – №3 – С 149-155.
4. Петренко С.В. Обеспеченность микроэлементами селена и йода, распространенность зоба и аутоиммунного тиреоидита у детей школьного возраста из Брестской и Гродненской областей/С.В.Петренко, Б.Ю.Леушев,

М.С.Петренко, А.А.Горбик, В.В.Рудая// Мат. 20-международной конференции «Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века» в 2 частях. под редакцией С.А. Маскевича, М.Г.Герменчук . Минск, МГЭУ им.А.Д.Сахарова. – 2020. – С.144–147.

5. С.В. Петренко. Изучение обеспеченности микроэлементами селена, йода, железа и цинка населения различных экологических регионов Республики Беларуси с высокими показателями заболеваемости щитовидной железы/С.В. Петренко, Б.Ю. Леушев, Л.С. Гуляева, Д.А. Никитин, С.А. Лаптенюк// Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. №4. 2018. – с.109–118.

**ОЦЕНКА ГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА С УСТАНОВЛЕННЫМ  
МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИМ ПРОФИЛЕМ ПАЦИЕНТОК, СТРАДАЮЩИХ  
РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ, РАЗЛИЧНОГО РЕПРОДУКТИВНОГО ПЕРИОДА**

**ASSESSMENT OF HORMONAL STATUS WITH AN ESTABLISHED  
MOLECULAR-BIOLOGICAL PROFILE OF PATIENTS WITH BREAST CANCER  
OF DIFFERENT REPRODUCTIVE PERIOD**

***А. И. Прокопук, К. В. Юрченкова, Е. М. Шпадарук, Р. М. Смолякова***  
***A. Prokopuk, K. Yurchankova, K. Shpadaruk, R. Smolyakova***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
prokopuk.anna@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В ходе проведенного исследования было установлено, что люминальный А подтип у пациенток с РМЖ ассоциирован в 100% случаях с повышенным содержанием в крови эстрадиола, прогестерона и пролактина. В постменопаузальном периоде люминальный Б (Her-2-положительном) подтип ассоциирован со 100% повышением концентрации гормонов эстрадиола и прогестерона. У пациенток с сохранённой овариально-менструальной функцией люминальный Б (Her-2-положительный) подтип в 37,5% случаев ассоциирован с повышенным содержанием эстрадиола. Люминальный Б (Her-2-отрицательный) подтип ассоциирован с повышенным содержанием в крови эстрадиола, прогестерона и пролактина у 100% пациенток. Her-2/neu-позитивный подтип ассоциирован с пониженным содержанием эстрадиола в сыворотке крови у 33% пациенток и пониженным уровнем прогестерона у 83% пациенток. У пациенток при триплет-негативном подтипе, диагностировано повышенное содержание эстрадиола и прогестерона в крови у 100% пациенток.

In the course of the study, it was found that the luminal A subtype in patients with breast cancer is associated in 100% of cases with increased blood levels of estradiol, progesterone, and prolactin. In the postmenopausal period, the luminal B (Her-2-positive) subtype is associated with a 100% increase in the concentration of the hormones estradiol and progesterone. In patients with preserved ovarian-menstrual function, luminal B (Her-2-positive) subtype in 37.5% of cases is associated with increased estradiol content. Luminal B (Her-2-negative) subtype is associated with increased blood levels of estradiol, progesterone, and prolactin in 100% of patients. The Her-2 / neu-positive subtype is associated with decreased serum estradiol levels in 33% of patients and decreased progesterone levels in 83% of patients. In patients with a triple-negative subtype, an increased content of estradiol and progesterone in the blood was diagnosed in 100% of patients.

*Ключевые слова:* рак молочной железы, иммуногистохимический метод, молекулярные подтипы, гормоны, гормональная регуляция, радиоиммунный метод, менопауза.

*Key words:* breast cancer, immunohistochemical method, molecular subtypes, hormones, hormonal regulation, radioimmunoassay, menopause.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-93-96>

**Введение.** Рак молочной железы (РМЖ) – это гетерогенное заболевание, которое является одной из основных проблем клинической онкологии. Прирост РМЖ по данным Белорусского канцер регистра каждый год составляет 1,2–1,5% и занимает 1 место среди онкологической патологии у женщин [1]. Результаты исследований последних лет свидетельствуют о существенном повышении уровня случаев рака молочной железы в группах радиационного риска через 50 лет после формирования эффективных доз облучения и сокращения среднего возраста женщин с впервые диагностированным раком молочной железы. Были получены данные, что РМЖ может индуцироваться дозами ниже 0,5 Гр. Зависимость доза-эффект носила линейный характер. Риск развития ра-

диационно-индуцированного РМЖ возрастал у женщин, подвергшихся радиационному воздействию во время гормональных перестроек организма (менархе, менопауза, беременность и лактация). Увеличение частоты общей онкологической заболеваемости и распространенности РМЖ зафиксировано через 20-30 лет после облучения у женщин [2]. Успех лечения рака молочной железы во многом зависит от его молекулярно-биологического подтипа и гормонального статуса, определяемых в опухолевой ткани и периферической крови пациенток.

**Цель исследования.** Определение концентрации половых гормонов в крови пациенток различного репродуктивного периода при установленных молекулярно-биологических подтипах карцином молочной железы.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования послужили клинические данные, опухолевая ткань и периферическая кровь 45 пациенток, страдающих РМЖ и получавших специальное лечение в ГУ РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова. Средний возраст пациенток составил – 53,5±13,8 года. Определение уровней экспрессии тканевых антигенов (рецепторов эстрогенов, рецепторов прогестерона, Her-2/neu, Ki-67), у пациенток, страдающих РМЖ, осуществлялось иммуногистохимическим методом с применением наборов DAKO (Дания), с системой визуализации (EnVision+), а также проводилось количественное определение в крови концентраций гормонов (эстрадиол, прогестерон и пролактин) радиоиммунным методом на анализаторе «470-0050 WIZARD», PerkinElmer (США), используя наборы реагентов «РИА-ЭСТАДИОЛ-СТ», «РИА-ПРОГЕСТЕРОН-СТ», «ИРМА-ПРОЛАКТИН-СТ» (Республика Беларусь).

С помощью иммуногистохимического метода были определены молекулярно-биологические профили рака молочной железы. Люминальный А подтип диагностирован у 10 пациенток (22%), люминальный В (Her-2/neu отрицательный) подтип обнаружен у 7 пациенток (16%), люминальный В (Her-2/neu-позитивный) подтип детектирован у 14 пациенток (31%), Her-2/neu-позитивный (нелюминальный) подтип диагностирован у 5 пациенток (11%), а триплет-негативный подтип выявлен у 9 пациенток (22%) [3].

В связи с тем, что пациентки в постменопаузальном периоде наиболее подвержены заболеванию РМЖ, следует принять во внимание, что важным является проведение сравнительной характеристики гормонального статуса пациенток с РМЖ. Для этого весь контингент пациенток был разделен на две подгруппы в соответствии с репродуктивным статусом женщин. В первую подгруппу включено 18 пациенток с клинически установленной сохраненной овариально-менструальной функцией, средний возраст составил 44,43±2,37 года. Во вторую подгруппу исследования включено 24 пациентки со средним возрастом 61,46±5,88 года, находящихся в клинически установленном постменопаузальном периоде. Каждая подгруппа характеризовалась различными уровнями исследуемых гормонов.

**Результаты исследования.** Для определения молекулярно-биологического подтипа РМЖ было проведено иммуногистохимическое исследование уровня экспрессии тканевых маркеров (рецепторов эстрогенов и прогестерона, рецептора эпидермального фактора роста второго типа (HER-2/neu) и пролиферативного антигена Ki-67).

При оценке уровня экспрессии рецепторов эстрогенов из всех позитивных опухолей молочной железы установлено, что у 27% пациенток опухоль была положительной по рецепторам эстрогенов, что ассоциировано с благоприятным прогнозом. Рецептор-отрицательная экспрессия установлена в 40% случаев и сопровождается устойчивостью к гормональной терапии. У 33% пациенток отмечена слабоположительная опухоль по рецептору эстрогенов. Положительный уровень рецепторов прогестерона (PR) в опухоли отмечен в 24% случаях, у 60% пациенток опухоль была рецептор-отрицательной.

В проведенном исследовании отсутствие экспрессии Her-2/neu выявлено в 36% случаев, в 24% случаев наблюдался низкий уровень экспрессии (score 1+), в 16% – умеренный уровень экспрессии (score 2+), в 24% случаев детектирована гиперэкспрессия (score 3+) в опухолевых тканях пациенток.

Согласно литературным данным [4], избыточная экспрессия HER-2/neu свидетельствует о неблагоприятном прогнозе течения заболевания. При проведении исследования гиперэкспрессия (score 2+ и score 3+) была выявлена у 40% пациенток, страдающих РМЖ. В связи с этим, выявление HER-2/neu может служить независимым маркером неблагоприятного прогноза, повышенного риска рецидива заболевания.

В ходе проведенного исследования отсутствие экспрессии тканевого антигена Ki-67 установлено в 13% случаев, в 40% – низкий уровень экспрессии, в 22% – умеренный, в 24% случаев обнаружена гиперэкспрессия пролиферативного антигена в опухолевых тканях пациенток с раком молочной железы.

Таким образом, при определении иммунофенотипа опухоли у пациенток с раком молочной железы по оценке уровня экспрессии ER и PR установлено, что в 40% случаев выявлена эстроген-негативная и в 60% случаев прогестерон-независимая опухоль. Избыточная экспрессии HER-2/neu (score 2+, score 3+) обнаружена у 40% пациенток с раком молочной железы, и в 47% случаев выявлена гиперэкспрессия пролиферативного антигена Ki-67 (>50% клеток), что ассоциировано с агрессивным течением заболевания и риском прогнозирования раннего метастазирования.

У пациенток, страдающих раком молочной железы, на основе оценки экспрессии тканевых антигенов выявлены прогностически значимые молекулярно-биологические подтипы опухоли.

Результаты исследования показали, что Люминальный А подтип, характеризующийся высокой экспрессией рецепторов эстрогенов (РЭ) и рецепторов прогестерона (РП), отсутствием экспрессии Her-2/neu и низким уровнем экспрессии Ki-67 (<20%), детектирован у 10 пациенток (22%) и является наиболее благоприятной формой РМЖ. Люминальный В (Her-2/neu отрицательный) подтип, характеризующийся отсутствием экспрессии рецептора эпидермального фактора роста 2-го типа на фоне экспрессии РЭ и наличием одного из факторов: отсутствием экспрессии РП или повышенной экспрессией Ki-67 (>20%), обнаружен у 7 пациенток (16%). Люминальный

*B (Her-2/neu-позитивный) подтип*, характеризующийся высоким уровнем экспрессии рецепторов эстрогенов и прогестерона, гиперэкспрессией рецептора эпидермального фактора роста 2-го типа и повышенной экспрессией Ki-67 (>20%), выявлен у 14 пациенток (31%). *Her-2/neu-позитивный (нелюминальный) подтип*, характеризующийся отсутствием экспрессии РЭ и РП (менее 20%), на поверхности опухолевых клеток присутствует избыток HER-2-рецепторов, детектируется экспрессия Ki-67>14%. Данный тип выявлен у 5 пациенток (11%) от всех исследуемых случаев РМЖ. Триплет негативный подтип, характеризуется отсутствием экспрессии рецепторов эстрогенов, прогестерона и HER-2/neu, обнаружен у 9 пациенток (20%) с РМЖ. Этот тип опухоли прогностически менее благоприятен и ассоциируется с агрессивным течением заболевания, а также высоким риском рецидива, быстрым метастазированием и снижением продолжительности жизни.

При проведении сравнительной характеристики было выявлено, что при люминальном *A* подтипе у пациенток с РМЖ в периоде постменопаузы наблюдалось в 100% случаях повышенное содержание уровней гормонов в крови эстрадиола, прогестерона и пролактина. Пониженное содержание фолликулостимулирующего (ФСГ) и лютеинизирующего (ЛГ) гормонов у данной группы пациенток с РМЖ выявлено в 100% случаях соответственно.

В ходе проведенного исследования у пациенток в постменопаузальном периоде при люминальном *B (Her-2-положительном)* подтипе выявлено, что повышенные концентрации гормонов эстрадиола и прогестерона сохраняются в равном соотношении в 100% случаях соответственно. Пониженная концентрация лютеинизирующего гормона обнаружена в 45% случаях. У 55% пациенток уровень концентрации исследуемого гормона находился в пределах нормы (>12 МЕ/л). Пониженное содержание гормона ФСГ у данной категории пациенток констатировано в 75% случаях. Содержание ФСГ в периферической крови в пределах нормы (>30 МЕ/л) выявлено у 25% пациенток. В сыворотке крови пациенток диагностировано повышенное содержание пролактина у 61%, а в 39% случаев данный показатель соответствовал норме (2,8–12,3 нг/мл).

У пациенток, страдающих РМЖ с сохранённой овариально-менструальной функцией при люминальном *B (Her-2-положительном)* подтипе выявлено, повышенное содержание эстрадиола в крови в 12,5% случаев, сниженное – в 37,5% случаев. У 50% пациенток данной группы содержание эстрадиола в сыворотке крови находилось в пределах нормы (0,2–0,8 нмоль/л). Повышенное и пониженное содержание прогестерона в сыворотке крови пациенток с РМЖ сохранялось в равном соотношении по 25% случаев соответственно. У 50% пациенток концентрация прогестерона в периферической крови находилась в пределах нормы (6–45 нмоль/л). Повышенное содержание ЛГ в крови обнаружено у 37,5% пациенток, пониженное – у 12,5% пациенток. Нормальный уровень концентрации ЛГ (1–10 МЕ/л) выявлен в 50% случаев. Повышенное и пониженное содержание ФСГ в периферической крови пациенток с РМЖ сохранялось в равном соотношении – по 12,5% соответственно. Нормальные значения изучаемого гормона установлены (1,5–6 МЕ/л) у 75% пациенток.

Анализ проведенного исследования показал, что у 100% пациенток в постменопаузальном периоде при люминальном *B (Her-2-отрицательном)* подтипе выявлено повышенное содержание в периферической крови гормонов эстрадиола, прогестерона и пролактина. Нормальные значения ЛГ (>12 МЕ/л) и ФСГ (>30 МЕ/л) в сыворотке крови обнаружены у 100% пациенток соответственно.

У пациенток, страдающих РМЖ, с сохранённой овариально-менструальной функцией при люминальном *B (Her-2-отрицательном)* подтипе, содержание эстрадиола в сыворотке крови у 50% пациенток находилось в пределах нормы (0,2–0,8 нмоль/л). Повышенное содержание изучаемого гормона выявлено у 50% пациенток. У 50% пациенток концентрация прогестерона в крови находилась в пределах нормы (6–45 нмоль/л). Повышенная концентрация прогестерона в крови обнаружена в 50% случаев. Повышенное содержание в крови ЛГ установлено у всех изученных пациенток. Содержание ФСГ в пределах нормы (1,5–6 МЕ/л) выявлено у 100% пациенток. Повышенное содержание пролактина диагностировано у 50% пациенток и у 50% пациенток данный показатель соответствовал норме (3,9–27,7 нг/мл).

В ходе анализа выполненных исследований у пациенток в постменопаузальном периоде при *Her-2/neu-позитивном* подтипе, выявлено пониженное содержание эстрадиола в сыворотке крови у 33% пациенток, нормальный уровень данного гормона установлен у 67% пациенток. У пациенток (17% случаев) в период менопаузы наблюдался повышенный уровень прогестерона в периферической крови и пониженный уровень прогестерона – у 83% пациенток. Повышенная концентрация ЛГ обнаружена в 33% случаев, понижение содержания – в 17%. Нормальный уровень (>12 МЕ/л) выявлен у 50% пациенток. В анализируемой группе пациенток отмечено повышение содержания ФСГ у преобладающего количества (50% случаев) пациенток с РМЖ, снижение содержания – в 17% случаев, нормальные значения установлены (>30 МЕ/л) у 33% пациенток. В сыворотке крови рассматриваемой группы пациенток диагностировано повышенное содержание пролактина в 100% случаев.

В ходе проведенного исследования у 100% пациенток в постменопаузальном периоде при триплет-негативном подтипе, диагностировано повышенное содержание гормонов эстрадиола и прогестерона в крови. У 50% пациенток установлено снижение содержания в крови ЛГ. Нормальный уровень содержания данного гормона (>12 МЕ/л) выявлен у 50% пациенток. При изучении уровня концентрации ФСГ было установлено, что у 88% пациенток выявлено снижение содержания данного гормона, тогда как норме соответствовал данный показатель в 22% случаев (>30 МЕ/л). В 62,5% случаев наблюдалось снижение концентрации пролактина в крови, а в 37,5% случаев данный показатель соответствовал норме (2,8–12,3 нг/мл).

У пациенток, страдающих РМЖ с сохранённой овариально-менструальной функцией при триплет-негативном подтипе, отмечено, что повышенное и пониженное содержание эстрадиола в сыворотке крови сохраняется

в равном соотношении – по 33,3% случаев соответственно. У 33,3% пациенток уровень эстрадиола в периферической крови находился в пределах нормы (0,2–0,8 нмоль/л). Содержание прогестерона в сыворотке крови в 67% случаев находилось в пределах нормы (6–45 нмоль/л), повышенное – в 33% случаев. Анализ концентрации ЛГ в крови показал его повышение в 33% случаев. У 67% пациенток концентрация ЛГ в крови соответствовала норме (1–10 МЕ/л). Нормальные значения (1,5–6 МЕ/л) ФСГ установлены у 100% пациенток. В периферической крови пациенток, страдающих раком молочной железы с сохранённой овариально-менструальной функцией диагностировано повышенное содержание пролактина у 33% пациенток, а в 67% случаев данный показатель соответствовал норме (3,9–27,7 нг/мл).

**Заключение.** При оценке уровня гормонов у пациенток различного репродуктивного периода с установленными молекулярно-биологическими подтипами было выявлено, что при люминальном А подтипе у пациенток с РМЖ в периоде постменопаузы наблюдалось в 100% случаях повышенное содержание уровней гормонов в крови эстрадиола, прогестерона и пролактина. При люминальном Б (*Her-2-положительном*) подтипе у постменопаузальных пациенток в 100% случаев выявлены повышенные концентрации эстрадиола и прогестерона. У пациенток, страдающих РМЖ с сохранённой овариально-менструальной функцией при люминальном Б (*Her-2-положительном*) подтипе выявлено, повышенное содержание эстрадиола в крови в 12,5% случаев, сниженное – в 37,5% случаев. При *Her-2/неи-позитивном* подтипе у пациенток в постменопаузальном периоде выявлено пониженное содержание эстрадиола в сыворотке крови у 33% пациенток, нормальный уровень данного гормона установлен у 67% пациенток. У пациенток, страдающих РМЖ с сохранённой овариально-менструальной функцией при триплет-негативном подтипе, отмечено, что повышенное и пониженное содержание эстрадиола в сыворотке крови сохраняется в равном соотношении – по 33,3% случаев соответственно.

Таким образом, изучение комплексной характеристика концентрации гормонов в крови с молекулярно-биологических подтипами помогает в прогнозе течения заболевания и позволяет патогенетически обоснованно выбрать персонализированный объем противоопухолевой терапии у данной категории пациенток.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новые показатели функционального состояния HSP27 в опухолевых клетках рака молочной железы при различных вариантах *Her2/neu* – статуса / Е.В. Кайгородова [и др.] // Сибирский онкологический журнал. – 2015. – Т.1. – С. 38-44
2. Молекулярно-генетические и радиационные факторы риска развития рака молочной железы (обзор литературы) / Б.А. Апсаликов [и др.] // Вестник. – 2016. – Т.1. – С.215-219
3. Прокопук, А.И. Молекулярно-генетическая характеристика карцином молочной железы / А.И. Прокопук, Р.М. Смолякова, Е.М. Шпадарук, И.Н. Андреева // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI-го века. – Минск. – 2020. – С. 252–255
4. Тканевые маркёры как факторы прогноза при раке молочной железы / Е.С. Герштейн [и др.] // Практическая онкология / под ред. С.А. Тюляндина, В.М. Моисеенко. – СПб: Центр ТОММ, 2004. – С. 41–50

## БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПЛОДОВЫХ ТЕЛ ЛЕКАРСТВЕННЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE COMPONENT COMPOSITION OF FRUIT BODIES OF MEDICINAL BASIDIOMYCETES

**А. С. Родзькин, Т. С. Ерчинская, Н. В. Иконникова  
A. S. Rodzkin, T. S. Erchinskaya, N. V. Ikonnikova**

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
rodzkin@mail.ru

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В плодовых телах штаммов грибов родов *Ganoderma*, *Inonotus*, *Phallus* и *Pleurotus* проведено исследование содержания основных биохимических компонентов: белка, полисахаридов, липидов, меланиновых пигментов и фенольных соединений. Количество общего и истинного белка составило 14,6-28,0% и 10,9-18,5%, соответственно, полисахаридов – 10,8-28,4%, липидов – 3,1-3,5%, фенольных соединений – 580-2200 мг%. Более высокое содержание белка отмечено у штаммов гриба *P. ostreatus*, полисахаридов – у штаммов *G. lucidum* и *Ph. impudicus*, фенольных соединений – у штаммов гриба *I. obliquus*. Наибольшее количество полисахаридов (22,0-24,0%) выделено из плодовых тел *G. lucidum* (рейши). Лидер по содержанию полисахаридов в сухой биомассе плодовых тел – гриб *Phallus impudicus* (веселка обыкновенная). Плодовые тела

чаги *I. obliquus* (штаммы KI 5, KI 7) и веселки *Ph. impudicus* (штаммы PI 2, PI 5, PI 9) содержали значительные количества меланиновых пигментов – 10,3-13,8% и 7,1-7,4%, соответственно.

The content of the main biochemical components: protein, polysaccharides, lipids, melanin pigments, and phenolic compounds was studied in the fruit bodies of strains of fungi of the genera *Ganoderma*, *Inonotus*, *Phallus*, and *Pleurotus*. The amount of total and true protein was 14.6-28.0% and 10.9-18.5%, respectively, polysaccharides-10.8-28.4%, lipids-3.1-3.5%, phenolic compounds-580-2200 mg%. Higher protein content was observed in the strains of the fungus *P. ostreatus*, polysaccharides – in the strains of *G. lucidum* and *Ph. impudicus*, phenolic compounds in the strains of the fungus *I. obliquus*. The largest amount of polysaccharides (22.0-24.0 %) was isolated from the fruit bodies of *G. lucidum* (reishi). The leader in the content of polysaccharides in the dry biomass of fruit bodies is the fungus *Phallus impudicus* (common Veselka). The fruit bodies of Chaga *I. obliquus* (strains KI 5, KI 7) and Veselka *Ph. impudicus* (strains PI 2, PI 5, and PI 9) contained significant amounts of melanin pigments – 10.3-13.8% and 7.1-7.4%, respectively.

**Ключевые слова:** плодовые тела грибов, базидиомицеты, биохимический состав, полисахариды, меланиновые пигменты, белок, липиды, фенольные соединения.

**Keywords:** fungal fruit bodies, basidiomycetes, biochemical composition, polysaccharides, melanin pigments, protein, lipids, phenolic compounds.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-96-99>

Высшие базидиальные грибы являются продуцентами целого ряда биологически активных соединений: белков, липидов, полисахаридов, органических кислот, ферментов, витаминов, пигментов и др. Многие из этих соединений являются активными в фармакологическом плане, и, в сравнении с продуктами химического синтеза, будут менее токсичны и более эффективны в случае их применения в медицинской практике. Источниками выделения биологически активных соединений служат плодовые тела, базидиоспоры, вегетативный мицелий, культуральная жидкость при искусственном культивировании. В настоящее время препараты на основе грибов используются в качестве вспомогательных средств к основной терапии. В связи с этим весьма актуальным является комплексное изучение состава биологически активных соединений базидиомицетов и их биологического действия с целью дальнейшей разработки субстанций лекарственных препаратов с последующей их регистрацией в официальной медицине. Плодовые тела многих базидиомицетов из родов *Ganoderma*, *Lentinula*, *Grifola*, *Laetiporus*, *Schizophyllum*, *Pleurotus*, *Trametes* известны своими ценными лекарственными свойствами в различных странах мира, что подтверждает многолетний опыт их использования в традиционной медицине некоторых стран Юго-Восточной Азии [1, 2].

Меланиновые пигменты из березового гриба чаги *Inonotus obliquus*, являются уникальными природными биополимерами и выполняют в микробной клетке главным образом защитные функции против негативного воздействия факторов различной природы, что обуславливает широкий спектр их доказанных фармакологически ценных свойств: иммуномодулирующей, антиоксидантной, антивирусной, генопротекторной, радиопротекторной, ауксиноподобной, адаптогенной и др. активностей. Меланины чаги проявляют сорбционные и хелатирующие свойства [3].

Грибы *G. lucidum* (рейши) и *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная) содержат уникальный комплекс биологически активных соединений: витаминов, белков, жиров, минералов, углеводов, антиоксидантов. Высокой биологической активностью обладают полисахариды, составляющие до 40% биомассы грибов, и терпеноиды. Из плодовых тел *G. lucidum* выделено несколько фракций пептидогликанов, обладающих доказанной эффективностью в профилактике и лечении онкологических заболеваний [4].

Антибиотические, антиоксидантные и иммуномодулирующие свойства установлены для гриба весёлка обыкновенная *Phallus impudicus*. При проведении токсико-фармакологических исследований установлено, что весёлка обыкновенная не токсична и проявляет иммуностропное, ранозаживляющее и ростостимулирующее действие. В ней содержатся полисахариды, обладающие противоопухолевым действием, алкалоиды, являющиеся естественным анальгетиком, соединения с антигистаминными, антифунгальными свойствами и вещества, стимулирующие выработку перфоринов [5].

В последние годы в Беларуси наблюдается повышенный интерес к созданию лекарственных препаратов на основе растительного сырья и высших грибов. Поэтому активно развивается такое направление как фунготерапия и ведется поиск грибов, богатых природными полезными веществами. В настоящее время изучаются виды, которые ранее даже не рассматривались в качестве возможных продуцентов для получения лекарственных препаратов. К таким видам грибов можно отнести представителя гастромицетов – весёлку обыкновенную (лат. *Phallus impudicus*).

Весёлка обыкновенная – гриб-гастеромицет порядка Весёлковые, или Фаллюсовые (*Phallales*). В терапии используется весь гриб, но самой полезной считается слизь, которая находится в яйце гриба. В современной научной литературе имеются сведения об исследованиях, которые подтвердили антибиотические, антиоксидантные и иммуномодулирующие свойства гриба. Кроме того, токсико-фармакологические исследования показали, что весёлка обыкновенная не токсична и проявляет иммуностропное, ранозаживляющее и ростостимулирующее действие. В ней содержатся полисахариды, которые обладают противоопухолевым действием, алкалоиды, являющиеся естественным анальгетиком, а также антигистамины – вещества, снимающие аллергические реакции, а также вещества, подавляющие дерматомикозы.

Весёлка обыкновенная применяется в процессе лечения злокачественных опухолей различной локализации [5]. Действующие вещества весёлки вызывают повышенную выработку в организме перфоринов. Водный экстракт весёлки обыкновенной в профилактическом и лечебном режиме значительно увеличивает выживаемость и улучшает общее состояние мышей, которых подвергали общему однократному облучению в дозе 7 Гр, а также исследователи отметили торможение скорости опухолевого роста и снижение объемов опухоли. Спиртовая (40%) настойка гастеромицета, по мнению ряда авторов, может выполнять профилактическую функцию перед наступлением эпидемии гриппа, в случае простудных заболеваний, она может достигать 100% защитного эффекта. Установлено, что полисахариды данного гриба, в дозах 10 мг/кг и 30 мг/кг, а также лиофилизат из спиртового экстракта гриба (80 мг/кг), оказывают выраженный гипогликемический эффект у крыс с экспериментальным диабетом.

Препараты на основе грибных энтеросорбентов благополучно продвигаются на мировых рынках. В качестве примеров можно привести «Микотон», который производится из плодовых тел *Fomesfomentarius*, и «Мипровит», который был создан на основе гриба *Trametes hirsuta*. У лечебно-оздоровительных препаратов на основе съедобных грибов не зафиксированы нежелательные побочные эффекты и токсическое действие [2]. Если энтеросорбенты (полифепан, билигнин, активированный уголь и др.) рекомендуется использовать только периодически, то грибные сорбенты можно систематически добавлять в пищу без нежелательных последствий для здоровья. Помимо сорбции экзотоксикантов они оказывают и общее положительное действие на работу организма.

Объектом исследования выступают штаммы грибов (отдел Basidiomycota, класс *Basidiomycetes*) следующих родов: *Ganoderma*, *Inonotus*, *Phallus* и *Pleurotus*. Плодовые тела грибов собраны в период 2017-2019 г.г. в лесах Минского района.

Определение содержания основных биохимических соединений в плодовых телах вели согласно общепринятым методикам. Предварительная подготовка заключалась в приготовлении порошка плодовых тел исследуемых базидиальных грибов. Белок в плодовых телах грибов определяли по Кьельдалю, липиды из биомассы плодовых тел экстрагировали методом Фолча, полисахариды в грибах определяли по методикам, представленным в работах Грушенко М.М. и соавт., 1978; Елинова Н.П., 1989; Tang Y.J., 2002. Общие фенольные соединения определяли по методам, описанным Запрометовым М.Н., 1985.

Экстракцию меланина из порошка плодовых тел осуществляли 2% раствором NaOH с коэффициентом разбавления 1:10 в течение 2-х часов на кипящей водяной бане. Полученный экстракт охлаждали и подкисляли до pH 2,0 концентрированной соляной кислотой. Коагулировавший пигмент отделяли центрифугированием при 6000g в течение 15 мин. Полученный осадок растворяли в 2% -ном растворе NaOH и использовали для определения выхода меланина, количество которого рассчитывали по калибровочной кривой, построение которой вели на основании данных фотометрирования растворов пигмента различной концентрации при длине волны проходящего света 490 нм. Меланины очищали методом гель-хроматографии на колонке 1,5x72 см с сорбентом Тоуорpearl HW-65 (Япония, TojoSoda) в 0,01 н NaOH. Очищенные меланины с целью обессоливания диализовали против воды и лиофильно высушивали.

Были использованы плодовые тела 2-х штаммов гриба *Pleurotus ostreatus*, 3-х штаммов гриба *Ganoderma lucidum*, 2-х штаммов гриба *Inonotus obliquus* и 3-х штаммов гриба *Phallus impudicus*. Все плодовые тела лекарственных грибов получены из естественных мест произрастания. Штаммы грибов выделены в чистые культуры, идентифицированы и хранятся в коллекции кафедры иммунологии МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ.

Содержание основных биохимических компонентов: белка, полисахаридов, липидов, меланиновых пигментов и фенольных соединений в плодовых телах грибов *Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma lucidum*, *Inonotus obliquus*, *Phallus impudicus* представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Биохимический состав плодовых тел грибов

Штаммовая принадлежность плодового тела гриба	Общий белок, %	Истинный белок, %	Полисахариды, %	Липиды, %	Меланиновые пигменты, %	Общие фенольные соединения, мг%
<i>I.obliquus</i> KI 5	14,4±0,02	11,8±0,10	11,0±0,1	2,8±0,02	10,3±0,09	1900-2000
<i>I. obliquus</i> KI 7	14,6±0,08	10,9±0,06	10,8±0,2	3,2±0,02	13,8±0,04	1900-2200
<i>P. ostreatus</i> PO1	28,0±0,04	18,5±0,04	19,2±0,2	3,5±0,08	3,1±0,02	580-760
<i>P. ostreatus</i> PO2	28,4±0,02	18,2±0,07	19,7±0,3	3,0±0,04	3,4±0,03	580-700
<i>G. lucidum</i> GL1	17,3±0,05	11,6±0,01	23,8±0,1	3,0±0,01	4,7±0,01	650-800
<i>G. lucidum</i> GL3	17,6±0,01	12,3±0,02	24,0±0,2	3,1±0,05	5,6±0,02	680-850
<i>G. lucidum</i> GL6	16,7±0,09	12,1±0,06	22,9±0,1	2,8±0,02	5,2±0,04	680-850
<i>Ph. impudicus</i> PI2	19,7±0,05	15,2±0,06	27,5±0,1	3,0±0,02	7,3±0,01	800-870
<i>Ph. impudicus</i> PI5	20,3±0,02	15,7±0,02	28,4±0,2	3,5±0,04	7,4±0,02	850-900
<i>Ph. impudicus</i> PI9	20,0±0,01	14,8±0,04	28,9±0,2	3,2±0,08	7,1±0,09	850-870

Как следует из данных таблицы 1, биохимический состав плодовых тел несколько варьировал по содержанию основных компонентов. Так, количество общего и истинного белка составило 14,6-28,0% и 10,9-18,5%, соответственно, полисахаридов – 10,8-28,4%, липидов – 3,1-3,5%, фенольных соединений – 580-2200 мг%. Более высокое содержание белка отмечено у штаммов гриба *P. ostreatus*, полисахаридов – у штаммов *G. lucidum* и *Ph. impudicus*, фенольных соединений – у штаммов гриба *I. obliquus*. Плодовые тела чаги и веселки содержали значительные количества меланиновых пигментов – 13,8 и 7,4 % от абсолютно сухой биомассы, соответственно.

Исследование полисахаридов сопряжено с множеством задач, которые сводятся, в основном, к фракционированию, очистке, определению качественного и количественного состава мономерных единиц, размеров циклов моносахаридов, входящих в молекулу полимера, мест их соединения, наличия боковых цепей и типов гликозидных связей, конфигурации гликозидных связей, молекулярной массы. Всё это позволяет выяснить первичную структуру полисахарида. Оценивая состав и строение различных полисахаридов, экстрагируемых из биомассы гриба, следует помнить, что гликаны находятся, как правило, в связанном состоянии, как между собой, так и с другими биополимерами клетки. В процессе выделения и очистки связи могут разрываться. При изучении экзополисахаридов получить нативные полисахариды и полисахарид-белковые комплексы значительно проще.

При рассмотрении методов, которые были разработаны для выделения полисахаридов из плодовых тел грибов и мицелия, было обнаружено, что они имеют много общих черт. Как правило, из высушенных и измельченных плодовых тел грибов полисахариды экстрагируют кипячением в воде (100° С) в течение 12-18 часов, после чего осаждают из супернатанта 40% этанолом.

Перспективным грибом для получения полисахаридов с лекарственной точки зрения является *G. lucidum* (рейши). Из отобранных 10 штаммов гриба наибольшее количество полисахаридов (22,0-24,0 %) выделено из плодовых тел штаммов GL1, GL3 и GL6. Несомненным лидером по содержанию полисахаридов в сухой биомассе плодовых тел явился гриб *Phallus impudicus* (веселка обыкновенная) – до 28,0 %. Выделение полисахаридов проведено из 3-х штаммов данного гриба.

Исследование количественного и качественного состава углеводов водорастворимой фракции грибов показало следующее: наибольшее количество водорастворимых сахаров (13,3%) содержится в плодовых телах *Ph. impudicus*, наименьшее (3,0-4,6%) – у *G. lucidum* GL3. В водорастворимой фракции *G. lucidum* GL3 преобладающей обнаружена глюкоза, у *Ph. impudicus* PI 5 и *G. lucidum* GL6 – глюкоза и трегалоза.

Анализ углеводного состава полисахаридов показал, что все они являлись гетерогликанами. В составе большинства полисахаридов преобладала глюкоза (75,3-91,1%), также присутствовали галактоза (5,6-13,4%) и манноза (4,5-17,8%). По углеводному составу значительно отличались полисахариды *P. ostreatus*, в которых моносахариды манноза, галактоза и глюкоза присутствовали в соотношении 1:1,3:1,2. Кинематическая вязкость 0,1% растворов полисахаридов составляла в среднем у *G. lucidum* – 1,22 мм<sup>2</sup>/с, *P. ostreatus* – 3,32 мм<sup>2</sup>/с.

Экстракцию меланиновых пигментов из плодовых тел вели по общепринятой методике. Показано, что плодовые тела чаги (2 штамма) и веселки (3 штамма) в сравнении с другими исследованными грибами, содержали значительные количества меланиновых пигментов – 10,3-13,8 % и 7,1-7,4 %, соответственно (таблица 1). Полученные данные объясняются более темной окраской плодовых тел вышеуказанных грибов.

Характеристика меланиновых пигментов по содержанию метоксильных групп, алифатических и фенольных гидроксил-радикалов показала, что их количество незначительно отличается у обоих грибов. Количество карбонильных групп в меланине *I. obliquus* KI 7 в 4 раза превышало содержание таковых в меланине *I. obliquus* KI 5. Поскольку существует корреляция между окраской меланинов, коэффициентом цветности и содержанием кислородсодержащих карбонильных групп, то этим и объясняется более интенсивное окрашивание меланина *I. obliquus* KI 7. Регистрация ИК-спектров поглощения меланинов изучаемых грибов позволила выявить присутствие характерных, для грибных меланинов функциональных групп и определенных связей в молекуле: гидроксильных и амидных водородсвязанных групп (широкие полосы в областях 3300-3400 и 3000-3300 см<sup>-1</sup>), карбонильных групп вторичных амидов (сильные полосы при 1660-1650 и 1520-1530 см<sup>-1</sup>), алифатических гидроксильных и метиленовых групп (полосы средней интенсивности в области 1040 и 1450-1400 см<sup>-1</sup>).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шамцян, М.М. Иммуномодулирующие свойства высших базидиальных грибов / М.М. Шамцян, Е.В. Воробейчиков, В.Г. Конусова, А.С. Симбирцев // Цитокины и воспаление. – 2012. – Т. 11. – №1. – С. 26–32.
2. Wasser, S.P. Medicinal mushroom science: history, status, future trends, and unsolved problems / S.P. Wasser // International Journal of Medicinal Mushrooms. – 2010. – №12. – Р. 1–16.
3. Шашкина, М.Я. Химические и медико-биологические свойства чаги / М.Я. Шашкина, П.Н. Шашкин, А.В. Сергеев // Хим.-фарм. журнал. – 2006. – Т.40, №10. – С.37-44.
4. Герасименя, В.П. Экстракты базидиальных грибов и их полифункциональная медико-биологическая активность / В.П. Герасименя. – М.: Институт химической физики имени Н.Н. Семенова РАН, ООО «Инбиофарм», 2014. – 128 с.
5. Кадукова, Е.М. Использование экстракта веселки обыкновенной в комплексной терапии онкозаболеваний в эксперименте / Е.М. Кадукова Т.И. Терпинская, С.Н. Сушко, А.Ф. Маленченко // Сибирский онкологический журнал. – 2010. – №4. – С. 25–29.

# ПРИМЕНЕНИЕ IGRT В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

## APPLICATION OF IGRT IN CLINICAL PRACTICE

***A. В. Рыбина, А. В. Гайда***  
***A. Rybina, A. Haida***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
Брестский областной онкологический центр  
г. Брест, Беларусь  
heartsease.once@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Belarus  
Brest regional Oncology Center  
Brest, Belarus*

Лучевая терапия – это высокоэффективная и высокотехнологичная терапия для лечения рака. Высокотехнологические возможности позволили интегрировать технологию визуализации непосредственно в устройство лучевой обработки для повышения точности укладки и доставки излучения. Помимо удовлетворения клинической потребности в более эффективном контроле за распределением дозы в организме, лучевая терапия под контролем визуализации позволила ускорить изучение ряда различных парадигм доставки излучения, включая снижение токсичности, эскалацию дозы, гипофракционирование, вокселизацию и адаптацию.

Radiation therapy is a highly effective targeted therapy for the treatment of cancer. Technological innovations have made it possible to directly integrate imaging technology into the radiation processing device to improve the accuracy and accuracy of radiation delivery. In addition to meeting the clinical need for more effective control of dose placement in the body, imaging radiotherapy has enabled innovators in the field to accelerate the study of several different radiation delivery paradigms, including toxicity reduction, dose-escalation, hypofractionation, voxelization, and adaptation.

*Ключевые слова:* IGRT, верификация, лучевая терапия, объём опухоли, визуализация, рак, позиционирование.

*Keywords:* IGRT, verification, radiation therapy, tumor volume, visualization, cancer, positioning.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-100-103>

В современной лучевой терапии акцент делается на уменьшении объема облучения высокими дозами лучевой терапии, повышении точности лечения, а также снижении токсичности нормальных тканей, и поэтому все большее значение придается точной верификации положения и коррекции перед проведением сеанса лучевой терапии. В настоящее время разработано несколько техник, которые безупречно достигают этих целей, хотя все они имеют свои ограничения. Не существует единого метода, который устранял бы все связанные с лечением неопределенности без значительного увеличения затрат. Однако проведение “высокоточной лучевой терапии” без периодического контроля с помощью изображений принесло бы больше вреда, чем обработка больших объемов для компенсации ошибок позиционирования пациента. В настоящем обзоре мы обсуждаем концепцию лучевой терапии под контролем визуализации, современные доступные методы, а также их ожидаемые преимущества и недостатки.

В широком смысле визуализация играет две основные роли в лучевой терапии:

а) сложные методы визуализации, такие как компьютерная томография с контрастным усилением (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и ангиография, позволяют получить трехмерную (3D) структурную и биологическую информацию, которая используется для точного определения цели и, таким образом, позволяет точно планировать лечение в изоцентрической или неизоцентрической геометрии;

б) методы визуализации планарные, объемные, видео- или ультразвуковые, позволяют получить периодическую информацию о положении и движении цели (в течение одного сеанса или между последовательными сеансами), сравнивают ее с эталонной визуализацией и дают обратную связь для коррекции установки пациента и оптимизации локализации цели. Они также могут обеспечить обратную связь, которая может помочь адаптировать последующие сеансы лечения в соответствии с реакцией опухоли.

Более конкретно, современная лучевая терапия рассматривает последнее применение с помощью «комнатной» визуализации как «лучевую терапию с направленным изображением» (IGRT).

IGRT позволяет оценить геометрическую точность «модели пациента» при проведении лечения. Он представляет метод, с помощью которого определяются отклонения анатомии от первоначального плана, и эта информация используется для обновления дозиметрических предположений. Стратегии коррекции могут включать

ежедневное перепозиционирование пациента для верификации положения в соответствии с базовым планом или перерасчет доставки дозы в режиме реального времени для отражения представления пациента в течение заданной фракции. Этот метод переоценки лечения и учета различий между фактической анатомией пациента в данный день и моментальным снимком запланированного лечения известна как адаптивная лучевая терапия. Конечная цель состоит в том, чтобы переоценить и, в определенных ситуациях, переопределить, ежедневное позиционирование плана лечения, чтобы держать его в том же русле, что и предполагаемое лечение. Будущие применения могут включать перераспределения дозы для максимизации эффекта или смягчения побочных эффектов [1–3].

Ошибка в проведении лучевой терапии определяется как любое отклонение от намеченного или запланированного лечения. Большая степень неопределенности присуща практике лучевой терапии и может проявляться в виде механических неопределенностей, связанных с параметрами блока лечения, такими как движение кушетки и портала, неопределенностей пациента, связанных со способностью удобно лежать в определенном положении и сотрудничать во время лечения, геометрических неопределенностей, связанных с положением и движением мишени, и дозиметрических неопределенностей. IGRT имеет дело с геометрическими неопределенностями, которые могут быть как внутрифракционными, так и межфракционными.

Как межфракционные, так и внутрифракционные неопределенности могут быть результатом сочетания систематических и случайных ошибок.

Систематическая ошибка, по существу, является ошибкой подготовки обработки и вводится в цепочку в процессе позиционирования, моделирования или определения цели. Эта ошибка, если ее не исправить, будет равномерно влиять на все фракции обработки. Случайная ошибка, с другой стороны, является ошибкой выполнения лечения, непредсказуема и изменяется с каждой дробью. Системные ошибки смещают все распределение дозы в сторону от CTV, в то время как случайные ошибки размывают это распределение вокруг CTV. Из этих двух систематическая ошибка является более злободневной, поскольку она будет иметь гораздо большее влияние на точность лечения и, следовательно, терапевтическое соотношение.

Поля добавляются к CTV, чтобы учесть эти ошибки. Эти поля представляют собой геометрические расширения вокруг CTV и могут быть неоднородными во всех измерениях в зависимости от ожидаемых ошибок. Эти поля обеспечивают достижение целей дозиметрического планирования, несмотря на различия во времени и между фракциями [5]. В зависимости от наблюдаемых систематических и случайных ошибок в данной установке для конкретного участка обработки в литературе существует множество методов расчета полей PTV. Чтобы повысить терапевтический коэффициент, может быть применен целый ряд стратегий коррекции, чтобы уменьшить эти пределы и включить онлайн-или офлайн-коррекцию интерфракционных ошибок или коррекцию внутрифракционного движения в реальном времени. Отслеживание и коррекция движения органов помогает уменьшить внутреннюю маржу, в то время как повышенная точность позиционирования уменьшает маржу настройки, тем самым уменьшая требуемую маржу PTV.

Офлайн-и онлайн-стратегии коррекции IGRT относятся к тому, находится ли пациент на кушетке во время проведения верификации и будет ли коррекция применена к тому же или последующим сеансам.

В офлайн-стратегии изображения получаются до начала лечения и сопоставляются с эталонным изображением в более поздний момент времени. Эта стратегия направлена на то, чтобы определить индивидуальную систематическую ошибку настройки и тем самым уменьшить ее. В сочетании с установочными данными других пациентов, получавших лечение по тому же протоколу, это помогает определить популяционную стандартную ошибку для данного лечения в данном учреждении. Широко используемые автономные протоколы коррекции включают протоколы Shrinking action level и No action level. Маржа PTV в учреждении зависит от этих определений индивидуальных и популяционных систематических ошибок.

Онлайн-стратегия, с другой стороны, использует получение изображений и их верификацию, и коррекцию перед дневным лечением. Она направлена на уменьшение как случайных, так и систематических ошибок. Место обработки и ожидаемая величина ошибки могут определять частоту онлайн-визуализации. Участки, где ожидаются большие суточные сдвиги (живот, таз и грудная клетка) или где даже незначительные сдвиги изменят распределение дозы в соседних критических структурах (параспинальные опухоли, внутрочерепные опухоли в непосредственной близости от оптических структур), лучше всего управляются с помощью ежедневной визуализации. Опыт работы с онлайн-коррекцией показал, что максимальные ошибки наблюдаются в грудной клетке, а затем в брюшной полости и тазу. Минимальные погрешности наблюдались в области головы и шеи. Кроме того, такие методы лечения, как VMAT и SBRT, потенциально могут трансформировать незначительные сдвиги в серьезные изменения в распределении доз и, следовательно, требуют ежедневной онлайн-верификации. Для ежедневной онлайн-коррекции систематические и случайные ошибки могут быть рассчитаны на основе сопоставленных данных. Визуализация после лечения необходима для количественной оценки как внутрифракционного движения, так и остаточных ошибок. При оценке для популяции пациентов эти данные могут помочь проверить запас PTV для данного протокола лечения.

Использование IGRT в клинической практике улучшило нашу осведомленность и понимание ежедневных изменений межфракционных и внутрифракционных движений. Отслеживание в реальном времени помогло количественно оценить межфракционные и внутрифракционные вариации движения опухолей легких и печени, связанные с дыханием, и сложности такого движения стали более ясными. Теперь мы понимаем, что даже при повторных задержках дыхания относительное положение мягких тканей и костных структур может изменяться, что делает использование костных ориентиров бесполезным для таких процедур. Изменения в положении

простаты (перемещение, вращение и изменение объема) были количественно оценены, и мы можем исправить эти ошибки, а также адаптировать поля PTV к этим выводам, что позволяет более точно ориентироваться. Понимание различных методов IGRT, их применимости, ограничений и дополнительной радиационной опасности помогает радиационному онкологу принять обоснованное решение о методе, наиболее подходящем для конкретной клинической ситуации для получения максимальной пользы от лучевой терапии. При лучшей геометрической точности объем облученных здоровых тканей может быть значительно уменьшен с уменьшением риска токсичности. Адаптация к уменьшению объема опухоли может привести к дополнительному увеличению снижения токсичности нормальных тканей [4].

На основании изучения и анализа зарубежных источников можно сказать, что результаты текущих и будущих исследований, как мы надеемся, продемонстрируют чистый выигрыш в терапевтическом соотношении от применения технологий IGRT.

IGRT, скорее всего, принесет пользу в клинических ситуациях, когда опухоль находится в непосредственной близости от чувствительных здоровых тканей, когда дозы, необходимые для контроля заболевания, превышают уровни толерантности прилегающих нормальных тканей или, когда большие допуски в движении органов могут привести к серьезным последствиям позиционных ошибок. Все пациенты, получающие конформную лучевую терапию, IMRT и SBRT, теоретически должны получать пользу от IGRT. Грудные и верхние брюшные мишени со значительным дыхательным движением, пациенты с ожирением, рак головы и шеи, параспинальные и забрюшинные саркомы и рак предстательной железы – это ситуации, которые, как ожидается, принесут максимальную пользу при некотором клиническом опыте. Клинические ситуации, когда даже облучение в низких дозах дает отличный местный контроль, паллиативная лучевая терапия, проводимая с использованием больших полей, и поверхностные опухоли, которые поддаются прямому визуальному осмотру, вероятно, получают наименьшую пользу от IGRT.

Ограниченная доступность опытного обученного персонала является серьезным препятствием для широкого применения этой методики, несмотря на ее очевидные преимущества даже при самых простых подходах. Другие факторы, которые необходимо учитывать, включают контроль качества, алгоритмы, которые определяют решения о том, следует ли изменить план или продолжить работу с первоначальным планом, а также необходимость коммерческой разработки программного и аппаратного обеспечения в соответствии с клиническими потребностями и требованиями. Еще одна серьезная проблема, связанная с частой визуализацией во время лечения – это доза облучения нормальных тканей. Хотя дозы IGRT кажутся незначительными, только долгосрочное наблюдение определит любой потенциальный риск вторичных злокачественных новообразований от воздействия низких доз. Таким образом, продолжается дискуссия о необходимой частоте верификационной визуализации, особенно при использовании ионизирующего излучения. Другой проблемой является безопасность лечения, поскольку технологии, доступные в клинике, требуют интеграции аппаратного и программного обеспечения от разных поставщиков. Клиническому использованию любой системы должны предшествовать надлежащие приемо-сдаточные испытания, ввод в эксплуатацию и ежедневный контроль качества, используемый для обеспечения точной регулярной функциональности.

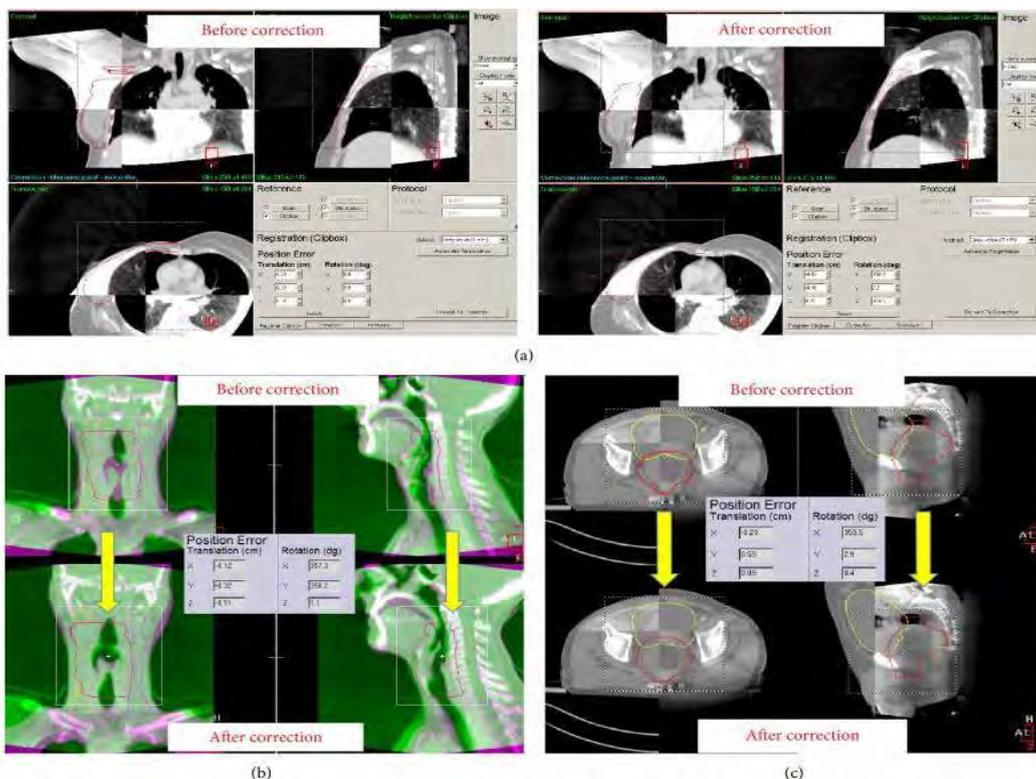


Рис. 1 – KV CBCT объемная визуализация

Обучение всех пользователей (онкологов, физиков и техников) безопасному использованию и клинической полезности является обязательным, наряду со знанием дополнительной дозы и возможных рисков, связанных с их использованием. Ни одна технология не идеальна в каждом сценарии, и ни одно учреждение не может объединить все или большинство технологий в одном месте. Только время покажет, какие из этих методов получат более широкую популярность и признание, основываясь на клинической значимости и простоте использования [5].

Использование систем IGRT имеет важное значение для лечения любого участка, где ожидаются отклонения в движении органов. Дополнительные преимущества заключаются в ежедневном мониторинге реакции на лечение, изменений веса и наполняемости органов.

На рисунке 1 представлена KV СВСТ объемная визуализация. Можно оценить, как поступательные, так и вращательные ошибки. Поступательные ошибки легко исправляются, в то время как немногие системы имеют положения для исправления вращательных ошибок с помощью вращений кушетки.

а) СВСТ по сравнению с эталонным сканированием до и после коррекции положения в случае карциномы правой молочной железы, постмастэктомии.

б) Коррекция СВСТ в случае карциномы гортани.

в) СВСТ в случае карциномы предстательной железы не только исправляет ошибки позиционирования, но и дает оценку воспроизводимости положения простаты по отношению к наполнению мочевого пузыря. В этом конкретном случае изображение показывает незначительное наполнение мочевого пузыря, и лечение было отложено, чтобы обеспечить оптимальное положение мочевого пузыря для получения воспроизводимого положения простаты, а также перемещения кишечника из поля пучка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Jaffray DA*. Image-guided radiation therapy: from concept to practice / *Seminars in Radiation Oncology*. 2007; 17:4:243–244.
2. *Wu QJ, T. Li T, Yin FF*. Adaptive radiation therapy: technical components and clinical applications / *Cancer Journal*. 2011;17:3:182–189.
3. *Potters L, LGaspar LE, Kavanagh B* [et al.]. American Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ASTRO) and American College of Radiology (ACR) practice guidelines for image-guided radiation therapy (IGRT) / *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. 2010;76:2:319–325.
4. *Korreman S, Rasch C, McNair H* [et al.]. The European Society of Therapeutic Radiology and Oncology-European Institute of Radiotherapy (ESTRO-EIR) report on 3D CT-based in-room image guidance systems: a practical and technical review and guide / *Radiotherapy and Oncology*. 2010;94:2:129–144.
5. *White E, Kane G*. Radiation medicine practice in the image-guided radiation therapy era: new roles and new opportunities / *Seminars in Radiation Oncology*. 2007;17:4:298–305.

## СУБПОПУЛЯЦИОННЫЙ СОСТАВ $\gamma$ Т-ЛИМФОЦИТОВ У ПАЦИЕНТОВ С IgA-НЕФРОПАТИЕЙ

### THE COMPOSITION OF $\gamma$ T-LYMPHOCYTES IN PATIENTS WITH IgA-NEPHROPATHY

**А. В. Свирская<sup>1</sup>, К. С. Комиссаров<sup>2,3</sup>,**

**Е. И. Минченко<sup>4</sup>, Н. А. Манаева<sup>3</sup>, Д. Б. Нижегородова<sup>1,3</sup>**

**A. Svirskaya<sup>1</sup>, K. Komissarov<sup>2,3</sup>, E. Minchenko<sup>4</sup>, N. Manaeva<sup>3</sup>, D. Nizheharodava<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Белорусская медицинская академия последипломного образования,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>4</sup>1-я Городская клиническая больница, г. Минск, Республика Беларусь  
alesjswirskaya@mail.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Minsk Scientific and Practical Center of Surgery, Transplantology and Hematology, Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education, Minsk, Republic of Belarus

<sup>4</sup>1-st City Clinical Hospital, Minsk, Republic of Belarus

У пациентов с IgA-нефропатией установлено перераспределение субпопуляций  $\gamma$ T-лимфоцитов в периферической крови, характеризующееся преобладанием ткане-резидентных клеток, а также выявлены

изменения их активационного и цитотоксического потенциала относительно контрольной группы, что может являться потенциальными биомаркерами в ранней диагностике аутоиммунной патологии почек.

The redistribution of  $\gamma\delta$ T-lymphocytes subpopulations in the peripheral blood characterized by a predominance of tissue-resident cells as well as changes in their activation and cytotoxic potential were established in patients with IgA-nephropathy as compared to healthy donors what may be used as potential biomarkers in the early diagnosis of kidney autoimmune pathology.

*Ключевые слова:* IgA-нефропатия,  $\gamma\delta$ T-лимфоциты, аутоиммунная патология.

*Keywords:* IgA-nephropathy,  $\gamma\delta$ T-lymphocytes, autoimmune pathology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-103-107>

## Введение

$\gamma\delta$ T-клетки представляют собой минорную лимфоидную популяцию, экспрессирующую T-клеточный рецептор (TCR), состоящий из  $\gamma$ - и  $\delta$ -цепей, и характеризующуюся разнообразной структурной и функциональной гетерогенностью.  $\gamma\delta$ T-лимфоциты локализуются преимущественно в слизистых оболочках и тканях (кишечник, кожа, легкие), в то время как в периферической крови составляют всего 1–5% от циркулирующих T-лимфоцитов. На основе экспрессии V $\delta$ -цепи выделяют три основные субпопуляции  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов (V $\delta$ 1<sup>+</sup>, V $\delta$ 2<sup>+</sup>, V $\delta$ 3<sup>+</sup>-клетки), при этом каждая субпопуляция имеет свои функциональные особенности [1].

Обладая как врожденными, так и адаптивными свойствами,  $\gamma\delta$ T-клетки являются посредниками видового и специфического иммунитета и участвуют в различных иммунных реакциях: подвергаются быстрой пролиферации в ответ на аутоантигены, опухолевые антигены, инвазию патогенов и развитие иммунного воспаления. Для  $\gamma\delta$ T-клеток характерна цитотоксическая активность, опосредуемая синтезом гранзимов и перфоринов, вовлечение в антитело-зависимую клеточную цитотоксичность за счет экспрессии Fc $\gamma$ RIII, антиген-презентирующая функция, что является ключевыми моментами в развитии различных хронических воспалительных и аутоиммунных заболеваний, включая IgA-нефропатию. С другой стороны,  $\gamma\delta$ T-лимфоциты могут выполнять иммунорегуляторную функцию, медианную синтезом противовоспалительных цитокинов и участием в репарации тканей [1, 2].

IgA-нефропатия – это наиболее распространенная форма гломерулонефрита, имеющая социальную значимость во всем мире, в том числе и в Республике Беларусь. Причинами развития IgA-нефропатии могут выступать не только генетическая предрасположенность, но и различные экологические факторы (инфекционные агенты, аллергены и др. ксенобиотики), которые приводят к развитию заболевания. Иммунопатогенез IgA-нефропатии характеризуется накоплением депозитов легких цепей ( $\kappa$  и  $\lambda$ ) иммуноглобулина класса A и реже иммуноглобулина класса G в мезангиуме почечных клубочков в результате активации как клеточного, так и гуморального звена иммунной системы. Роль цитотоксических лимфоцитов, хелперных клеток (Th2, Th17, Th22, Tfh) и регуляторных клеток (Tregs) в развитии IgA-нефропатии достаточно хорошо изучена, в то время как минорная популяция  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов остается объектом пристального изучения, в связи с активным вовлечением в иммунопатогенез аутоиммунной патологии [2].

Целью исследования явилась оценка субпопуляционного состава  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов в периферической крови пациентов с IgA-нефропатией.

## Материалы и методы

Периферическая венозная кровь получена от 20 пациентов с IgA-нефропатией в возрасте 32,0 (28,0÷39,0) года (10 мужчин, 10 женщин) и 14 здоровых доноров в возрасте 38,0 (30,3÷52,5) года (6 мужчин, 8 женщин). Диагноз IgA-нефропатии подтверждали в биоптатах пациентов по Оксфордской классификации (MEST-C), включающую мезангиальную пролиферацию (M), эндотелиальную пролиферацию (E), сегментарный гломерулосклероз (S), тубулярную атрофию (T), полулуния (C). Субпопуляции  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов определяли с применением панели антител DuraClone IM TCRs (TCR $\gamma\delta$ -FITC, TCR $\alpha\beta$ -PE, HLA-DR-ECD, TCR V $\delta$ 1-PC7, CD4-APC, CD8-A700, CD3-APC-A750, TCR V $\delta$ 2-PB, CD45-KRO, Beckman Coulter, India) и проточного цитометра CytoFLEX (Beckman Coulter, США). Результаты регистрировали на 1000 событий  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов. На рисунке 1 представлен алгоритм анализа T-клеточных субпопуляций.

Определение биохимических показателей таких как концентрация креатинина, гематурия и суточная протеинурия, проводили с использованием диагностических наборов и биохимического анализатора. Скорость клубочковой фильтрации рассчитывали по формуле (1) для мужчин и по формуле (2) для женщин:

$$\text{СКФ} = 1,23 \times \frac{(140 - \text{возраст (годы)}) \times \text{масса тела (кг)}}{\text{креатинин крови (мкмоль/л)}}, \quad (1)$$

$$\text{СКФ} = 1,05 \times \frac{(140 - \text{возраст (годы)}) \times \text{масса тела (кг)}}{\text{креатинин крови (мкмоль/л)}}. \quad (2)$$

Статистическую обработку данных проводили в программе STATISTICA 8.0. Сравнение исследуемых групп выполняли с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни. Корреляционный анализ проводили с применением рангового коэффициента корреляции непараметрических данных Спирмена ( $r$ ). За уровень статистической значимости принимали  $p < 0,05$ .

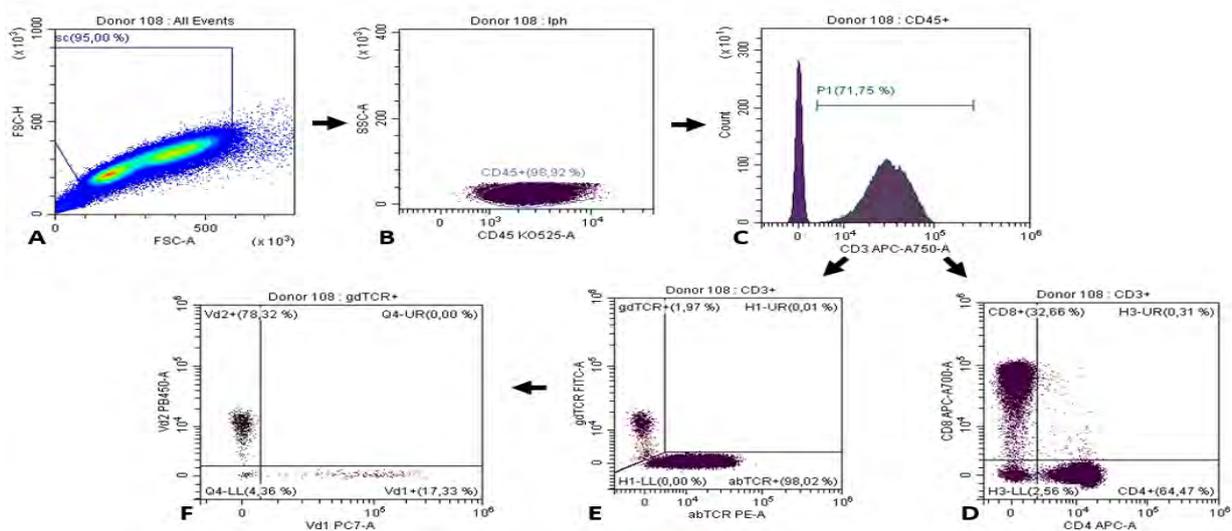


Рис. 1 – Алгоритм анализа  $\alpha\beta$ - и  $\gamma\delta$ T-клеточных субпопуляций.

Примечание: А – популяция одиночных клеток; В – лимфоциты;

С – субпопуляция  $CD3^+$ T-лимфоцитов; D – субпопуляции  $CD4^+$  и  $CD8^+$ T-лимфоцитов;

Е – субпопуляции  $\alpha\beta$ T- и  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов; F – субпопуляции  $V\delta 1^+$ ,  $V\delta 2^+$ ,  $V\delta 3^+$ T-лимфоцитов

## Результаты

У пациентов с IgA-нефропатией выявлено достоверное увеличение содержания  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов по сравнению с группой здоровых доноров (9,42 (6,25÷12,44) % и 2,86 (2,18÷5,63) %, соответственно,  $p < 0,05$ ), в то время как содержание  $\alpha\beta$ T-лимфоцитов в исследуемых группах статистически значимо не отличалось (90,47 (87,41÷93,72) % и 89,26 (88,42÷95,84) %, соответственно). Известно, что наряду с классическими T-лимфоцитами в патогенез IgA-нефропатии могут вовлекаться и минорные лимфоидные клетки. В частности,  $\gamma\delta$ T-клетки играют важную роль в защитных иммунных реакциях: их способность продуцировать цитокины, такие как интерферон- $\gamma$  или интерлейкин 17 А, позволяет быстро реализовывать механизмы иммунного воспаления на патогенные сигналы при развитии патологий почек. В связи с этим, увеличение содержания циркулирующих  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов может быть результатом активации врожденного клеточного звена иммунитета.

Для определения субпопуляционного состава  $\alpha\beta$ T-лимфоцитов изучали уровень экспрессии корцепторных молекул CD4 и CD8, которые указывают, соответственно, на принадлежность к популяции T-хелперов или цитотоксическим лимфоцитам. Установлено достоверное снижение количества  $CD4^+$ T-лимфоцитов (52,52 (46,14÷58,70) %) и увеличение  $CD8^+$ T-лимфоцитов у пациентов с IgA-нефропатией (38,45 (33,17÷42,56) %) по сравнению с группой здоровых доноров (61,51 (56,70÷72,66) % и 29,48 (22,54÷34,60) %, соответственно,  $p < 0,05$ ). Несмотря на отсутствие изменений в общем количестве T-лимфоцитов, обнаруженное перераспределение лимфоидных клеток в сторону цитотоксических может свидетельствовать об эффекторных механизмах, реализуемых лимфоцитами в патогенезе IgA-нефропатии. Так, снижение T-хелперов, экспрессирующих  $CD4^+$  (корцепторная молекула TCR, обеспечивающая взаимодействие с антиген-презентирующими клетками) может свидетельствовать о миграции в ткани для реализации приобретенного иммунного ответа, а увеличение циркулирующих T-лимфоцитов, экспрессирующих  $CD8^+$  (корцепторная молекула, участвующая в передаче сигналов T-клеткам для обеспечения цитотоксичности), может свидетельствовать об активации эффекторных механизмов цитотоксичности.

При изучении субпопуляционного состава  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов, экспрессирующих  $V\delta 1^+$ ,  $V\delta 2^+$  и  $V\delta 3^+$ -доменов, обнаружено перераспределение количества данных клеток в периферической крови у пациентов с IgA-нефропатией. Так, выявлено увеличение содержания  $V\delta 1^+$ T-лимфоцитов у пациентов с IgA-нефропатией по сравнению с контрольной группой (27,97 (10,49÷41,97) % и 14,60 (4,95÷17,45) %, соответственно,  $p < 0,05$ ), в то время как процент  $V\delta 2^+$ T-лимфоцитов снижался у пациентов по отношению к группе доноров (61,86 (41,56÷86,34) % и 79,84 (71,71÷91,56) %, соответственно,  $p < 0,05$ ). Уровень  $V\delta 3^+$ T-лимфоцитов у пациентов с IgA-нефропатией характеризовался тенденцией к увеличению относительно группы здоровых доноров (9,73 (1,94÷17,13) % и 5,47 (2,47÷5,46) %, соответственно). Согласно литературным данным  $V\delta 1^+$  и  $V\delta 3^+$  не являются типичными циркулирующими клетками, и при обнаружении повышения уровня данных клеток у пациентов с IgA-нефропатией можно предположить, что происходит перераспределение циркулирующих и ткане-резидентных клеток для реализации механизмов иммунологического надзора [2].

Для оценки активационного потенциала в исследуемых группах изучена экспрессия HLA-DR на  $\gamma\delta$ T-лимфоцитах. У пациентов с IgA-нефропатией выявлено увеличение количества HLA-DR $^+$   $\gamma\delta$ T-лимфоцитов 16,53 (6,70÷22,29) % по сравнению с контрольной группой 9,66 (5,27÷13,13) %, что свидетельствует о высоком активационном потенциале  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов и их способности к антигенной презентации. В результате оценки экспрессии

молекулы HLA-DR на субпопуляциях  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов обнаружено значительное увеличение количества  $V\delta 1^+$ T-лимфоцитов экспрессирующих HLA-DR до 21,39 (10,74÷28,65) % и  $V\delta 3^+$ T-лимфоцитов до 24,17 (12,28÷35,91) % у пациентов с IgA-нефропатией, в то время как у здоровых доноров содержание  $V\delta 1^+$ T-лимфоцитов, экспрессирующих HLA-DR, оставалось на уровне 15,70 (4,41÷15,79) % и  $V\delta 3^+$ T-лимфоцитов 8,77 (4,35÷17,39) %,  $p < 0,01$ . Принимая во внимание, что HLA-DR – это поверхностный рецептор МНС класса II, который представляет собой лиганд для TCR, полученные данные свидетельствуют об инициации иммунного ответа за счет презентации пептидных антигенов, потенциально чужеродных по происхождению к иммунной системе при IgA-нефропатии.

Для определения удельного содержания клеток с цитотоксическим функциональным профилем оценивали экспрессию корецепторных молекул  $CD8^+$  на  $\gamma\delta$ T-лимфоцитах. В результате исследования выявили отсутствие статистически значимых различий содержания  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов, экспрессирующих  $CD8^+$ , у пациентов с IgA-нефропатией по сравнению с контрольной группой (32,10 (23,19÷42,36) % и 29,27 (18,27÷44,54) %, соответственно). У пациентов с IgA-нефропатией также не обнаружены статистически значимые различия в субпопуляциях  $V\delta 1^+$ ,  $V\delta 2^+$ ,  $V\delta 3^+$ -лимфоцитов, экспрессирующих  $CD8^+$ , что свидетельствует о низком цитотоксическом потенциале данных клеток. Известно, что T-лимфоциты, экспрессирующие  $CD8^+$  молекулу, после первоначальной активации во вторичных лимфоидных органах инфильтрируют воспаленный участок в виде дифференцированных эффекторных клеток в ответ на локальную продукцию хемоаттрактантов и затем сохраняются в ткани, что может оказывать повреждающий эффект.

Для установления взаимосвязи иммунологических и клиничко-морфологических показателей проведен корреляционный анализ, с одной стороны, между биохимическими показателями (гематурия, протеинурия, скорость клубочковой фильтрации, концентрация креатинина) и морфологическими показателями (мезангиальная и эндотелиальная пролиферация, сегментарный гломерулосклероз, тубулярная атрофия, наличие полулуний), и с другой стороны, содержанием  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов и их субпопуляциями  $V\delta 1^+$ ,  $V\delta 2^+$ ,  $V\delta 3^+$  у пациентов с IgA-нефропатией. На рисунке 2 отображена статистически значимая зависимость содержания  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов и их субпопуляций у пациентов с IgA-нефропатией с соответствующими показателями.

У пациентов с IgA-нефропатией выявлена обратная зависимость количества  $V\delta 1^+$ T-лимфоцитов с уровнем гематурии ( $R = -0,60$ ;  $p = 0,01$ ) и креатинина ( $R = -0,54$ ;  $p = 0,03$ ), также с развитием тубулярной атрофии ( $R = -0,47$ ;  $p < 0,05$ ) и наличием полулуний в клубочках ( $R = -0,55$ ;  $p = 0,02$ ). При этом установлена прямая корреляция количества  $V\delta 2^+$ T-лимфоцитов с уровнем гематурии ( $R = 0,64$ ;  $p = 0,01$ ) и креатинина ( $R = 0,58$ ;  $p = 0,01$ ), а также с уровнем тубулярной атрофии ( $R = 0,50$ ;  $p = 0,04$ ) и образованием полулуний в гломерулах ( $R = 0,65$ ;  $p = 0,01$ ). Показано, что содержание  $V\delta 3^+$ T-лимфоцитов обратно пропорционально зависело от показателей гематурии ( $R = -0,46$ ;  $p < 0,05$ ), креатинина ( $R = -0,48$ ;  $p = 0,05$ ), развития тубулярной атрофии почек ( $R = -0,63$ ;  $p = 0,01$ ), а также и отмечается тенденция к образованию полулуний ( $R = -0,43$ ;  $p = 0,09$ ).

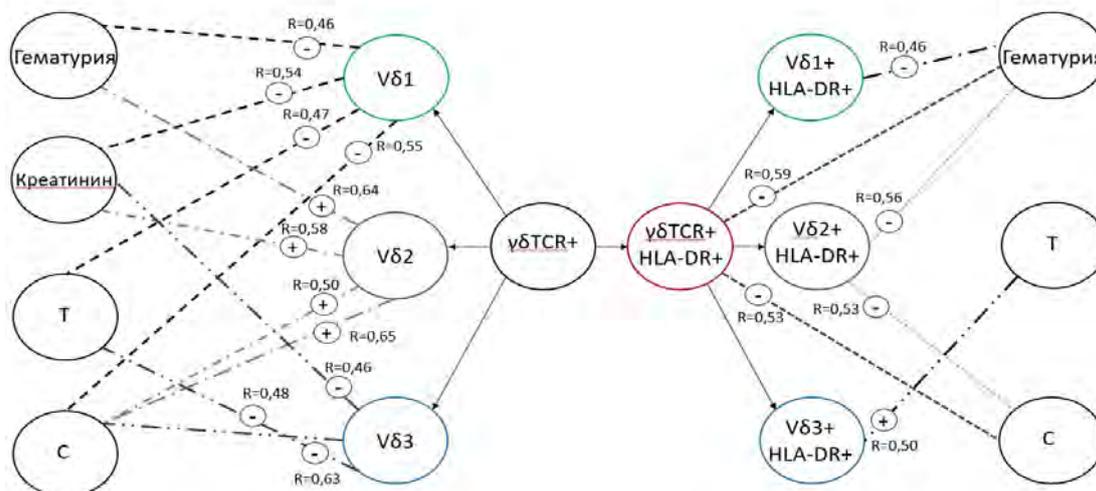


Рис. 2 – Корреляция  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов и их субпопуляций с клиничко-морфологическими показателями

Примечание: М – мезангиальная пролиферация; С – наличие полулуний; Т – тубулярная атрофия.

Наряду с этим, у пациентов с IgA-нефропатией определена обратная корреляция между содержанием  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов, экспрессирующих активационную молекулу HLA-DR, и уровнем гематурии ( $R = -0,59$ ;  $p = 0,01$ ), также образования полулуний ( $R = -0,53$ ;  $p = 0,03$ ). При этом выявлена обратная зависимость количества  $V\delta 1^+$ HLA-DR<sup>+</sup> клеток и уровня гематурии преимущественно ( $R = -0,46$ ;  $p < 0,05$ ). В то время как содержание  $V\delta 2^+$ HLA-DR<sup>+</sup> лимфоцитов обратно пропорционально коррелировало с проявлением гематурии ( $R = -0,56$ ;  $p = 0,02$ ) и наличием полулуний в клубочках почек ( $R = -0,53$ ;  $p = 0,03$ ). Также установлена зависимость количества  $V\delta 3^+$ HLA-DR<sup>+</sup> клеток с развитием тубулярной атрофии ( $R = 0,50$ ;  $p = 0,04$ ). Содержание  $V\delta 1^+$ T-лимфоцитов, экспрессирующих цитотоксическую молекулу  $CD8^+$ , коррелировало с развитием мезангиальной пролиферации ( $R = 0,48$ ;  $p = 0,05$ ), в то время как уровень  $V\delta 3^+$  $CD8^+$ -лимфоцитов обратно коррелировал с показателями протеинурии ( $R = -0,55$ ;  $p = 0,02$ ).

### Заключение

У пациентов с IgA-нефропатией показано увеличение количества V $\delta$ 1<sup>+</sup>T-клеток наряду со снижением содержания V $\delta$ 2<sup>+</sup>T-клеток в периферической крови, а также установлена повышенная экспрессия маркера активации HLA-DR на  $\gamma\delta$ T-клетках на фоне отсутствия изменений цитотоксических свойств эффекторных субпопуляций, что может быть использовано в качестве биомаркера при дифференциальной диагностике аутоиммунной патологии почек. Выявлена обратная корреляция содержания V $\delta$ 1<sup>+</sup>- и V $\delta$ 3<sup>+</sup>T-лимфоцитов и их активированных форм с развитием гематурии, тубулярной атрофии и наличием полулуний, что свидетельствует о регуляторной роли данных субпопуляций в патогенезе заболевания. В то время как положительная связь V $\delta$ 2<sup>+</sup>T-лимфоцитов с гематурией, тубулярной атрофией и наличием полулуний отражает вовлечение эффекторных механизмов данной популяции в иммунопатогенез IgA-нефропатии. При этом уровень активированных  $\gamma\delta$ T-лимфоцитов и субпопуляций V $\delta$ 1<sup>+</sup> и V $\delta$ 2<sup>+</sup> обратно коррелировал с гематурией и наличием полулуний, что подтверждает их регуляторную роль. Корреляция субпопуляции V $\delta$ 3<sup>+</sup> с тубулярной атрофией может свидетельствовать о способности функционировать данной популяции в качестве антиген-презентирующих клеток.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Turner J. Tissue-Resident Lymphocytes in the Kidney / Turner J [et al.] // Journal of the American Society of Nephrology. 2018;29:389–399.
2. Ruszkowski J. T cells in IgA nephropathy: role in pathogenesis, clinical significance and potential therapeutic target / Ruszkowski J [et al.] // Clinical and Experimental Nephrology. 2019;23:291–303.

## МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЖНОГО ПОКРОВА ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ СЕМЕЙСТВ СОБАЧИХ (*CANIDAE*) И КОШАЧЬИХ (*FELIDAE*) ЦЕНТРАЛЬНОЙ БЕЛАРУСИ

## MEDICAL-ECOLOGICAL AND CYTOGENETIC ASSESSMENT OF INDICATORS OF THE SKIN OF DOMESTIC ANIMALS OF THE CANINE FAMILY (*CANIDAE*) AND FELIDS (*FELIDAE*) OF CENTRAL BELARUS

**A. Н. Семак, Е. Г. Бусько, В. А. Стельмах**

**A. N. Semak, Eu. G. Buśko, V. A. Stelmakh**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
Минск, Республика Беларусь  
Semak\_89@List.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Изучение генезиса домашних животных в зоогеографическом, филогенетическом и цитогенетическом аспектах позволил выявить закономерности возникновения и развития различных заболеваний и выполнить прогноз их динамики в связи с изменениями комплекса условий их обитания. Установлено, что среди обследуемой группы собак в 80,3% случаях составили доброкачественные новообразования, в 19,7% случаев диагностирована возможность возникновения и развития злокачественных новообразований. Злокачественные новообразования кожи среди обследуемых кошек выявляются чаще и составляют 63,0%, доброкачественные – 37,0%, соответственно.

The study of the genesis of domestic animals in zoogeographic, phylogenetic and cytogenetic aspects allowed us to identify patterns of occurrence and development of various diseases and to predict their dynamics in connection with changes in the complex conditions of their habitat. It was found that among the examined group of dogs in 80,3% of cases were benign neoplasms, in 19,7% of cases the possibility of the occurrence and development of malignant neoplasms was diagnosed. Malignant neoplasms of the skin among the examined cats are detected more often and make up 63,0%, benign – 37,0%, respectively.

*Ключевые слова:* ксенобиотики, тератогены, цитогенетика, биота, генетическая токсикология, экологическая генетика, ветеринарная цитология.

*Key words:* xenobiotics, teratogens, anthropogenic, cytogenetics, biota, genetic toxicology, ecological genetics, veterinary cytology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-107-110>

Кожа является важнейшим органом человека и животных, служащим защитным барьером от действия экзогенных факторов: физических, химических, в т. ч. и микробных патогенов [1, 2]. Генетическая основа заболеваний кожного барьера широко постулируется как фактор риска возникновения и развития конкретных кожных заболеваний как у человека, так и у животных [3, 4]. Определенные породы собак и кошек проявляют предрасположенность к кожным болезням. В этой связи для постановки окончательного диагноза требуется проведение дополнительных лабораторных анализов, в том числе тщательных патогитогистологических исследований [5].

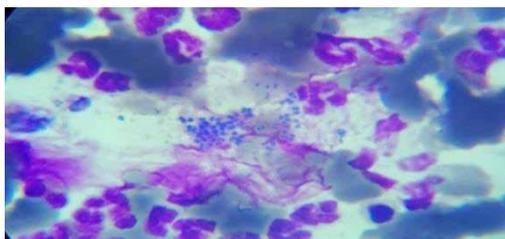
Объектом настоящих исследований явились биоптаты с пораженных участков кожи и ее производных, слизистых, лимфатических узлов и новообразований кожных покровов животных семейств собачьих (*Felidae*) и кошачьих (*Canidae*) центральной Беларуси, полученные на базе ветеринарной клиники ООО «ВэллВет». Предметом исследования – цитогенетические исследования анализируемых цитопатологических препаратов; всего было проанализировано 515 цитологических образцов.

### **1. Результаты проведенной дифференциальной диагностики паттернов воспаления и выявления их частоты встречаемости среди собак.**

В представленном исследовании общее количество цитопатологических препаратов воспалительного типа составило 260 образцов. Септическое нейтрофильное воспаление является преобладающим и установлено для 95% патологий. В рамках этого воспалительного процесса, основная популяция клеток представлена нейтрофилами, составляющими до 80-95% от всего числа клеток (рис. 1). В результате проведенных исследований установлено, что нейтрофильный воспалительный тип цитологического препарата, является одним из наиболее встречаемых у собак (таблица 1).

*Таблица 1 – Дифференциальная диагностика паттернов воспаления среди собак*

Паттерн воспаления	Выявленные патологии, (n=)	Экстенсивные коэффициенты, %
Септическое нейтрофильное воспаление	247	95,0
Стерильное нейтрофильное воспаление	1	0,4
Нейтрофильное и макрофагальное воспаление	8	3,1
Эозинофильное воспаление	4	1,5



*Рис. 1 – Септическое нейтрофильное воспаление.*

*Бактериальный перерост (кокки)*

*Увеличение X 1 000*

### **2. Результаты проведенной дифференциальной диагностики паттернов воспаления и выявления их частоты встречаемости среди кошек.**

В исследовании общее количество воспалительной цитологии кожи и слизистых среди кошек выявлено в 152 образцах. Наиболее часто встречающимся типом воспаления у кошек является эозинофильное воспаление (65,1%). В таблице 2 представлены результаты дифференциации и частоты встречаемости паттернов воспаления среди кошек.

*Таблица 2 – Дифференциальная диагностика паттернов воспаления среди кошек*

Паттерны воспаления	Выявленные патологии, (n=)	Экстенсивные коэффициенты, %
Септическое нейтрофильное воспаление	48	31,6
Нейтрофильное и макрофагальное воспаление	3	2,0
Эозинофильное воспаление	99	65,1
Лимфоцитарно-плазмоцитарное воспаление	2	1,3

### **3. Результаты дифференциальной диагностики новообразований кожи и выявленная частота встречаемости злокачественных новообразований кожи среди собак.**

Около 2/3 всех новообразований кожи собак представляют собой одиночные доброкачественные новообразования, сформированные эпителиальными клетками или аднексальными структурами [1-3] (таблица 3).

Таблица 3 – Дифференциальная диагностика новообразований кожи собак

Вид новообразования	Выявленные патологии, (n=)	Экстенсивные коэффициенты, %
Меланоцитарные опухоли (меланома/меланоцитома)	3	4,0
Лимфома	2	2,6
Гистиоцитома	9	11,8
Мастоцитома	12	15,8
Липома	22	29,0
Аденома церуменозной железы	2	2,6
Аденома сальной железы	4	5,3
Кератиновая фолликулярная киста	3	4,0
Фибросаркома	3	4,0
Гиперплазия сальных желез	13	17,1
Фиброма	2	2,6
Эпулис	1	1,3

Согласно результатам проведенных настоящих исследований установлено, что 80,3% составили доброкачественные новообразования, в 19,7% случаев диагностирована возможность возникновения и развития злокачественных новообразований.

Случай меланомы был зарегистрирован у русского черного терьера (рис.2). Собаки этой породы имеют генетическую предрасположенность к данной онкопатологии.



Рис. 2 – Меланома кожи у собак. Препарат сформирован меланоцитами поодиночке и эпителиально-подобными псевдогруппами. Меланин визуализируется в цитоплазме и по фону микропрепарата. Увеличение  $\times 1\ 000$

Мастоцитома собак является злокачественной опухолью, которая возникает из тучных клеток кожи (рис. 3).

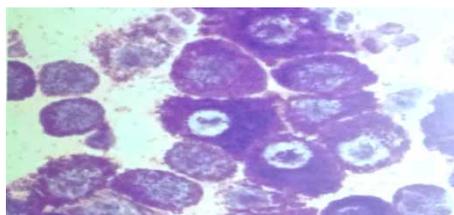


Рис. 3 – Высокодифференцированная мастоцитома у собак. Препарат сформирован мастоцитами с хорошо визуализированными округло – овальными ядрами и фиолетовыми гранулами, которые присутствуют на фоне препарата. Увеличение  $\times 1\ 000$

Липома у собак является доброкачественной неоплазией подкожных адипоцитов. (рис. 4).

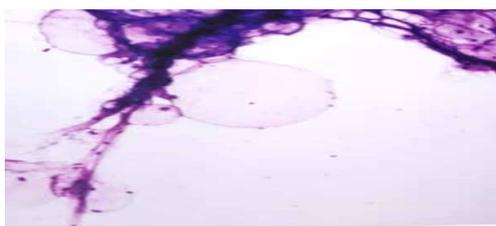


Рис. 4 – Группа зрелых адипоцитов. Липома у собак. Увеличение  $\times 1\ 000$

Липосаркомы у собак встречаются реже липом возникают из липобластов подкожной жировой клетчатки.

#### **4. Результаты проведенной дифференциальной диагностики новообразований кожи и выявленная частота встречаемости злокачественных новообразований кожи среди кошек.**

Выявлено, что среди кошек злокачественные новообразования регистрируются чаще, чем доброкачественные. Этиология новообразований мелких домашних животных в большинстве случаев остается неизученной. Из числа известных этиологических факторов необходимо отметить воздействие тератогенов, гормонов, а также вирусные инфекции и генетические факторы [4].

Таблица 4 – Дифференциальная диагностика новообразований кожи кошек

Вид новообразования	Выявленные патологии, (n=)	Экстенсивные коэффициенты, %
Лимфома	1	3,7
Мастоцитомы	12	44,4
Липосаркома	2	7,4
Аденома церуменозной железы	1	3,7
Кератиновая фолликулярная киста	1	3,7
Фибросаркома	3	11,1
Гиперплазия сальных желез	7	25,9

В результате проведенных цитологических исследований было выявлено, что злокачественные новообразования кожи среди обследуемых кошек выявляются чаще и составляют 63,0% всех изученных случаев, а доброкачественные 37,0%, соответственно. Мастоцитомы составила 44,4% выявленных патологий, фибросаркома 11,11%, липосаркома – 7,4%, лимфома – 3,70%, аденома церуменозной железы – 3,7%, гиперплазия сальных желез – 25,9% случаев.

Фибросаркома является злокачественным новообразованием кошек, которое развивается в коже, а также в мягких тканях (рис. 5).

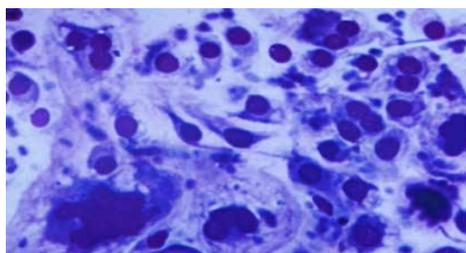


Рис. 5 – Фибросаркома кошек. Препарат сформирован многоядерными клетками с выраженной дисметрией ядер и крупными клетками в состоянии митоза. Выражен анизокариоз.. Увеличение X 1 000

Установлено, что воздействие экзогенных факторов на организм домашних животных носит кумулятивный характер и в последующем индуцирует развитие структурных аномалий в соматических клетках. В результате проведенных эпидемиологических исследований, подчеркнута значимость факторов окружающей среды в развитии онкопатологий домашних животных.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Candi, E.* The cornified envelope: a model of cell death in the skin // *Mol. Cell. Biol.* – 2005. Vol. 30. № 6. – P. 328- 40.
2. *Elias, P. M.* “Outside-to-inside” (And now back to “outside”) pathogenic mechanisms in atopic dermatitis // *Invest Dermatol.* – 2008. Vol.227. № 128. – P. 1067-1070.
3. *Sugarman, J.L.* The epidermal barrier in atopic dermatitis // *Semen Ceutan Med Surg.* – 2008. Vol. 57, № 27. – P.108-114.
4. *Proksch, E., Brandtner, J.M., Jensen, J.M.* The skin: an indispensable barrier // *Invest Dermatol.* – 2008. Vol. 336. № 17. – P. 1063-1072.
5. *Ishida, R.* Antigen-specific histamine release in dogs with food hypersensitivity // *Vet Med.*– 2003. Vol.183. № 65. – P. 435- 438.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
МУЛЬТИПОТЕНТНЫХ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ  
КЛЕТОК ДОНОРОВ РАЗНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП  
THE COMPARISON OF MULTIPOTENT MESENCHYMAL  
STROMAL CELLS IN DONORS OF DIFFERENT AGE GROUPS**

**Ю. В. Сердюков<sup>1</sup>, А. Ю. Адамович<sup>2</sup>, В. К. Шадрина<sup>2</sup>, Д. Б. Нижегородова<sup>1,2</sup>  
Yu. V. Serdukov<sup>1</sup>, A. Yu. Adamovich<sup>2</sup>, V. K. Shadrina<sup>2</sup>, D. B. Nizheharodava<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Белорусская медицинская академия последипломного образования  
г. Минск, Республика Беларусь  
georg-med@tut.by*

<sup>1</sup>*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education, Minsk, Republic of Belarus*

В настоящей работе исследованы морфо-функциональные характеристики (жизнеспособность, экспрессия иммунофенотипических маркеров, пролиферативный и дифференцировочный потенциал, иммуносупрессивные свойства) мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток, полученных от доноров разных возрастных групп.

The morpho-functional characteristics (viability, sterility, immunophenotype, proliferative and differentiation potential, immunosuppressive properties) of multipotent mesenchymal stromal cells obtained from donors of different age groups are presented in this work.

*Ключевые слова:* мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки, доноры, фенотип, пролиферация, дифференцировка, иммуносупрессия.

*Keywords:* multipotent mesenchymal stromal cells, donor, phenotype, proliferation, differentiation, immunosuppression.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-111-114>

Клеточная трансплантология, также известная как клеточная терапия представляет собой комплекс терапевтических подходов, основанных на инфузии биомедицинского клеточного продукта в организм пациента. Одним из широко известных и стремительно развивающихся направлений клеточной трансплантологии является терапия стволовыми клетками – недифференцированными клетками, имеющимися у многих видов многоклеточных организмов [1]. На сегодняшний день стволовые клетки в зависимости от происхождения делят на три категории: эмбриональные, фетальные и взрослые стволовые клетки. Эмбриональные стволовые клетки представляют собой стволовые клетки, выделяемые из ранних эмбрионов (на этапе бластоцисты или из полового зачатка 5-недельных эмбрионов) или тератокарциномы (опухолевой линии) *in vitro*. Фетальные стволовые клетки – клетки, находящиеся в пуповинной крови, плаценте, способные трансформироваться в разные типы клеток (мультипотентные клетки) [2]. Среди стволовых клеток взрослого организма выделяют: гемопоэтические стволовые клетки (присутствуют в кроветворных органах и крови, способны давать начало различным росткам кроветворения); мезенхимальные (стромальные) стволовые клетки (МСК) (находятся в костном мозге, жировой ткани и других тканях и обладают способностью к дифференцировке в различных направлениях); тканеспецифические стволовые клетки (локализуются регионарно в соответствующих тканях и дифференцируются в клетки данных тканей) [3].

В настоящий момент доказано, что поддержание и возобновление клеточного состава практически всех тканей организма человека, включая эпителий кожи и кишечника, печень, скелетные мышцы и миокард, происходят благодаря пролиферации и дифференцировке соответствующих тканеспецифических клеток и МСК. В связи с этим, перспективным направлением клеточной терапии является использование культур МСК и биомедицинских клеточных продуктов, полученных на их основе. МСК представляют немногочисленную популяцию фибробластоподобных клеток стромы, для которых характерны такие общие свойства как способность к симметричному и асимметричному делению, высокий пролиферативный потенциал, способность к адгезии, фибробластоподобная морфология, образование колоний в культуре, легко индуцируемая дифференцировка [4].

Однако, согласно литературным данным функциональный потенциал МСК может определяться возрастом организма, из которого МСК получены. При этом рядом авторов показаны противоположные результаты [4, 5]. В одних исследованиях поддерживается гипотеза отрицательной корреляции между возрастом и пролиферативной способностью и установлено возрастное снижение пролиферативной способности, сопровождаемое сокращением дифференцировочного потенциала и полное снижение остеогенного потенциала. Другими авторами

установлена положительная корреляция между остеогенезом и маркерами, такими как коллаген 1-го типа, специфическая щелочная фосфатаза, активность и концентрация кальция, и возраст донора при остеодифференцировке. Показано, что МСК от пожилых доноров способны выдержать остеодифференцирование, и при этом не наблюдалось уменьшение в остеогенном потенциале МСК. Также не выявлены возрастные изменения в числе колониобразующих единиц МСК и не обнаружены эффекты репликативного старения, а, наоборот, показано, что число и пролиферативная способность МСК оставались в норме с течением времени.

В связи с этим целью данной работы явилось оценка морфо-функциональных характеристик мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток, полученных от доноров разных возрастных групп.

### Материалы и методы исследования

Материалом исследования явились образцы костного мозга объемом 40 мл, полученные от доноров молодого (группа 1), среднего (группа 2) и пожилого (группа 3) возраста (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика материала исследования

Группы доноров	n	Возраст, лет	Количество выделенных мононуклеарных клеток	Полученные пассажи культур МСК
Группа 1	5	19–30	$10,14 \times 10^7$ ( $5,03 \times 10^7 \div 10,60 \times 10^7$ )	P <sub>0</sub> –P <sub>2</sub>
Группа 2	6	48–53	$11,33 \times 10^7$ ( $8,32 \times 10^7 \div 9,79 \times 10^7$ )	P <sub>0</sub> –P <sub>2</sub>
Группа 3	2	63–65	$12,00 \times 10^7$ ( $10,44 \times 10^7 \div 13,34 \times 10^7$ )	P <sub>0</sub> –P <sub>2</sub>

Для выделения МСК суспензию пунктата костного мозга разводили в физиологическом растворе (ФР) в соотношении 2:1 и центрифугировали в течение 30 мин при 1500 об/мин на градиенте плотности ROTI®Sep 1077 (CarlRoth, Германия). Полученное кольцо мононуклеаров костного мозга двукратно отмывали центрифугированием в ФР с добавлением 5% эмбриональной телячьей сыворотки (ЭТС, Lonza, Германия) при 1500 об/мин в течение 10 мин. Полученную суспензию клеток, содержащую МСК, в дальнейшем культивировали в чашках Петри (d=100 мм) в концентрации  $3,7 \times 10^7$  клеток на чашку в полной культуральной среде на основе DMEM (Invitrogen, Великобритания) с 10% содержанием ЭТС, 1% L-глутамин (Sigma, Германия) и 1% антибиотика-антимикотика (Sigma, Германия) при 37°C в атмосфере с 5% содержанием CO<sub>2</sub> в CO<sub>2</sub>-инкубаторе. Через сутки после посева, при полной смене питательной среды, удаляли неадгезированные клетки. В течение всего срока культивирования смену среды проводили каждые 3–4 суток. При достижении первичной культуры МСК субконфлюэнтности клетки пересевали для получения 1-го и последующих пассажей с использованием 0,025% раствор трипсина с ЭДТА (Sigma, Германия). Фермент инактивировали добавлением 5% ЭТС в ФР. Суспензию клеток после двукратного отмывания в ФР с 5% ЭТС высевали в концентрации  $3 \times 10^5$  клеток в чашку Петри в полной питательной среде. Для микроскопии и мониторинга культур использовали инвертированный микроскоп Axiovert 200 (CarlZeiss, Германия). Все этапы получения и культивирования МСК проводили в стерильных условиях. Микробиологический контроль стерильности культур МСК проводили путем посева по 1000 мкл культурального супернатанта в пробирки со средой Сабуро, тиогликолевой средой и питательным бульоном.

Жизнеспособность МСК рассчитывали по окрашиванию суспензии 0,4%-ным раствором трипанового синего в ФР в камере Горяева на 100 клеток. Пролиферативная активность МСК оценивалась путем подсчета числа (ЧУП) и времени (ВУП) удвоения клеточных популяций по формулам (1) и (2):

$$\text{ЧУП} = \log_{10} (n/N) \times 3.33 \quad (1)$$

где n – начальное количество клеток, N – конечное количество клеток

$$\text{ВУП} = \text{время роста культуры (дни)} / \text{ЧУП} \quad (2)$$

Для характеристики мультипотентности МСК оценивали их способность дифференцироваться в остео-, адипо- и нейрогенном направлениях в специализированных средах: в адипогенном и остеогенном направлениях использовали полную культуральную среду DMEM, содержащую индукторы адипогенеза (50 мкг/мл аскорбиновой кислоты,  $10^{-7}$  М дексаметазона, 50 мкг/мл индометацина) или остеогенеза ( $10^{-8}$  М дексаметазона, 50 мкг/мл аскорбиновой кислоты, 10 мМ глицерол-2-фосфата). Для нейрогенной дифференцировки использовали среду NeuroCult с нейрогенной добавкой (Stem Cells Technology, Канада). В контрольных культурах клеток клетки культивировали в стандартной среде. По истечении 4 недель культивирования в полученных средах культуры клеток окрашивали красителями OilRed O и AlizarinRed (Sigma, Германия) для подтверждения адипогенной и остеогенной дифференцировки, соответственно.

Определение фенотипа МСК осуществляли методом проточной цитометрии с использованием 5-канального проточного цитометра Cytotflex (BeckmanCoulter, США) и панели моноклональных антител CD90-FITC, CD44-FITC, CD105-PE, CD31-FITC, CD14-ECD, CD34-APC, CD45-PC7, CD271-PE (Beckman Coulter, США, R&D, Канада). Клетки инкубировали с соответствующими антителами или негативными контролями в течение 15 мин в темноте при комнатной температуре. Регистрацию результатов осуществляли на 10 000 событий.

Для оценки способности МСК супрессировать митоген-индуцированную пролиферацию Т-лимфоцитов мононуклеары периферической крови (МПК) доноров, окрашенные карбоксифлуоресцеином (CFSE, Fluka, Германия) культивировали в концентрации  $2 \times 10^6$  клеток/лунку 96-луночного круглодонного планшета в полной культуральной среде, содержащей 2,5 мкг/мл фитогемагглютинаина (ФГА, Sigma, Германия) в присутствии МСК ранних пассажей или в их отсутствие в течение 6 дней при 37°C в атмосфере с 5% содержанием CO<sub>2</sub>. Регистрацию количества пролиферирующих и непролиферирующих Т-клеточных субпопуляций осуществляли на 6-й день культивирования методом проточной цитофлуорометрии с использованием моноклональных антител CD3-PC7 (Beckman Coulter, США). Пролиферацию Т-лимфоцитов и их субпопуляций оценивали как процент непролиферирующих (CFSE<sup>high</sup>) и пролиферирующих (CFSE<sup>low</sup>) Т-клеток. Результаты регистрировались на 20000 событий в случае. На основании полученных данных рассчитывали коэффициент супрессии МСК митоген-индуцированной пролиферации Т-лимфоцитов  $k$  (%), отражающий степень выраженности ингибирующего влияния МСК на клеточное деление, согласно формуле (3).

$$k = 100 - \frac{\Pi_{\text{Т+МСК}}}{\Pi_{\text{Т}}} \times 100 \quad \% \quad (3)$$

где  $\Pi_{\text{Т+МСК}}$  – количество поделившихся Т-лимфоцитов в ко-культуре МПК и МСК, стимулированной митогеном, %;  $\Pi_{\text{Т}}$  – количество поделившихся Т-лимфоцитов в культуре МПК, стимулированной митогеном, %. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета Statistica 8.0.

### Результаты и обсуждение

Морфология культур МСК исследуемых групп доноров статистически значимо не отличалась. Во всех культурах к 20-30 суткам культивирования формировалось большое количество варьирующих по размеру колоний веретеновидных фибробластоподобных клеток с многочисленными межклеточными контактами, и появлялся равномерный конглоэнтный монослой вихреобразно растущих клеток (рисунок 1).

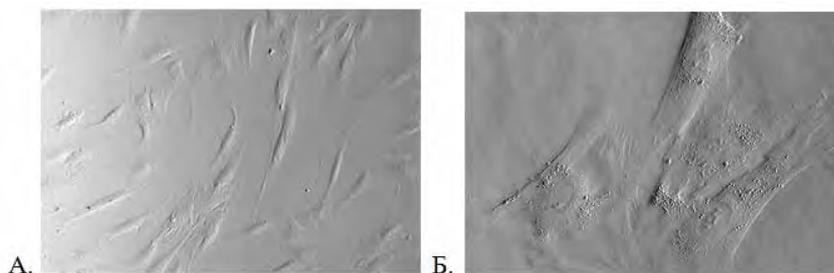


Рис.1 – Морфология культур МСК 1-го пассажа на 10-е сутки: А – ув.100×; Б – ув.400×

Жизнеспособность и пролиферативный потенциал культур МСК представлены в таблице 2. При сохранении высоких показателей жизнеспособности в группе 3 доноров пожилого возраста наблюдалось снижение показателей ЧУП и увеличение ВУП относительно группы 1 и 2 ( $p < 0,05$ ), что свидетельствует о замедлении скорости пролиферации клеточных культур.

Таблица 2 – Жизнеспособность, число и время удвоения культур МСК

Группы доноров	Жизнеспособность, %	Концентрация МСК с 1 чашки Петри (d=100мм)	Число удвоение популяции	Время удвоение популяции, дни
Группа 1	88 (85,5÷91)	$62,0 \times 10^7$ (48÷67,1)	2,63 (1,08÷3,7)	24 (20÷28)
Группа 2	90 (86,75÷92,75)	$52,4 \times 10^7$ (18,85÷80,75)	2,21 (1,67÷3,29)	26 (20÷31)
Группа 3	89 (86,25÷91,55)	$35,5 \times 10^7$ (30,75÷40,25)	1,54 (0,01÷3,58)	35 (32÷37)

В ходе исследования не установлено принципиальных различий в способности клеточных культур МСК доноров различного возраста дифференцироваться в адипоциты. Во всех исследуемых группах в ответ на адипогенную стимуляцию до 90% клеток в течение 2 недель формировали липидные включения, отчетливо заметные после окрашивания жирорастворимым красителем. При культивировании МСК в среде с остеогенными факторами на 21 сутки наблюдалось образование кальций-содержащего матрикса, что подтверждалась окраской ализариновым красным, в то время как в контрольных культурах окрашивание отсутствовало. По аналогии с адипогенной дифференцировкой не установлено принципиальных различий в способности клеточных культур МСК дифференцироваться в остеогенном направлении. Морфологическая характеристика культур МСК, культивируемых по протоколу нейрогенной дифференцировки, выявила выраженные изменения во всех группах доноров, а именно, округление клеток и утрату фибробластоподобной морфологии с группированием во флотирующие сферические агрегаты клеток – нейросферы к 7-м суткам. По мере культивирования нейросферы увеличивались в размере за

счет пролиферации клеток в них и представляли собой шаровидные структуры, содержащие 100 и более клеток, предположительно, находящиеся на различных этапах нейральной дифференцировки.

При анализе экспрессии поверхностных белков установлено, что культуры МСК исследуемых групп экспрессировали на высоком уровне CD90, CD105, CD44 и CD271. При этом содержание в исследуемой культуре клеток, экспрессирующих стандартные антигены CD90, CD105, CD44, составило более 90%, и экспрессирующих специфических рецептор к фактору роста нервов (CD271) – более 60%. Вместе с тем отсутствовала экспрессия маркера гемопоэтических стволовых клеток CD34, маркера гемопоэтических клеток CD45, маркера моноцит/макрофагальной фракции клеток CD14, маркеров эндотелиальных клеток CD31. Таким образом, иммунофенотип исследуемых клеточных культур определялся как CD90+CD105+CD44+CD271+CD34-CD45-CD14-CD31 и сохранял свою стабильность в течение длительного культивирования во всех группах.

Для характеристики *in vitro* иммуномодулирующего эффекта МСК на митоген-индуцированную пролиферацию Т-лимфоцитов проведена оценка количества пролиферирующих CD3<sup>+</sup>Т-клеток в ко-культурах МПК и МСК и в культурах МПК, стимулированных митогеном ФГА. Показано, что под действием неспецифического активатора пролиферации ФГА наблюдается снижение интенсивности флюоресценции и смещение пика влево с увеличением количества CFSE<sup>low</sup>Т-лимфоцитов, что свидетельствует о высокой пролиферативной активности Т-лимфоцитов. Количество поделившихся клеток составило 70,1%. Добавление МСК в культуру клеток МПК резко снижало *in vitro* пролиферацию Т-лимфоцитов, что выражалось в уменьшении количества поделившихся CFSE<sup>low</sup> клеток при культивировании.

Установлено, что иммуносупрессивная способность МСК в отношении митоген-стимулированной пролиферации Т-лимфоцитов статистически значимо не отличалась в исследуемых возрастных группах: коэффициенты супрессии составили 58,7 % (47,1 % ÷ 66,8 %), 57,9 % (54,7 % ÷ 66,2 %) и 52,4 % (47,7 % ÷ 63,5 %), соответственно, у клеточных культур МСК, полученных от молодых доноров и доноров среднего и пожилого возраста.

### Заключение

В результате выполненных исследований разработаны критерии контроля качества МСК, включающие оценку жизнеспособности клеточных культур, пролиферативный потенциал, экспрессию иммунофенотипических маркеров, определение дифференцировочной способности, характеристику иммуносупрессивного потенциала у доноров различных возрастных групп. Сравнительная характеристика морфо-функциональных критериев культур МСК в зависимости от возраста источника материала показала отсутствие статистически значимых различий в морфологии, фенотипе, дифференцировочном и иммуносупрессивном потенциале культур, в то время как пролиферативная способность статистически значимо снижалась в культурах МСК, полученных от доноров пожилого возраста, что необходимо учитывать при подготовке биомедицинского клеточного продукта мультипотентных МСК для клеточной терапии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Зафранская, М. М. Методологический подход к оценке иммуномодулирующего действия клеточной терапии у пациентов с рассеянным склерозом после аутологичной трансплантации мезенхимальных/стромальных стволовых клеток / М.М. Зафранская, А.С. Федулов, Д.Б. Нижегородова и др. // Инновационные технологии в медицине. 2013;1(1):39–51.
2. Калинина, Н. И. Мезенхимальные стволовые клетки в процессах роста и репарации тканей / Н.И. Калинина, В.Ю. Сысоева, К.А. Рубина и др. // Acta naturae. 2011;3:4(11):32–39.
3. Lopatina T. Adipose-derived stem cells stimulate regeneration of peripheral nerves: BDNF secreted by these cells promotes nerve healing and axon growth de novo / T. Lopatina, N. Kalinina, M. Karagyaur, D. Stambolsky [et al.] // PLoS One. 2011;6:e178–199.
4. Wagner W. Aging and replicative senescence have related effects on human stem and progenitor cells / Wagner W, Bork S, Horn P, Krunic D, Walenda T, Diehlmann A [et al.] // PLoS One. 2009;4(6):e5846.
5. Veronesia F. Mesenchymal stem cells in the aging and osteoporotic population / Veronesia F, Torricellia P, Borsarib V, Tschon M, Rimondinic L, Fini M // Critical Reviews in Eukaryotic Gene Expression. 2011;21(4):363–377.

**ВЛИЯНИЕ цАМФ И НЕЛАРАБИНА  
НА ФИБРИЛЛООБРАЗОВАНИЕ МОЛЕКУЛЫ ИНСУЛИНА  
cAMP AND NELARABINE EFFECTS  
ON THE FIBRIL FORMATION OF THE INSULIN MOLECULE**

**О. А. Соколович, Н. В. Богданова, В. В. Саган, К. Я. Буланова  
O. Sokolovich, N. Bogdanova, V.Sagan, K. Bulanova**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
helgahawk23@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В результате проведенного исследования представлены данные о влиянии цАМФ и неларабина на фибриллообразование молекул инсулина. В экспериментах *in vitro* выявлено, что данные вещества снижают процесс фибриллообразования.

As a result of studies, information of the influence of cAMP and nelarabine on the processes of fibrillation of insulin molecules is presented. *In vitro* experiments revealed that cAMP and nelarabine reduces the process of fibrillation.

*Ключевые слова:* инсулин, фибриллообразование, цАМФ, неларабин.

*Keywords:* insulin, fibril formation, cAMP, nelarabine.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-115-117>

Исследование структуры упорядоченных белковых агрегатов – амилоидных фибрилл, влияния нативной структуры белка и внешних условий на процесс фибриллообразования в настоящее время является весьма важной темой для исследований. Особенно это стало актуально, когда выяснилось, что неправильная укладка некоторых белков может стать причиной патологических агрегаций и приводить к развитию многих нейродегенеративных заболеваний, таких как болезни Альцгеймера и Паркинсона, сахарного диабета второго типа, Бокового Амиотрофического склероза (БАС) и др. Но следует отметить, что не все амилоиды и различные амилоидоподобные фибриллы ассоциированы с нейродегенеративными заболеваниями и это свойство присуще многим белкам. Но, несмотря на такое разнообразие белков, образованные амилоидные фибриллы на первый взгляд подобны между собой и представляют уложенные в стопку антипараллельные  $\beta$ -структуры, направленные перпендикулярно оси фибриллы [2].

Амилоидные фибриллы могут быть прямыми или перекрученными, могут содержать много протофиламентов, которые выстраиваются параллельно оси фибриллы или закручиваться относительно друг друга. Можно представить, что амилоидные фибриллы представляют собой закрученные в спираль антипараллельные  $\beta$ -листы, внутри спирали образуется полость, подобно цилиндру [3].

На кинетику формирования инсулиновых фибрилл (и других амилоидогенных белков) влияют многие факторы окружающей среды: концентрация белка, pH, ионная сила раствора, состав среды (анионы, катионы), присутствие денатурирующих агентов (мочевина) или стабилизаторов (сахароза), температурный режим. Важное отличие сворачивания белка в нативную структуру от формирования амилоидных фибрилл заключается в том, что при сворачивании в нативную структуру предполагается соответствие между последовательностью аминокислот и уникальностью свернутого состояния, тогда как при амилоидообразовании одна и та же полипептидная последовательность может формировать фибриллы разной морфологии. В настоящий момент можно выделить три пути образования амилоидных фибрилл инсулиновых молекул в зависимости от размера ядра. Во-первых, предполагается, что фибриллогенез может происходить прямо при сборке инсулиновых мономеров. Во-вторых, предполагается, что предшественниками фибрилл являются димеры. В-третьих, предшественниками фибрилл являются олигомеры [2].

Конформационные заболевания возникают, когда эндогенный белок претерпевает изменения в форме, что приводит к самоассоциации этого белка. В ходе нормального биосинтеза белка происходит неправильное свертывание. Хотя конформационные изменения происходят при нормальной переработке белка, восприимчивость конкретного белка к агрегации и генетическая или экологическая предрасположенность к болезням могут подавлять механизмы контроля качества клетки. В условиях устойчивого стресса эндоплазматического ретикулаума (ЭР) эти механизмы контроля качества оказываются недостаточными. Высокие концентрации мутантного белка со временем приводят к агрегации и медленному отложению в тканях. Эта длительная последовательность событий может частично объяснить относительно позднюю клиническую картину многих конформационных заболеваний [1].

Эти заболевания возникают из-за вторичных или третичных структурных изменений внутри составляющих белков с последующей агрегацией этих измененных белков. При прионных заболеваниях Куру и Крейцфельда-Якоба белки, имеющие в основном спиральную структуру, преобразуются в бета-складчатую конфигурацию листа. На самом деле, конформационные заболевания часто содержат белок, который агрегирует в бета-листовых связях. Бета-плиссированные листы образованы чередующимися пептидными цепями, которые связаны водородными связями между их выровненными плиссированными структурами. Это особенность системных амилоидозов, нейродегенеративных заболеваний и сахарного диабета 2-го типа (СД2). Различные клинические проявления этих заболеваний, а также тот факт, что некоторые из них почти исключительно связаны с генетическим дефицитом (например, болезнь Хантингтона), в то время как другие, такие как СД2, могут иметь относительно сильное влияние окружающей среды (ожирение), могут показаться противоречивыми группировками на основе конформационных аномалий [1].

При изучении процессов сворачивания-разворачивания белков и свойств возникающих при этом частично и неправильно свернутых состояний и их агрегированных форм используются флуоресцентные методы, основанные на регистрации естественной флуоресценции белков. Широко используются тиофлавин Т (ThT), образующий интенсивно флуоресцирующий комплекс с амилоидными фибриллами. При этом ThT не взаимодействует с белками в нативных, полностью развернутых и частично свернутых денатурированных состояниях типа расплавленной глобулы, а также с аморфными агрегатами белков, а специфически взаимодействует только с белками в состоянии амилоидных фибрилл. Благодаря своим уникальным флуоресцентным свойствам ThT является идеальным средством для диагностики появления амилоидных фибрилл в различных тканях и органах. Более того, именно тестирование амилоидных фибрилл с использованием флуоресценции ThT стало явным условием в его исследовании *in vitro*.

Объектом исследования является белок инсулин. Инсулин – это глобулярный белок, состоящий из двух цепей: А и В. Полипептидные цепи соединяются двумя дисульфидными мостиками через остатки цистеина, третья дисульфидная связь расположена в А цепи. Белковый гормон инсулин синтезируется в  $\beta$  клетках островков Лангерганса поджелудочной железы, где он находится в виде  $Zn^{2+}$ содержащего гексамера. Гексамер формируется из трех инсулиновых димеров, удерживаемых вместе за счет двух ионов цинка. Для проникновения в кровяное русло инсулиновый гексамер первоначально распадается на димеры, а затем на  $Zn^{2+}$  свободные мономеры, которые могут только в таком виде эффективно проникать в кровяное русло. Мономерная и димерная формы инсулина сильно предрасположены к агрегации.

Для получения фибрилл из инсулина его инкубирования в течении 24 ч при температуре 37°C. Инсулин взят в количестве 1 мг на 2 мл трис-НСI буферного раствора, рН=7.4. Для контроля за процессом фибриллообразования инсулина был также использован зонд ThT.

Измерение проводилось с помощью спектрофлуориметра RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Для измерения брали 10 мкл пробы, 1 мл Tris, 1 мл дистиллированной воды и 10 мкл зонда. В качестве веществ, замедляющих фибриллообразование, использовали цАМФ в концентрациях  $10^{-4}M$ ,  $10^{-5}M$ ,  $10^{-6}M$ ,  $10^{-7}M$ ,  $10^{-8}M$  и неларабин в концентрациях  $10^{-4}M$ ,  $10^{-5}M$ ,  $10^{-6}M$ ,  $10^{-7}M$ ,  $10^{-8}M$  по 10мкл соответственно. Инсулин был помещен в стрессовые для молекулы условия: механическое воздействие. Вследствие этого, молекулы инсулина утрачивают нативную структуру и переходят в амилоидную форму.

В ходе проведенного исследования было получено, что интенсивность флуоресценции, в пробе с инсулином, составляет  $51,826 \pm 1,114$  относительных единиц (отн. ед.), после инкубирования в течение суток и при температуре 37°C.

На приведенных рисунках 1, 2 приведены данные сравнительного анализа максимальных величин флуоресценции тиофлавина Т, обусловленных формированием максимального количества фибриллярных структур в контроле (2 мг инсулина/1мл буфера) и при введении 10 мкл цАМФ и неларабина соответственно.

Интенсивность флуоресценции в контроле и при добавлении цАМФ в концентрации  $10^{-8} M$  составляет  $8,472 \pm 0,408$  отн.ед., а при концентрации  $10^{-4} M$  составляет  $12,477 \pm 2,206$  после инкубирования в течение суток и при температуре 37°C.

Интенсивность флуоресценции в контроле и при добавлении неларабина в концентрации  $10^{-8}M$  составляет  $8,318 \pm 0,076$  отн. ед., а при концентрации  $10^{-4}$  составляет  $14,719 \pm 0,299$  после инкубирования в течение суток и при температуре 37°C.

В ходе проведенного исследования было выявлено, что цАМФ в концентрации  $10^{-8} M$  вызывал снижение интенсивности флуоресценции в сравнении с контролем в 6,12 раз, а неларабин в той же концентрации вызывал снижение интенсивности флуоресценции в 6,23 раза; цАМФ в концентрации  $10^{-4}M$  вызывал снижение интенсивности флуоресценции в сравнении с контролем в 4,15 раза, неларабин в концентрации  $10^{-4}M$  вызывал снижение интенсивности флуоресценции в сравнении с контролем в 3,52 раза.

Следовательно снижение интенсивности флуоресценции цАМФ в концентрации  $10^{-8} M$  в 1,47 раза больше, чем при концентрации  $10^{-4}M$ , а снижение интенсивности флуоресценции неларабина в концентрации  $10^{-8}M$  в 1,77 раза больше, чем при концентрации  $10^{-4}M$ .

Уменьшение интенсивности флуоресценции показывает то, что количество образовавшихся фибрилл снизилось. Это значит, что процесс фибриллообразования был снижен; сохранилось большее количество функционально-активных молекул инсулина.

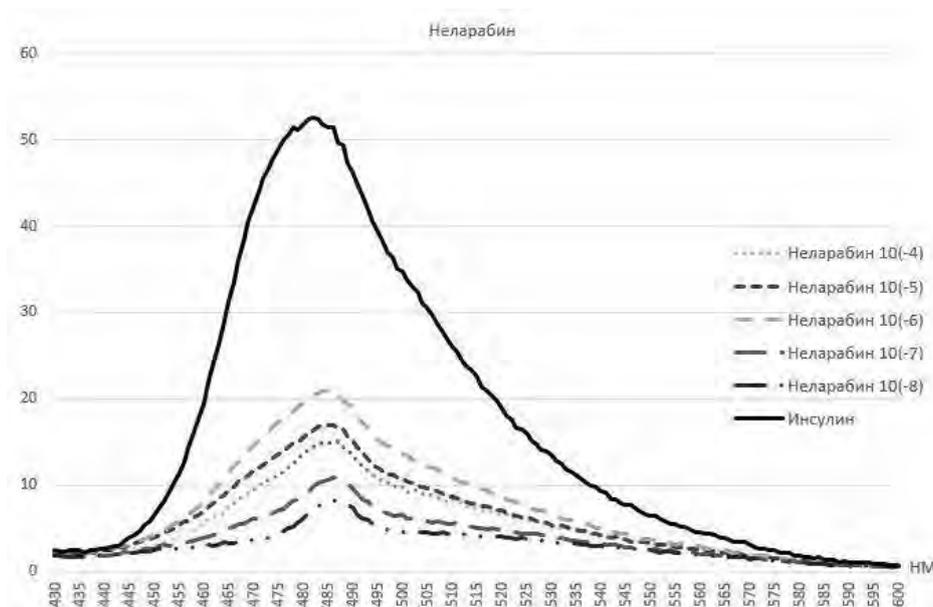


Рис. 1 – Спектр флуоресценции ThT в пробе неларабина

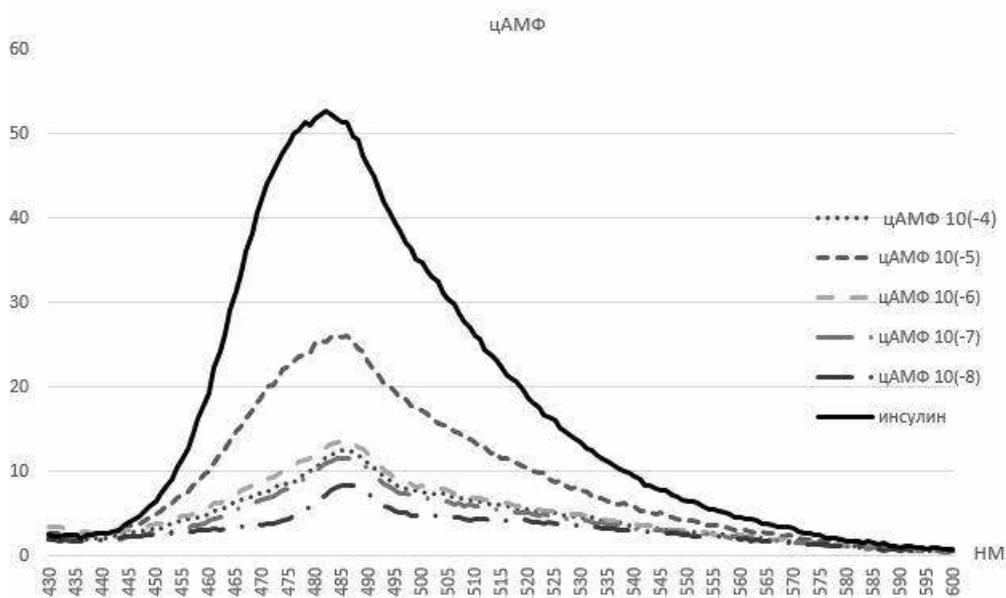


Рис. 2 – Спектр флуоресценции ThT в пробе цАМФ

Исследования в области инсулина направлены на поиски веществ подавляющих фибриллообразование, что в последующем поможет уменьшить риски развития заболеваний, связанных с образованием амилоидных фибрилл таких как: болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона, СД2 и т.д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Hayden MR, Tyagi SC, Kerklo MM, Nicolls MR. Type 2 Diabetes Mellitus as a Conformational Disease / Journal of the Pancreas. 2005;6(4):287–302.
2. Довидченко, Н. В. Механизмы образования амилоидных фибрилл / Н.В. Довидченко, Е.И. Леонова, О.В. Галзитская // Успехи биологической химии. 2014;54:203–230.
3. Селиванова О. М. Структурный полиморфизм и возможные пути образования амилоидных фибрилл на примере белка инсулина/ О.М. Селиванова, О.В. Галзитская // Биохимия. 2012;77:11:1478–1490.

**РАСПРОСТРАНЁННОСТЬ БОЛЕЗНЕЙ СИСТЕМЫ  
КРОВООБРАЩЕНИЯ В РАЗНЫХ ПОЛОВОЗРАСТНЫХ ГРУППАХ**  
**PREVALENCE OF DISEASES OF THE BLOOD CIRCULATION  
SYSTEM AMONG DIFFERENT GENDER AND AGE GROUPS**

***В. Д. Стешин, М. В. Синелёва***  
***V. D. Steshyn, M. V. Sinelyova***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ имени А. Д. Сахарова БГУ*  
*г. Минск, Республика Беларусь*  
*propera.pedem@yandex.ru*  
*Belarusian State University, ISEI BSU*  
*Minsk, Republic of Belarus*

Анализ заболеваемости населения г. Минска болезнями системы кровообращения показал, что наблюдается увеличение как первичной, так и общей заболеваемости различными формами сердечно-сосудистых заболеваний в 2018–19 гг. среди всех половозрастных групп. Наибольшие значения как общей, так и первичной заболеваемости болезнями системы кровообращения для обоих полов наблюдались в возрастной группе старше 60 лет. Лидирующей формой в данной возрастной группе явилась ИБС, протекающая на фоне артериальной гипертензии.

An analysis of the incidence of the population of Minsk with diseases of the circulatory system showed that there is an increase in both the primary and general incidence of various forms of cardiovascular diseases from 2018 to 2019 among different gender and age groups. The highest values of both general and primary morbidity from diseases of the circulatory system for both sexes were observed in the age group over 60 years old. The leading form in this age group was ischemic heart disease, occurring against the background of arterial hypertension.

*Ключевые слова:* ишемическая болезнь сердца, цереброваскулярные заболевания, артериальная гипертензия, болезни системы кровообращения.

*Keywords:* coronary heart disease, cerebrovascular diseases, arterial hypertension, diseases of the circulatory system.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-118-121>

Для Беларуси патология сердечно-сосудистой системы является крайне важной проблемой, поскольку определяет более половины случаев инвалидности и смертности взрослого населения. Смертность трудоспособного населения от сердечно-сосудистых заболеваний в Беларуси в настоящее время превышает аналогичный показатель по ЕС в 4,5 раза. Заболеваемость болезнями системы кровообращения (БСК) отличается высоким уровнем распространённости, инвалидности и смертности. В связи с этим на первый план выходит необходимость активизации мер повышения эффективности раннего выявления и своевременного оказания медицинской помощи в полном объеме таким пациентам [1, 2].

Цель работы – провести анализ распространённости БСК с выявлением лидирующих форм среди пациентов разных половозрастных групп на примере 9-го терапевтического участка 23-й городской поликлиники города Минска.

Объектом исследования являются статистические данные, полученные в ходе осуществления самостоятельного амбулаторного приема, а также выполнения первичных визитов на дом, активных посещений и патронажей помощником врача по амбулаторно-поликлинической помощи.

Проанализировав представленную на рисунке 1 информацию о первичной заболеваемости БСК на 1000 населения в различных половозрастных группах, можно заключить, что:

- рост разной степени интенсивности первичной заболеваемости БСК отмечен во всех половозрастных группах;
- среди мужчин наибольшие значения наблюдались в возрастной группе старше 60 лет – 22,01 и 22,41 в 2018 и 2019 гг. соответственно, минимальные (с тенденцией к росту) – у лиц до 40 лет (1,89 и 4,94);
- среди женщин максимальные показатели зафиксированы также в возрастной группе старше 60 лет – 71,07 в 2018 г. и 77,16 в 2019 г., минимальные – у лиц до 40 лет (1,89 и 3,09 соответственно);
- более высокие показатели первичной заболеваемости БСК отмечены среди женского населения, за исключением возрастной группы до 40 лет – равные (по 1,89) в 2018 г., и превалирование мужчин с БСК в 2019 г. (4,94 против 3,09 у женщин).



Рис.1 – Первичная заболеваемость БСК среди различных половозрастных групп в 2018–19 гг. (на 1000 населения)

В результате анализа информации, отображенной на рисунке 2, о случаях общей заболеваемости БСК за 2018–19 гг. среди различных половозрастных групп, были отмечено, что:

- рост разной степени интенсивности общей заболеваемости сердечно-сосудистыми заболеваниями отмечен во всех половозрастных группах;
- наибольшие значения как среди мужского населения, так и среди женского, зафиксированы в возрастной группе старше 60 лет – 79,25 среди мужчин и 237,11 среди женщин за 2018 г. и 100,62 и 309,87 соответственно за 2019 г.;
- минимальные значения общей заболеваемости зарегистрированы в возрастной группе 18–40 лет: в 2018 г. этот показатель для мужчин составил 5,66 случая на 1000 населения, для женщин – 7,55, тогда как в 2019 г. для обоих полов выглядел одинаково, составив 10,49 случая на 1000 населения;
- более высокие показатели общей заболеваемости болезнями системы кровообращения зафиксированы среди женского населения, за исключением возрастной группы 18–40 лет в 2019 г. (равные показатели).

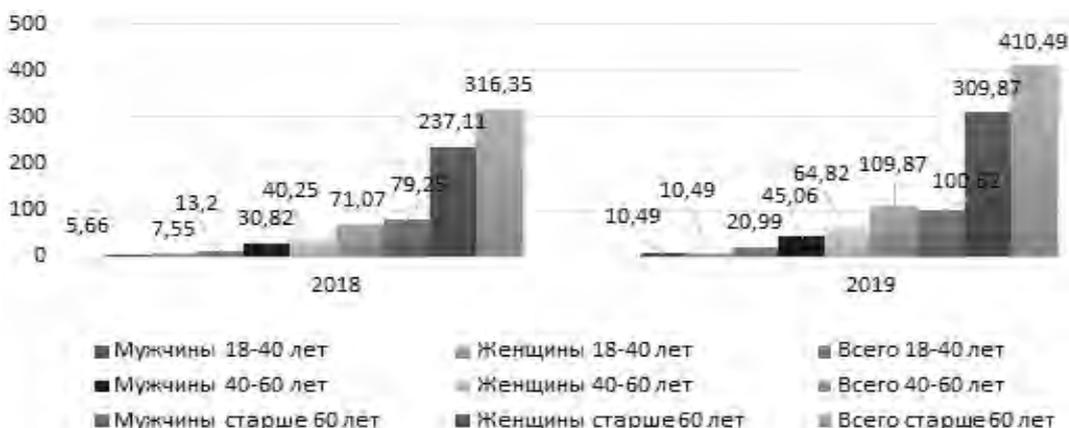


Рис. 2 – Общая заболеваемость БСК среди различных половозрастных групп в 2018–2019 гг. (на 1000 населения)

Проанализируем темпы прироста разных форм БСК в разных возрастных группах. Начнём с пациентов младше 40 лет, данные о которых представлены на рисунке 3.

Проанализировав информацию о темпах прироста БСК в данной возрастной группе, можно отметить следующие положения:

- максимальный темп прироста был характерен для болезней, характеризующихся повышенным кровяным давлением (84.62%);
- для заболеваний лимфатических сосудов зафиксирован минимальный темп прироста (66.67%);
- прирост заболеваемости АГ и ГБ в 1,27 раза выше, чем аналогичный показатель для болезней лимфатических сосудов;
- для кардиомиопатий и болезней вен темп прироста оказался нулевым.

Перейдём к исследованию темпов прироста заболеваемости БСК в следующей возрастной группе – 40–60 лет, данные о которых изображены на рисунке 4.

- наибольший темп прироста в структуре общей заболеваемости БСК зафиксирован для болезней вен (200%);
- второе место с темпом прироста равным 100% разделили ИБС без АГ, кардиомиопатии и нарушения ритма сердца и проводимости;

- значительный темп прироста отмечен также для болезней, характеризующихся повышенным кровяным давлением (67,35%);
- минимальный темп прироста зафиксирован у цереброваскулярных заболеваний, протекающих на фоне нормальных цифр артериального давления (16,67%);
- темп прироста для атеросклероза не высчитывался (в 2018 гг. отсутствовали случаи данного заболевания), равно как и для болезней лимфатических сосудов (ни одного случая данной патологии за 2018–19 гг.).

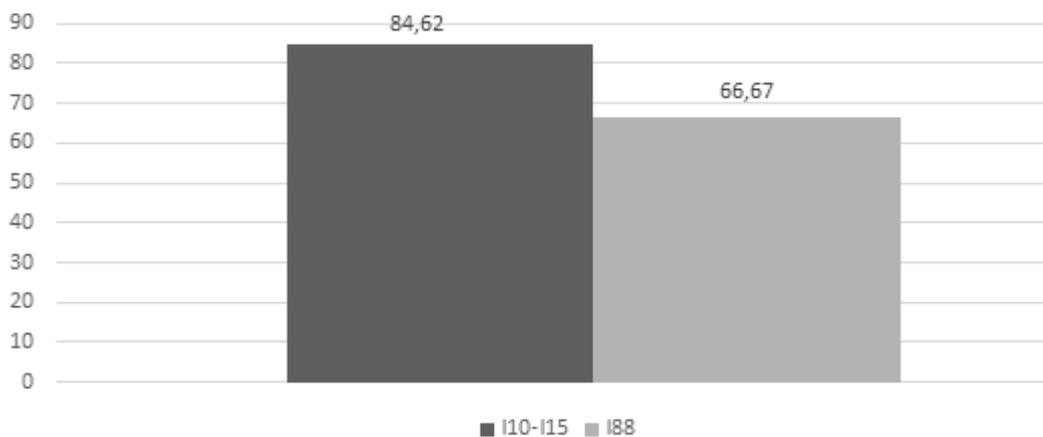


Рис. 3 – Темпы прироста различных форм в структуре общей заболеваемости БСК среди возрастной группы 18–40 лет за 2018–2019 гг.

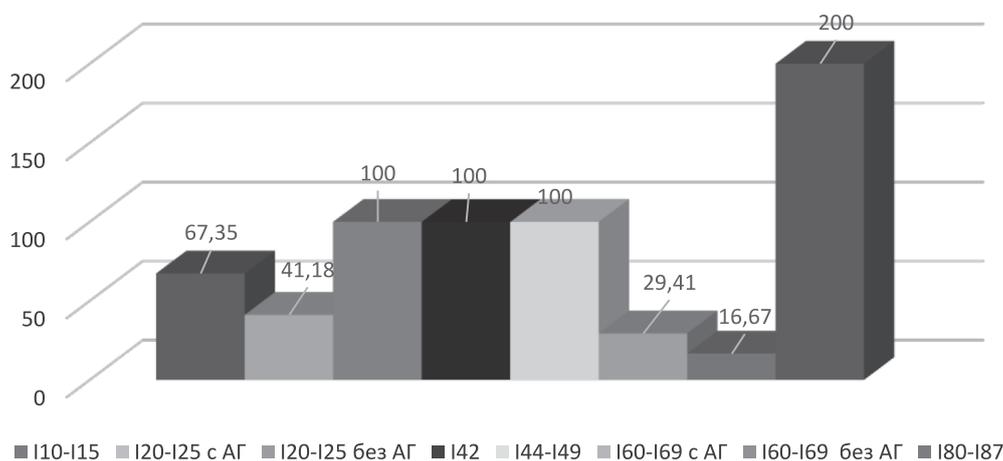


Рис. 4 – Темпы прироста различных форм в структуре общей заболеваемости БСК среди возрастной группы 40–60 лет за 2018–2019 гг.

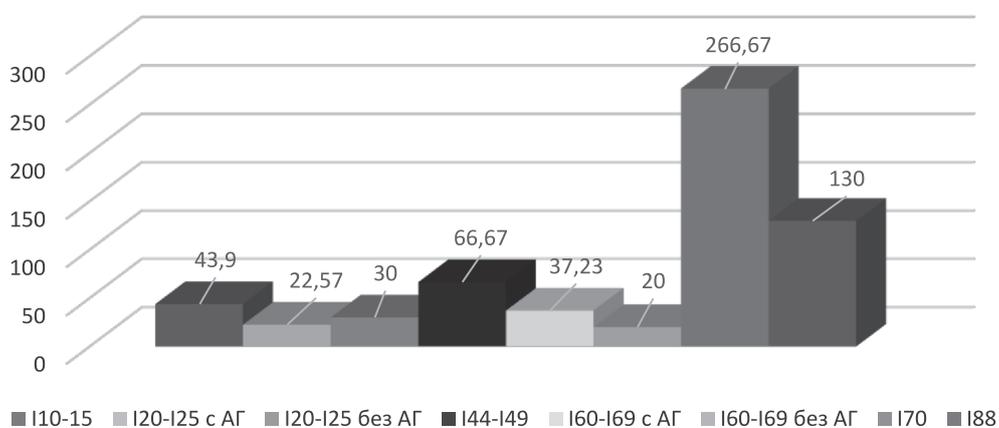


Рис. 5 – Темпы прироста различных форм в структуре общей заболеваемости БСК среди возрастной группы старше 60 лет за 2018–2019 гг.

Обратимся к анализу темпов прироста общей заболеваемости в структуре БСК среди пациентов старше 60 лет, данные о которых отображены на рисунке 5:

- наибольший темп прироста в структуре общей заболеваемости БСК показал атеросклероз – 266,67%;
- высокий темп прироста зафиксирован также у болезней вен, который составил 130%;
- на третьем месте расположилась нарушения ритма сердца и проводимости, темп прироста по которым отмечен на уровне 66,67%;
- минимальное значение зарегистрировано у цереброваскулярных заболеваний, протекающих без АГ – 20%;
- темп прироста не высчитывался для кардиомиопатий (ни одного зафиксированного случая за 2018–19 гг.) и болезней лимфатических сосудов (нет случаев в 2018 г.).

На основании анализа данных об общей и первичной заболеваемости БСК, были сделаны следующие выводы:

1. В структуре общей заболеваемости БСК среди мужчин наибольшие значения наблюдались в возрастной группе старше 60 лет – 22,01 и 22,41 в 2018 и 2019 гг. соответственно, минимальные (с тенденцией к росту) – у лиц до 40 лет (1,89 и 4,94). Среди женщин максимальные показатели зафиксированы также в возрастной группе старше 60 лет – 71,07 в 2018 г. и 77,16 в 2019 г., минимальные – у лиц до 40 лет (1,89 и 3,09 соответственно). Более высокие показатели первичной заболеваемости БСК характерны для женского населения, за исключением возрастной группы до 40 лет – равные (по 1,89) в 2018 г., и превалирование мужчин с БСК в 2019 г. (4,94 против 3,09 у женщин).

2. В структуре первичной заболеваемости ССЗ наибольшие значения зафиксированы в возрастной группе старше 60 лет – 79,25 среди мужчин и 237,11 среди женщин за 2018 г. и 100,62 и 309,87 соответственно за 2019 г. Минимальные значения общей заболеваемости зарегистрированы в возрастной группе 18–40 лет: в 2018 г. этот показатель для мужчин составил 5,66 случаев на 1000 населения, для женщин – 7,55, тогда как в 2019 г. для обоих полов выглядел одинаково и составил 10,49 случаев на 1000 населения. Более высокие показатели общей заболеваемости БСК зафиксированы среди женщин, за исключением возрастной группы 18–40 лет в 2019 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильинский, Б. В. ИБС и наследственность. / Б.В. Ильинский – Москва: Медицина, 2011. – 176 с.
2. Руководство по кардиологии / В.Н. Коваленко (ред.). – Киев: Морион, 2008. – 1424 с.

### АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА НАТИВНОГО, ОБЕЗЖИРЕННОГО, ФЕРМЕНТИРОВАННОГО И ГИДРОЛИЗОВАННОГО КОРОВЬЕГО МОЛОЗИВА

#### ANTIOXIDANT PROPERTIES OF NATIVE, DEFATTED, FERMENTED AND HYDROLYZED BOVINE COLOSTRUM

**Е. И. Тарун<sup>1</sup>, П. Ю. Красовская<sup>1</sup>, Е. А. Стаселович<sup>1</sup>, Т. Н. Головач<sup>2</sup>, Р. В. Романович<sup>2</sup>**  
**E. I. Tarun<sup>1</sup>, P. Y. Krasovskaya<sup>1</sup>, E. A. Staselovich<sup>1</sup>, T. M. Halavach<sup>2</sup>, R. V. Romanovich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет  
г. Минск, Республика Беларусь  
ktarun@tut.by

<sup>1</sup> Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State University,  
Minsk, Republic of Belarus

Проведено сравнительное изучение антиоксидантной активности нативного, обезжиренного и ферментированного молозива, а также ультрафильтратов обезжиренного молозива, гидролизованного нативного и обезжиренного молозива и ферментированного обезжиренного молозива. Получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации всех образцов молозива, из которых графически определены показатели  $IC_{50}$ . Образцы молозива восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 66–93 % при концентрации образцов 0,23–1 мг/мл. Показатели  $IC_{50}$  находились в пределах 6,2–155,1 мкг/мл.

The comparative study of the antioxidant activity of extracts of native, defatted, and fermented colostrum, as well as ultrafiltrate defatted colostrum, hydrolyzed native, and defatted colostrum and fermented defatted colostrum.

The dependences of the fluorescence intensity of fluorescein on the logarithm of the concentration of all colostrum samples are obtained, from which  $IC_{50}$  values are graphically determined. Colostrum samples restored fluorescence of fluorescein to 66–93 % at a sample concentration of 0.23–1.0 mg/ml.  $IC_{50}$  values were in the range of 6.2–155.1  $\mu\text{g/ml}$ .

*Ключевые слова:* антиоксидантная активность, нативное молозиво, обезжиренное молозиво, ферментированное молозиво, гидролизованное молозиво, флуоресцеин.

*Keywords:* antioxidant activity, native colostrum, defatted colostrum, fermented colostrum, hydrolyzed colostrum, fluorescein.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-121-124>

Молозиво является ценным продуктом, так как оно обладает более высокой питательной и биологической ценностью, чем зрелое молоко. В нем увеличено содержание легкоусвояемых сывороточных белков, защитных иммунных факторов (иммуноглобулина А, лактоферрина, лейкоцитов-макрофагов, нейтрофилов, лимфоцитов), а также природных антиоксидантов (витаминов А и Е,  $\beta$ -каротина, цинка, селена). Особый интерес представляет технологический процесс получения ферментированных вариантов молозива. Ферментативный гидролиз белкового компонента молозива направлен на получение продуктов с низким аллергенным потенциалом и высокой питательной ценностью.

Коровье молоко, сыр и кисломолочные продукты являются доступными источниками биологически активных пептидов (БАП), для которых показаны гипотензивный, иммуномодулирующий, антиоксидантный, анти-микробный, антимуtagenный и др. эффекты [1]. БАП образуются в результате воздействия на белки молока пищеварительных ферментов желудочно-кишечного тракта, при технологической обработке очищенными протеазами, а также ферментации молочнокислыми бактериями [2]. После ферментативного гидролиза основных белков-аллергенов молока ( $\beta$ -лактоглобулин, казеин) образуются гипоаллергенные пептиды, что связано с расщеплением участков антигенных детерминант в соответствующих белках [3]. Использование различных протеолитических ферментов и пробиотических микроорганизмов обеспечивает получение гидролизованных и ферментированных белков молока со специфическим белково-пептидным профилем и характерными биологически активными свойствами [4].

Метод определения антиоксидантной активности (АОА) по отношению к активированным формам кислорода (АФК) основан на измерении интенсивности флуоресценции окисляемого соединения и ее уменьшении под воздействием АФК. В настоящей работе для детектирования свободных радикалов использован флуоресцеин, обладающий высоким коэффициентом экстинкции и близким к 1,0 квантовым выходом флуоресценции. Генерирование свободных радикалов осуществляли, используя систему Фентона, в которой образуются гидроксильные радикалы при взаимодействии комплекса железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ) с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA) и пероксида водорода [5]. При взаимодействии флуоресцеина со свободными радикалами происходит тушение его флуоресценции, восстановить которую можно при добавлении в систему веществ, проявляющих антиоксидантные свойства. В качестве таких веществ были взяты 7 образцов молозива: нативное, обезжиренное и ферментированное молозиво, а также ультрафильтраты обезжиренного молозива, гидролизованного нативного и обезжиренного молозива и ферментированного обезжиренного молозива. В таблице 1 указано содержание сухого вещества и белка в образцах молозива.

Таблица 1 – Перечень образцов молозива

№	Название образца	Содержание белка, мг/мл	Содержание сухого вещества, мг/мл
1	Молозиво нативное	31,5	48,5
2	Молозиво обезжиренное	51,0	66
3	Молозиво обезжиренное ферментированное	48,1	63
4	Ультрафильтрат гидролизата молозива нативного	9,7	22,7
5	Ультрафильтрат гидролизата молозива обезжиренного	24,4	100
6	Ультрафильтрат обезжиренного молозива	6,6	36
7	Ультрафильтрат обезжиренного ферментированного молозива	9,8	34

В работе использовали сухое нативное и обезжиренное молозиво, сухое ферментированное обезжиренное молозиво (образцы предоставлены ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», Россия; для ферментации использовали кислотофильную палочку – *Lactobacillus acidophilus*,

штамм 630). Ультрафильтрат гидролизата молозива получен в НИЛ прикладных проблем биологии (БГУ) с применением протеолитического фермента алкалазы.

Получение ультрафильтрата молозива:

Готовили 10% растворы обезжиренного и ферментированного первичного молока в дистиллированной воде, центрифугировали для осаждения нерастворимых частиц при 6000 g и температуре 4° С в течение 30 мин. Полученные супернатанты фракционировали с применением фильтров Spin-X UF Concentrator 20 (Corning, Англия) с разделяющей способностью 10 кДа. Ультрафильтраты гидролизованного и ферментированного молозива представлены фракцией с молекулярной массой (мг), меньшей или равной 10 кДа. Содержание общего азота в экспериментальных образцах определяли по СТБ ISO 8968–1–2008, массовую долю (м.д.) сухого вещества – по ГОСТ 3626–76 (п. 3).

Измерения флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм.

Для всех образцов получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации молозива. В таблице 2 представлены основные показатели антиоксидантной активности:  $A_{\max}$  – интенсивность флуоресценции, соответствующая максимальному ингибированию свободных радикалов,  $C_{\max}$  – концентрация молозива, при которой достигается  $A_{\max}$  и  $IC_{50}$  – концентрация молозива, при которой достигается 50 % ингибирования свободных радикалов.

Таблица 2 – Показатели антиоксидантной активности образцов молозива

№	Название образца	$A_{\max}$ , %	$C_{\max}$ , мг/мл	$IC_{50}$ , мкг/мл сухого вещества	$IC_{50}$ , мкг/мл белка
1	Молозиво нативное	75	0,485	102,33	66,46
2	Молозиво обезжиренное	66	0,66	200,8	155,1
3	Молозиво обезжиренное ферментированное	78	0,63	178,6	136,3
4	Ультрафильтрат гидролизата нативного молозива	82	0,227	21,38	9,14
5	Ультрафильтрат гидролизата обезжиренного молозива	93	1	25,4	6,2
6	Ультрафильтрат обезжиренного молозива	76	0,36	104,3	19,1
7	Ультрафильтрат ферментированного обезжиренного молозива	85	0,34	52,1	15,0

Минимальная антиоксидантная активность получена для образца молозива обезжиренного. Флуоресценция флуоресцеина восстанавливается до 66% при самой высокой концентрации 0,66 мг/мл. Также максимальные значения имеют и показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу (200,8 мкг/мл) и белку (155,1 мкг/мл). Показатель  $A_{\max}$  нативного молозива (75%) на 9 % выше при более низкой концентрации 0,485 мг/мл. Показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу (102,33 мкг/мл) и белку (66,46 мкг/мл) в 2/2,3 раза ниже, что свидетельствует о более высокой антиоксидантной активности данного образца. Ферментация обезжиренного молозива повышает его АОА. Показатель  $A_{\max}$  ферментированного обезжиренного молозива (78%) на 12 % выше образца обезжиренного молозива при концентрации 0,63 мг/мл, а также сравним с образцом нативного молозива. Показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу (178,6 мкг/мл) и белку (136,3 мкг/мл) несколько ниже аналогичных показателей образца обезжиренного молозива, однако в 1,8/2,5 раза выше аналогичных показателей образца нативного молозива.

Ультрафильтрация молозива, приводящая к уменьшению высокомолекулярной фракции белка, способствует еще большему повышению антиоксидантной активности. Образец ультрафильтрата обезжиренного молозива восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 76% при концентрации 0,36 мг/мл, что на 10% выше, чем для образца молозива обезжиренного. Показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу (104,3 мкг/мл) и по белку (19 мкг/мл) уменьшаются в 2/8 раз по сравнению с аналогичными показателями обезжиренного молозива.

Сравнение ферментированного молозива и ультрафильтрата ферментированного молозива также показывает возрастание АОА после процесса ультрафильтрации. Образец ультрафильтрата ферментированного молозива восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 85% при концентрации 0,34 мг/мл, что на 7% выше, чем для образца молозива обезжиренного. Показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу (52,1 мкг/мл) и по белку (15,0 мкг/мл) уменьшаются в 3,4/9 раз по сравнению с аналогичными показателями ферментированного молозива.

Образец ультрафильтрата гидролизата обезжиренного молозива восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 93% при концентрации 1 мг/мл, тогда как образец ультрафильтрата гидролизата нативного молозива – до 82% при концентрации в 4 раза ниже 0,227 мг/мл. При той же концентрации (0,2 мг/мл) гидролизат обезжиренного молозива восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина лишь до 70%, что на 12 % ниже ультрафильтрата гидролизата нативного молозива. Показатель  $IC_{50}$  по сухому веществу ультрафильтрата гидролизата нативного молозива (21,38 мкг/мл) несколько ниже ультрафильтрата гидролизата обезжиренного молозива (25,4 мкг/мл), однако показатель  $IC_{50}$  по белку ультрафильтрата гидролизата нативного молозива (9,14 мкг/мл) в 1,5 раза выше ультрафильтрата гидролизата обезжиренного молозива (6,2 мкг/мл).

На рисунке 1 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации ультрафильтрата обезжиренного молозива (1) ультрафильтрата гидролизата обезжиренного молозива (2) и ультрафильтрата ферментированного обезжиренного молозива (3). Самую низкую АОА показывает образец ультрафильтрата обезжиренного молозива. Ферментация молозива бактериальной протеолитической системой (*Lb. acidophilus*) приводит к обогащению низкомолекулярными белковыми компонентами, что способствует повышению АОА. Ультрафильтрат ферментированного обезжиренного молозива восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 85%, что на 9% выше ультрафильтрата обезжиренного молозива. Показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу (52,1 мкг/мл) и по белку (15,0 мкг/мл) уменьшаются в 2/1,3 раза по сравнению с аналогичными показателями ультрафильтрата обезжиренного молозива. Гидролиз молозива с применением протеолитического фермента алкалазы также приводит к повышению АОА. Ультрафильтрат гидролизата обезжиренного молозива восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 93% при концентрации 1 мг/мл. Показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу (25,4 мкг/мл) и по белку (6,2 мкг/мл) уменьшаются в 4/3 раза по сравнению с аналогичными показателями ультрафильтрата обезжиренного молозива и в 2/2,4 раза по сравнению с аналогичными показателями ультрафильтрата ферментированного обезжиренного молозива.

Таким образом, показано повышение антиоксидантной активности благодаря ферментации и гидролизу молозива за счет обогащения низкомолекулярной фракцией. Ультрафильтрация приводит к еще более значительному повышению антиоксидантной активности. Показатели  $A_{max}$  образцов ультрафильтратов возрастают на 7–10%, а показатели  $IC_{50}$  уменьшаются в 2–3,4 раза по сухому веществу и в 8–9 раз по белку по сравнению с образцами обезжиренного и ферментированного молозива. Образцы нативного молозива показывают более высокую АОА по сравнению с образцами обезжиренного молозива. Показатели  $A_{max}$  образцов нативного молозива и ультрафильтрата гидролизата нативного молозива на 9–11 % выше образцов обезжиренного молозива и ультрафильтрата гидролизата обезжиренного молозива. Гидролиз молозива ферментом алкалазой приводит к получению более низкой молекулярной фракции белка, чем при ферментации с использованием ацидофильной палочки *Lactobacillus acidophilus*. Образец ультрафильтрата гидролизата обезжиренного молозива показывает более высокую АОА по сравнению с образцом ультрафильтрата ферментированного обезжиренного молозива.

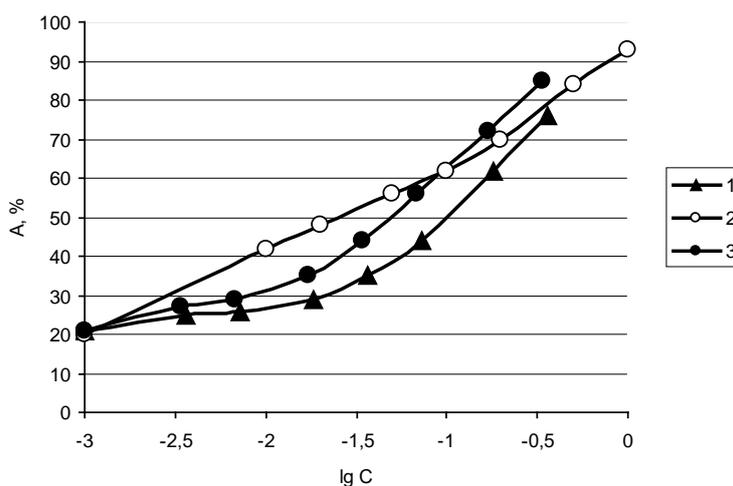


Рис. 1 – Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) ультрафильтрата гидролизата обезжиренного молозива (2) и ультрафильтрата ферментированного обезжиренного молозива (3)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wada Y. Bioactive peptides derived from human milk proteins – mechanisms of action / Wada Y, Lönnerdal B. // Journal of Nutrition Biochemistry. 2014;25:5:503–514.
2. Mohanty D [et al.]. Antimicrobial peptides as natural bio-preservative to enhance the shelf-life of food / D. Mohanty // International Journal of Food Properties. 2016;19:837–846.
3. Tsabouri S. Cow's milk allergenicity / Tsabouri S, Douros K, Priftis KN // Endocrine, Metabolic and Immune Disorders. 2014;14:1:16–26.
4. Madureira AR. Invited review: physiological properties of bioactive peptides obtained from whey proteins / Madureira AR [et al.] // Journal of Dairy Science. 2010;93:2:437–455.
5. Тарун Е. И. Антиоксидантная активность гексагидрохинолонов / Е.И. Тарун, А.В. Данькова, А.Н. Пырко // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019;2:77–83.

# АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСОВ ГИДРОЛИЗАТОВ СЫВОРОТКИ МОЛОКА И МОЛОЗИВА С ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ

## ANTIOXIDANT ACTIVITY OF WHEY AND COLOSTRUM HYDROLYZATES COMPLEXES WITH CYCLODEXTRIN

*Е. И. Тарун<sup>1</sup>, Е. А. Стаселович<sup>1</sup>, П. Ю. Красовская<sup>1</sup>, Т. Н. Головач<sup>2</sup>, Р. В. Романович<sup>2</sup>  
Е. I. Tarun<sup>1</sup>, E. A. Staselovich<sup>1</sup>, P. Y. Krasovskaya<sup>1</sup>, T. M. Halavach<sup>2</sup>, R. V. Romanovich<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет МГЭИ им. А.Д.Сахарова, БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
ktarun@tut.by

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Проведено сравнительное изучение антиоксидантной активности концентрата сывoroточного белка молока, нативного молозива, их ультрафильтрованных гидролизатов, а также комплексов ультрафильтратов гидролизатов с циклодекстрином. Получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации всех образцов, из которых графически определены показатели  $IC_{50}$ , которые находились в пределах 6,83–77,53 мкг/мл. Комплексы ультрафильтратов гидролизатов с циклодекстрином восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 84–96 % при концентрации образцов 0,68–0,75 мг/мл.

The comparative study of the antioxidant activity of whey protein concentrate, native colostrum, their ultrafiltered hydrolysates, as well as complexes of ultrafiltered hydrolysates with cyclodextrin was carried out. The dependences of the fluorescence intensity of fluorescein on the logarithm of the concentration of all samples were obtained, from which the  $IC_{50}$  values were graphically determined, which were in the range of 6,83–77,53  $\mu\text{g/ml}$ . Complexes of ultrafiltrate hydrolysates with cyclodextrin restored fluorescein fluorescence to 84–96 % at a sample concentration of 0,68–0,75 mg/ml.

*Ключевые слова:* антиоксидантная активность, нативное молозиво, гидролизованное молозиво, гидролизат молока, циклодекстрин, флуоресцеин.

*Keywords:* antioxidant activity, native colostrum, hydrolyzed colostrum, whey hydrolyzate, cyclodextrin, fluorescein.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-125-128>

Коровье молоко, сыр и кисломолочные продукты являются доступными источниками биологически активных пептидов (БАП), для которых показаны гипотензивный, иммуномодулирующий, антиоксидантный, антимикробный, антимуtagenный и др. эффекты [1]. БАП образуются в результате воздействия на белки молока пищеварительных ферментов желудочно-кишечного тракта, при технологической обработке очищенными протеазами, а также ферментации молочнокислыми бактериями [2]. После ферментативного гидролиза основных белков-аллергенов молока ( $\beta$ -лактоглобулин, казеин) образуются гипоаллергенные пептиды, что связано с расщеплением участков антигенных детерминант в соответствующих белках [3]. Использование различных протеолитических ферментов и пробиотических микроорганизмов обеспечивает получение гидролизованных и ферментированных белков молока со специфическим белково-пептидным профилем и характерными биологически активными свойствами [4]. Циклодекстрины (ЦД) представляют собой полимер-гомологический ряд, общая формула –  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Общим для всех ЦД является наличие циклодекстринового макроцикла. Его структурная единица – это  $\alpha$ -D-глюкоза в пиранозной форме, в состав которой входит 3 гидроксильных группы, две из которых находятся внутри кольца и одна – снаружи.  $\beta$ -циклодекстрин содержит 7 остатков глюкозы. Соответственно 7 гидроксильных групп, находящихся на поверхности этого циклического соединения могут служить ловушками свободных радикалов. Использование ЦД в медицине направлено на повышение качества лекарственных препаратов. В таких комплексах наблюдается повышение стабилизации лекарственных средств, улучшение их физико-химических свойств, изменении агрегатного состояния многое другое. ЦД применяются в этом случае или для образования комплексов, или в качестве вспомогательных веществ.

Целью создания комплексов гидролизата белков молока и молозива с  $\beta$ -циклодекстрином являлось устранение горького вкуса гидролизата. Вместе с тем, актуальным представляется изучение влияния комплексообразования на функциональные свойства пептидов, в частности, на антиоксидантную активность гидролизованных белков молока и молозива.

Метод определения антиоксидантной активности (АОА) по отношению к активированным формам кислородного радикала (АФК) основан на измерении интенсивности флуоресценции окисляемого соединения и ее уменьшении под воздействием АФК. В настоящей работе для детектирования свободных радикалов использован флуоресцеин,

обладающий высоким коэффициентом экстинкции и близким к 1 квантовым выходом флуоресценции. Генерирование свободных радикалов осуществляли, используя систему Фентона, в которой образуются гидроксильные радикалы при взаимодействии комплекса железа ( $Fe^{2+}$ ) с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA) и пероксида водорода [5]. При взаимодействии флуоресцеина со свободными радикалами происходит тушение его флуоресценции, восстановить которую можно при добавлении в систему веществ, проявляющих антиоксидантные свойства. В качестве таких веществ были взяты 6 образцов: концентрат сывороточного белка молока, нативное молозиво, их ультрафильтрованные гидролизаты, а также комплексы ультрафильтратов гидролизатов с циклодекстрином. В таблице 1 указано содержание сухого вещества и белка в образцах.

Таблица 1 – Перечень образцов молока и молозива.

№	Название образца	Краткое название образца	Содержание белка, мг/мл	Содержание сухого вещества, мг/мл
1	Концентрат сывороточного белка молока	КСБ	35,1	50,8
2	Нативное молозиво	М	31,5	48,5
3	Ультрафильтрат гидролизата сывороточного белка молока	ГСБ–УФ	13,7	23,4
4	Ультрафильтрат гидролизата молозива	ГМ–УФ	9,7	22,7
5	Комплекс ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока с циклодекстрином	ГСБ–ЦД	13,7	75,2
6	Комплекс ультрафильтрата гидролизата молозива с циклодекстрином	ГМ–ЦД	9,7	68,0

В работе использовали концентрат сывороточного белка молока и сухое молозиво (образцы предоставлены ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», Россия). Ультрафильтрат гидролизата сывороточного белка молока и молозива получен в НИЛ прикладных проблем биологии (БГУ) с применением протеолитического фермента алкалазы.

*Получение ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока и гидролизата молозива:*

Готовили 10 % растворы гидролизатов в дистиллированной воде, центрифугировали для осаждения нерастворимых частиц при 6000 g и температуре 4° С в течение 30 мин. Полученные супернатанты фракционировали с применением фильтров Spin-X UF Concentrator 20 (Corning, Англия) с разделяющей способностью 10 кДа. Ультрафильтраты гидролизованного и ферментированного молозива представлены фракцией с молекулярной массой (mr), меньшей или равной 10 кДа. Содержание общего азота в экспериментальных образцах определяли по СТБ ISO 8968–1–2008, массовую долю (м.д.) сухого вещества – по ГОСТ 3626–76 (п. 3).

*Приготовление комплексов ультрафильтратов гидролизатов с циклодекстринами:*

Ультрафильтраты гидролизатов брали в пропорции с циклодекстрином 5%:3%. К 0,1 г сухой смеси добавляли 2 мл дистиллированной воды. Для получения однородной суспензии помещали стакан с комплексом гидролизатов с циклодекстринами на водяную баню при температуре 50°С и перемешивали. Получали раствор комплексов гидролизатов с циклодекстринами с концентрацией 50 мг/мл.

Измерения флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм.

Для всех образцов получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации молока и молозива. В таблице 2 представлены основные показатели антиоксидантной активности:  $A_{max}$  – интенсивность флуоресценции, соответствующая максимальному ингибированию свободных радикалов,  $C_{max}$  – концентрация молозива, при которой достигается  $A_{max}$  и  $IC_{50}$  – концентрация образца, при которой достигается 50% ингибирования свободных радикалов.

Таблица 2 – Показатели антиоксидантной активности образцов молока и молозива

№	Название образца	$A_{max}$ , %	$C_{max}$ , мг/мл	$IC_{50}$ , мкг/мл сухого вещества	$IC_{50}$ , мкг/мл белка
1	КСБ	67	0,508	112,2	77,53
2	М	75	0,485	102,33	66,46
3	ГСБ–УФ	76	0,234	25,12	14,7
4	ГМ–УФ	82	0,227	21,38	9,14
5	ГСБ–ЦД	84	0,752	39,81	7,25
6	ГМ–ЦД	96	0,68	47,86	6,83
7	ЦД	75	0,5	114,82	

На рисунке 1 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) концентрата сывороточного белка (КСБ) (1), ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока (ГСБ–УФ) (2), комплекса ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока с циклодекстрином (ГСБ–ЦД) (3) и циклодекстрина (ЦД) (4).

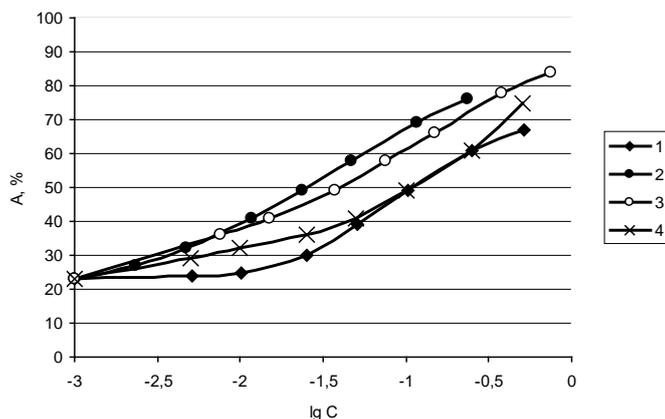


Рис.1 – Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) концентрата сывороточного белка (КСБ) (1), ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока (ГСБ–УФ) (2), комплекса ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока с циклодекстрином (ГСБ–ЦД) (3) и циклодекстрина (ЦД) (4)

Минимальная антиоксидантная активность получена для образца концентрата сывороточного белка (КСБ). Флуоресценция флуоресцеина восстанавливается до 67 % при концентрации 0,508 мг/мл. Также максимальные значения имеют и показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу (112,2 мкг/мл) и белку (77,53 мкг/мл).

Гидролиз белков молока и их последующая ультрафильтрация приводит к уменьшению высокомолекулярной фракции белка, способствуя повышению антиоксидантной активности. Образец ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока (ГСБ–УФ) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 76 % при концентрации 0,234 мг/мл, что на 9 % выше, чем для образца КСБ. Показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу (25,12 мкг/мл) и по белку (14,7 мкг/мл) уменьшаются в 4,5/5,3 раза соответственно по сравнению с аналогичными показателями КСБ.

Образец комплекса ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока с циклодекстрином (ГСБ–ЦД) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 84 % при концентрации 0,752 мг/мл. Как видно из рисунка 8, этот образец снижает радикальную активность более эффективно, чем образец КСБ, но менее эффективен по сравнению с образцом ГСБ–УФ. Показатель  $IC_{50}$  по сухому веществу (39,81 мкг/мл) в 2,8 раза ниже аналогичного показателя для образца КСБ и в 1,6 раза выше показателя для образца ГСБ–УФ. Однако, показатель  $IC_{50}$  по белку (7,25 мкг/мл) уменьшается в 10,7 и 2 раза по сравнению с аналогичными показателями для образцов КСБ и ГСБ–УФ соответственно.

Циклодекстрин (ЦД) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 75 % при концентрации 0,5 мг/мл, что на 8 % выше, чем для образца КСБ при аналогичной концентрации. Показатель  $IC_{50}$  по сухому веществу (114,82 мкг/мл) сравним с аналогичным показателем для образца КСБ и в 3 раза выше аналогичного показателя для образца ГСБ–ЦД. Таким образом, включение циклодекстрина в комплекс с ультрафильтратом гидролизованного сывороточного белка молока повышает его антиоксидантную активность.

На рисунке 2 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) молозива (М) (1), ультрафильтрата гидролизата молозива (ГМ–УФ) (2), комплекса ультрафильтрата гидролизата молозива с циклодекстрином (ГМ–ЦД) (3) и циклодекстрина (ЦД) (4).

Образец молозива (М) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 75 % при концентрации 0,485 мг/мл, что на 8 % выше, чем для образца КСБ. Показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу (102,33 мкг/мл) и по белку (66,46 мкг/мл) несколько ниже, чем для образца КСБ, что свидетельствует о более высокой антиоксидантной активности молозива по сравнению с белками молока.

Гидролиз молозива и последующая ультрафильтрация также приводит к повышению антиоксидантной активности за счет уменьшения высокомолекулярной фракции белка. Образец ультрафильтрата гидролизата молозива (ГМ–УФ) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 82 %, что на 7 % выше, чем для образца молозива, при более низкой концентрации 0,227 мг/мл. Показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу (21,38 мкг/мл) и по белку (9,14 мкг/мл) уменьшаются в 4,8/7,3 раза по сравнению с аналогичными показателями молозива. Кроме того, показатели  $IC_{50}$  несколько ниже по сравнению с аналогичными показателями образца ГСБ–УФ, а показатель  $A_{max}$  на 6 % выше.

Образец комплекса ультрафильтрата гидролизата молозива с циклодекстрином (ГМ–ЦД) восстанавливал флуоресценцию флуоресцеина на максимальную величину ( $A_{max} = 96 %$ ) при концентрации 0,68 мг/мл. Как видно из рисунка 9, этот образец снижает радикальную активность более эффективно, чем образец молозива, но менее эффективен по сравнению с образцом ГМ–УФ. Показатель  $IC_{50}$  по сухому веществу (47,86 мкг/мл) в 2 раза ниже аналогичного показателя для образца молозива и в 2,2 раза выше показателя для образца ГМ–УФ. Однако, показатель  $IC_{50}$  по белку (6,83 мкг/мл) уменьшается в 9,7 и 1,3 раза по сравнению с аналогичными показателями для образцов молозива и ГМ–УФ соответственно. Данный образец так же показывает более высокую антиоксидантную активность по сравнению с аналогичным образцом для белков молока (ГСБ–ЦД). Его показатель  $A_{max}$  на 12 % выше, а показатель  $IC_{50}$  по белку несколько ниже. Необходимо отметить увеличение АОА комплекса по отношению к циклодекстрину. Повышается показатель  $A_{max}$  (рис. 9) и показатель  $IC_{50}$  по сухому веществу уменьшается в 2,4 раза по сравнению с аналогичным показателем для образца циклодекстрина.

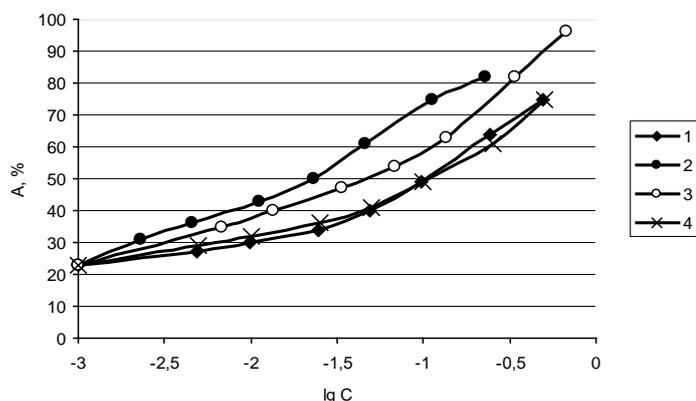


Рис. 2 – Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина ( $A$ ) от логарифма концентрации ( $C$ ) молозива ( $M$ ) (1), ультрафильтрата гидролизата молозива (ГМ–УФ) (2), комплекса ультрафильтрата гидролизата молозива с циклодекстрином (ГМ–ЦД) (3) и циклодекстрина (ЦД) (4)

Таким образом, показано повышение антиоксидантной активности благодаря гидролизу и последующей ультрафильтрации молока и молозива за счет обогащения низкомолекулярной фракцией. Показатели  $A_{\max}$  образцов ультрафильтратов гидролизованного молока и молозива возрастали на 7–9 %, а показатели  $IC_{50}$  уменьшались в 4,5–7,3 раза по сравнению с образцами КСБ и молозива. Образцы комплексов белков молока и молозива с циклодекстринами показывали повышение АОА по сравнению с исходными образцами КСБ и молозива, а также с циклодекстрином. Показатели  $A_{\max}$  образцов комплексов ГСБ–ЦД и ГМ–ЦД увеличивались на 17–21 % по сравнению с образцами КСБ и молозива и на 9–21 % по сравнению с циклодекстрином. Показатели  $IC_{50}$  по сухому веществу и по белку уменьшались в 2/10,7 раза. Сравнение комплексов белков молока и молозива с циклодекстринами с ультрафильтратами гидролизатов молока (ГСБ–УФ) и молозива (ГМ–УФ) показывает повышение показателя  $A_{\max}$  на 8–14 % при максимальных концентрациях и снижение показателей  $IC_{50}$  по белку в 1,3–2 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wada, Y. Bioactive peptides derived from human milk proteins – mechanisms of action / Y. Wada, B. Lönnerdal // J. Nutr. Biochem. 2014. V. 25, № 5. P. 503–514.
2. Mohanty, D. et al. Antimicrobial peptides as natural bio-preservative to enhance the shelf-life of food / D. Mohanty // Int. J. Food Prop. 2016. V. 19. P. 837–846.
3. Tsabouri, S. Cow's milk allergenicity / S. Tsabouri, K. Douros, K.N. Priftis // Endocr. Metab. Immune. 2014. V. 14, № 1. P. 16–26.
4. Madureira, A.R. Invited review: physiological properties of bioactive peptides obtained from whey proteins / A.R. Madureira [et al.] // J. Dairy Sci. 2010. V. 93, № 2. P. 437–455.
5. Тарун Е.И. Антиоксидантная активность гексагидрохинолонов / Е.И. Тарун, А.В. Данькова, А.Н. Пырко // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2019. – № 2. – С. 77–83.

## АНАЛИЗ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ТРУТОВЫХ ГРИБОВ, СОБРАННЫХ В РОССИИ, БЕЛАРУСИИ И КИТАЕ

### ANALYSIS OF ANTIOXIDANT ACTIVITY OF GROOVE MUSHROOMS COLLECTED IN RUSSIA, BELARUS AND CHINA

**Е. И. Тарун<sup>1</sup>, А. А. Туболева<sup>1</sup>, Я. В. Павловская<sup>1</sup>,  
В. С. Гомонова<sup>1</sup>, Х. Яньлинь<sup>1</sup>, В. П. Курченко<sup>2</sup>  
E. I. Tarun<sup>1</sup>, A. A. Tuboleva<sup>1</sup>, Y. V. Pavlovskaya<sup>1</sup>,  
V. S. Gomonova<sup>1</sup>, X. Yanlin<sup>1</sup>, V. P. Kurchenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь  
ktarun@tut.by

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Проведено сравнительное изучение антиоксидантной активности экстрактов 21 вида трутовых грибов. Получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстрактов трутовых грибов, из которых графически определены показатели  $IC_{50}$ . Экстракты трутовых грибов восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 81–98 % при концентрации образцов 0,1–1 %. Показатели  $IC_{50}$  находились в пределах  $0,66–25 \cdot 10^{-4}$  %.

A comparative study of the antioxidant activity of extracts of 21 species of groove mushrooms was carried out. The dependences of the fluorescence intensity of fluorescein on the logarithm of the concentration of extracts of groove mushrooms are obtained, from which  $IC_{50}$  values are graphically determined. Groove mushroom extracts restored fluorescence of fluorescein to 81–98 % at a sample concentration of 0,1–1%.  $IC_{50}$  values were in the range of  $0,66–25 \cdot 10^{-4}$  %.

*Ключевые слова:* антиоксидантная активность, экстракты трутовых грибов, флуоресцеин.

*Keywords:* antioxidant activity, extracts of groove mushrooms, fluorescein.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-128-132>

Фармакологические исследования разных видов трутовых грибов предоставили доказательства, подтверждающие антибактериальное, противопаразитарное, противовирусное, противовоспалительное, противораковое [1], нейропротекторное, антиоксидантное [2–4] и антидиабетическое действие. Трутовые грибы содержат, различные биологически активных компонентов, в основном полисахариды, тритерпеноиды, белки, ферменты, стероиды, стерины, нуклеотиды, жирные кислоты, витамины и минералы, которые, как было доказано, обладают рядом терапевтических свойств для борьбы с различными заболеваниями. Содержание полисахаридов [3], тритерпеноидов [1] и других полифенольных соединений, в частности флавоноидов [1, 2], а также танинов, из которых выделяется галловая кислота [4], определяет антиоксидантную активность трутовых грибов. Необходимо отметить, что в зависимости от региона произрастания, климатических условий состав биологически активных веществ будет иметь внутривидовые различия.

Проведено сравнительное исследование антиоксидантной активности (АОА) экстрактов 21 вида трутовых грибов, собранных в России и Беларуси. Метод определения АОА по отношению к активированным формам кислорода (АФК) основан на измерении интенсивности флуоресценции окисляемого соединения и ее уменьшении под воздействием АФК. В настоящей работе для детектирования свободных радикалов использован флуоресцеин, обладающий высоким коэффициентом экстинкции и близким к 1,0 квантовым выходом флуоресценции. Генерирование свободных радикалов осуществляли, используя систему Фентона, в которой образуются гидроксильные радикалы при взаимодействии комплекса железа ( $Fe^{2+}$ ) с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA) и пероксида водорода [5]. При взаимодействии флуоресцеина со свободными радикалами происходит тушение его флуоресценции, восстановить которую можно при добавлении в систему веществ, проявляющих антиоксидантные свойства.

*Приготовление спиртового экстракта трутовых грибов:*

Перемолотые трутовые грибы (1 г) экспонировались в метаноле (9 мл) в течение 3 суток (конечная концентрация 6,66 %). Экстракты фильтровались через шприцевые фильтры RC 0.2 $\mu$ M Agilent.

*Приготовление раствора экстракта трутовых грибов:*

Концентрацию исходного раствора экстракта принимали за 100 %. Делали ряд разведений исходного раствора экстракта, концентрации которых составляли  $10–10^{-6}$  %. Концентрации растворов экстракта в пробе уменьшались в 10 раз и составляли  $1–10^{-7}$  %.

Измерения флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм.

Для всех образцов получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстрактов трутовых грибов. Исследования проведены в широком диапазоне концентраций  $10^{-7}–1$  %. Образцы экстрактов трутовых грибов начинали проявлять АОА при концентрации  $10^{-7}–10^{-5}$  %. При последующем увеличении концентрации экстрактов наблюдается увеличение подавления действия свободных радикалов и возрастание флуоресценции флуоресцеина до 81–98 % при концентрации образцов 0,1–1 %, что соответствует разведению исходного экстракта в 1000–100 раз (таблица 1). Графически определены показатели  $IC_{50}$  – концентрация экстрактов трутовых грибов, при которой достигается 50% ингибирования свободных радикалов (таблица 1).

Минимальный показатель  $IC_{50}$  ( $0,66 \cdot 10^{-4}$  %) получен для образца трутовика Трихаптур двоякий, что свидетельствует о его максимальной антиоксидантной активности. Этот образец также имеет высокий показатель  $A_{max}$  (95%). Такие же высокие показатели  $A_{max}$  получены для образцов Трутовик бугристый (94%), Трутовик плоский (Беларусь) (95 %), Трутовик плоский (Россия) (98%), Березовая губка (Россия) (94%), Трутовик настоящий (Беларусь, береза) (94%), Трутовик окаймленный (Беларусь) (93%), Березовая губка (Беларусь) (95%) и Траметис разноцветный (94%). Однако, их показатели  $IC_{50}$  (3,16; 5,5; 6,76; 10; 12,6; 13,8 и  $25 \cdot 10^{-4}$  %) в 4,5; 8,3; 10,2; 15,2; 19; 20,9 и 38 раз выше.

Таблица 1 – Показатели антиоксидантной активности экстракта трутовых грибов

№	Название образца и место сбора	$A_{\max}$ , %	$C_{\max}$ , %	$IC_{50} \cdot 10^{-4}$ , %
1	Трихептум двойкий ( <i>Trichaptum pergamenum</i> ), Екатеринбург (Россия), береза	95	1	0,66
2	Трутовик бугристый ( <i>Daedaleopsis confragosa</i> ), Фаниполь (Беларусь)	94	0,1	3,16
3	Трутовик серно-желтый ( <i>Laetiporus sulphureus</i> ), Минск (Беларусь)	89	1	5,37
4	Трутовик плоский ( <i>Ganoderma applanatum</i> ), Фаниполь (Беларусь), осина	95	0,1	5,5
5	Дубовая губка ( <i>Daedalea quercina</i> ), Фаниполь (Беларусь), дуб	83	0,1	5,62
6	Трутовик настоящий ( <i>Fomes fomentarius</i> ), Екатеринбург (Россия), тополь	91	1	6,03
7	Трутовик лакированный ( <i>Ganoderma lucidum</i> ), Борисов (Беларусь)	89	0,1	6,46
8	Трутовик плоский ( <i>Ganoderma applanatum</i> ), Екатеринбург (Россия), тополь	98	1	6,76
9	Трутовик окаймленный ( <i>Fomitopsis pinicola</i> ), Екатеринбург (Россия), сосна	91	1	7,94
10	Чага ( <i>Inonotus obliquus</i> ), Фаниполь (Беларусь), береза	89	0,1	10
11	Березовая губка ( <i>Piptoporus betulinus</i> ), Екатеринбург (Россия), береза	94	1	10
12	Трутовик настоящий ( <i>Fomes fomentarius</i> ), Фаниполь (Беларусь), береза	94	0,1	12,6
13	Трутовик окаймленный ( <i>Fomitopsis pinicola</i> ), Фаниполь (Беларусь), ель	93	0,1	12,6
14	Траметис пушистый ( <i>Trametes pubescens</i> ), Екатеринбург (Россия), ель	85	1	12,6
15	Березовая губка ( <i>Piptoporus betulinus</i> ), Фаниполь (Беларусь) береза	95	1	13,8
16	Гаполопиус гнездовой ( <i>Haploporus nidulans</i> ), Фаниполь (Беларусь)	87	0,1	14
17	Чага ( <i>Inonotus obliquus</i> ), Екатеринбург (Россия), береза	91	1	15,8
18	Траметис жестковолосистый ( <i>Trametes hirsute</i> ), Фаниполь (Беларусь), ольха	85	0,1	16,2
19	Трутовик лакированный ( <i>Ganoderma lucidum</i> ), Ханой (Китай)	81	1	20
20	Трутовик настоящий ( <i>Fomes fomentarius</i> ), Екатеринбург (Россия), береза	89	0,1	23,4
21	Траметис разноцветный ( <i>Trametes versicolor</i> ), Екатеринбург (Россия), черемуха	94	1	25

Трутовик Чага (Россия), Чага (Беларусь), Трутовик настоящий (Россия, тополь), Трутовик настоящий (Россия, береза), Трутовик окаймленный (Россия), Трутовик серно-желтый и Трутовик лакированный (Беларусь) имеют близкие показатели  $A_{\max}$  (89–91%). Этот показатель у образцов Трутовик лакированный (Беларусь), Трутовик настоящий (Россия, береза) и Чага (Беларусь) достигнут при концентрации в 10 раз ниже (0,1%), чем у образцов Трутовик серно-желтый, Трутовик настоящий (Россия, тополь), Трутовик окаймленный (Россия) и Чага (Россия) (1%), что могло бы свидетельствовать о их более высокой АОА. Однако, показатели  $IC_{50}$  Трутовика лакированного (Беларусь) ( $6,46 \cdot 10^{-4}$  %), Чаги (Беларусь) ( $10 \cdot 10^{-4}$  %) и Трутовика настоящего (Россия, береза) в 1,2; 1,9 и 4,4 раза выше  $IC_{50}$  Трутовика серно-желтого ( $5,37 \cdot 10^{-4}$  %). Отличие от минимального показателя  $IC_{50}$  (Трихептум двойкий) для Трутовика серно-желтого – в 8 раз, Трутовика настоящего (Россия, тополь) – в 9 раз, Трутовика лакированного (Беларусь) – в 10 раз, Трутовика окаймленного (Россия) – в 12 раз, Чаги (Беларусь) – в 15,2 раз, Чаги (Россия) – в 24 раза, Трутовика настоящего (Россия, береза) – в 35,5 раза.

Показатель  $A_{\max}$  (87%) трутовика Гаполопиус гнездовой несколько ниже, достигнутый при концентрации 0,1%. Отличие от минимального показателя  $IC_{50}$  (Трихептум двойкий) для трутовика Гаполопиус гнездовой – в 21,2 раза. Близкий показатель  $A_{\max}$  (85%) имеют Трутовики Траметис пушистый и Траметис жестковолосистый. Их показатели  $IC_{50}$  ( $12,6 \cdot 10^{-4}$  и  $16,2 \cdot 10^{-4}$  %) отличаются от минимального показателя  $IC_{50}$  (Трихептум двойкий) в 19 и 24,5 раза соответственно.

Трутовик Дубовая губка имеет более низкий показатель  $A_{\max}$  (83%). Его показатель  $IC_{50}$  ( $5,62 \cdot 10^{-4}$  %) близок к аналогичным показателям образцов Трутовик серно-желтый и Трутовик плоский (Беларусь) и отличается от минимального показателя  $IC_{50}$  (Трихептум двойкий) в 8,5 раза.

Минимальный показатель  $A_{\max}$  (81%) получен для Трутовика лакированного (Китай). Его показатель  $IC_{50}$  ( $20 \cdot 10^{-4}$  %) в 30,3 раза выше минимального показателя  $IC_{50}$  (Трихептум двойкий), что свидетельствует о самой низкой АОА этого образца.

На рис. 1 представлены зависимости флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстракта трутовика Трихептум двойкий (*Trichaptum pergamenum*) (1), трутовика бугристого (*Daedaleopsis confragosa*) (2) и трутовика серно-желтого (*Laetiporus sulphureus*) (3). Образцы этих трутовых грибов, а также Трутовик лакированный (Беларусь) начинали проявлять антиоксидантную активность при концентрации  $10^{-7}$  %. Причем, более высокую активность проявлял трутовик Трихептум двойкий. Образцы Трутовик плоский (Беларусь), Трутовик плоский (Россия) и Дубовая губка проявляли антиоксидантную активность при концентрации  $10^{-6}$  %. Остальные образцы начинали восстанавливать флуоресценцию флуоресцеина при концентрации  $10^{-5}$  %.

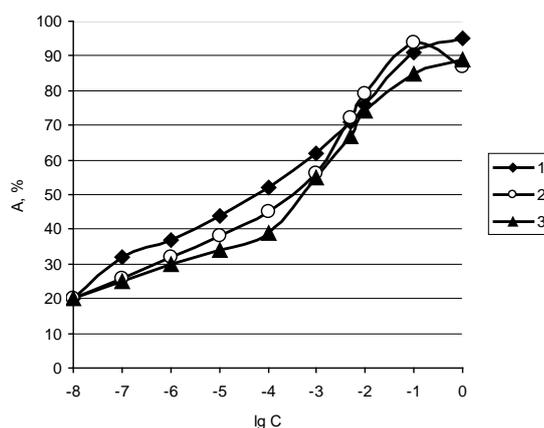


Рис. 1 – Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) экстракта трутовика *Трихартум двоякий* (*Trichartum pergamentum*) (1), трутовика бугристого (*Daedaleopsis confragosa*) (2) и трутовика серно-желтого (*Laetiporus sulphureus*) (3)

Сравнение образцов одного вида: Трутовика плоского (Беларусь) и (Россия) показывает, что их показатели  $IC_{50}$  ( $5,5$  и  $6,76 \cdot 10^{-4}$  %) различаются в 1,2 раза. Близки и показатели  $A_{max}$  (95 и 98 %). Однако этот показатель у образца Трутовик плоский (Беларусь) достигнут при концентрации в 10 раз ниже (0,1%), чем у образца Трутовик плоский (Россия) (1%), что может свидетельствовать о его более высокой АОА.

Трутовик лакированный (Беларусь) (1) начинает проявлять антиоксидантную активность при концентрации  $10^{-7}$ %, тогда как трутовик лакированный (Китай) (2) – при концентрации на два порядка ниже -  $10^{-5}$ %. Показатель  $A_{max}$  (89%) трутовика лакированного (Беларусь) на 8 % выше аналогичного показателя трутовика лакированного (Китай) (81%). Показатель  $IC_{50}$  ( $6,46 \cdot 10^{-4}$  %) трутовика лакированного (Беларусь) в 3,1 раза ниже, чем аналогичный показатель трутовика лакированного (Китай) ( $20 \cdot 10^{-4}$  %). Все это свидетельствует о более низких показателях антиоксидантной активности трутовика лакированного, собранного в Китае.

Два образца трутовиков Березовая губка (Россия) и (Беларусь) показывают очень близкие по характеру зависимости. Их показатели  $IC_{50}$  (10 и  $13,8 \cdot 10^{-4}$  %) различаются в 1,4 раза. Близки и показатели  $A_{max}$  (95 и 94 %).

Показатели  $A_{max}$  двух трутовиков Чага достаточно близки: 91% для Чаги (Россия) и 89% для Чаги (Беларусь). Однако, показатель  $IC_{50}$  ( $10 \cdot 10^{-4}$  %) трутовика Чага (Беларусь) в 1,6 раза ниже, чем аналогичный показатель трутовика Чага (Россия) ( $15,8 \cdot 10^{-4}$  %), что свидетельствует о более высокой АОА трутовика Чага, собранного в Беларуси.

Трутовик окаймленный (Беларусь) восстанавливал флуоресценцию флуоресцеина до 93%, тогда как этот показатель Трутовика окаймленного (Россия) составлял 91%. Однако, показатель  $IC_{50}$  Трутовика окаймленного (Беларусь) ( $12,6 \cdot 10^{-4}$  %) в 1,6 раза выше  $IC_{50}$  Трутовика окаймленного (Россия) ( $7,94 \cdot 10^{-4}$  %), что свидетельствует о его более низкой АОА.

Сравнение 3 образцов Трутовика настоящего: (Россия, тополь), (Беларусь, береза) и (Россия, береза) показывает, что в пределах концентраций  $10^{-5}$  –  $10^{-2}$  % Трутовик настоящий (Россия, тополь) показывает более высокую АОА. Трутовик настоящий (Беларусь, береза) восстанавливал флуоресценцию флуоресцеина до 94%, тогда как показатель  $A_{max}$  для Трутовика настоящего (Россия, тополь) составлял 91 %, а для Трутовика настоящего (Россия, береза) – 89 %. Причем, у Трутовика настоящего (Беларусь, береза) и (Россия, береза) этот показатель был достигнут при концентрации в 10 раз ниже (0,1%), чем у Трутовика настоящего (Россия, тополь). Однако показатели  $IC_{50}$  (12,6 и  $23,4 \cdot 10^{-4}$  %) Трутовика настоящего (Беларусь, береза) и (Россия, береза) в 2 и 4 раза соответственно выше, чем аналогичный показатель Трутовика настоящего (Россия, тополь) ( $6,03 \cdot 10^{-4}$  %), что свидетельствует о его более высокой АОА. Сравнение данных образцов показывает влияние мест произрастания и вида дерева на состав экстракта трутовых грибов и, соответственно, его АОА.

Проведено сравнение 3 образцов трутовика Траметис разных видов: пушистый, жестковолосистый и разноцветный. Максимальный показатель  $A_{max}$  (94%) получен для Траметиса разноцветного. Аналогичные показатели Траметиса пушистого и жестковолосистого были на 9% ниже и составляли 85%. Однако, показатель  $IC_{50}$  ( $12,6 \cdot 10^{-4}$  %) Траметиса пушистого в этой группе был минимальным, в 1,3 раза ниже  $IC_{50}$  Траметиса жестковолосистого ( $16,2 \cdot 10^{-4}$  %) и в 2 раза ниже  $IC_{50}$  Траметиса разноцветного, что свидетельствует о его более высокой АОА.

Полученные данные показывают, что каждый вид трутовых грибов содержит в своем составе индивидуальный набор веществ, отвечающих за антиоксидантную активность. Место произрастания трутовых грибов также влияет на качественный и количественный состав антиоксидантных веществ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Duru K. The pharmacological potential and possible molecular mechanisms of action of *Inonotus obliquus* from preclinical studies / Duru K, Kovaleva E, Danilova I, van der Bijl P / *Phytotherapy Research*. 2019;33(8):1966–1980.

2. *Khadhri A.* Screening of Bioactive Compounds of Medicinal Mushrooms Collected on Tunisian Territory / A. Khadhri, C. Aouadhi, S. Aschi-Smiti // *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2017;19(2):127–135.
3. *Li Z.* Chaga Medicinal Mushroom, *Inonotus obliquus* (Agaricomycetes) Polysaccharides Suppress Tacrine-induced Apoptosis by ROS-scavenging and Mitochondrial Pathway in HepG2 Cells / Li Z, Mei J, Jiang L, Geng C, Li Q, Yao X, Cao J // *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2019;21(6):583–593.
4. *Predecka M.* Stimulation of the activity of a novel tannase produced in white-rot fungi *Phellinus pini*, *Fomes fomentarius*, and *Tyromyces pubescens* by medium supplementation/ Predecka M, Jaszek M, Graż M, Głuszek N, Małysz K, Nowak A, Żuchowski J, Małecka-Massalska T // *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2016;63(5):652–658.
5. *Тарун Е. И.* Антиоксидантная активность гексагидрохинолонов / Е.И. Тарун, А.В. Данькова, А.Н. Пырко // *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;2: 77–83.

## СИНТЕЗ 8-БРОМАДЕНОЗИНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ PH SYNTHESIS OF 8-BROMOADENOSINE AT DIFFERENT PH VALUES

***М. А. Ханчевский, В. Н. Лесик, Е. И. Квасюк***  
***M. A. Khancheuski, V. N. Lesik, E. I. Kvasyuk***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
maks.khanchevskiy@bk.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В работе описаны методы получения 8-бромаденозина, который является важным промежуточным соединением в синтезе аналогов пуриновых нуклеозидов и нуклеотидов, обладающих широким спектром биологической активности. Изучено влияние значения pH среды на выход 8-бромаденозина. Показано, что значение pH 4,3 является оптимальным для получения 8-бромаденозина реакцией бромирования аденозина раствором брома в воде.

This article shows methods for the preparation of 8-bromoadenosine which is an important intermediate in the syntheses of analogs of purines nucleosides and nucleotides with a broad spectrum of biological activity. The influence of the pH values of the medium on the yield of 8-bromoadenosine was studied. It was showed that pH 4.3 is optimal for the preparation of 8-bromoadenosine by reaction of adenosine with a solution of bromine in water.

*Ключевые слова:* галогензамещенные нуклеозиды, синтез, pH, бромирование, 8-бромаденозин.

*Keywords:* halogenated nucleosides, synthesis, pH, bromination, 8-bromoadenosine.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-132-135>

Изменение в структуре гетероциклического основания или углеводного фрагмента природных нуклеозидов и нуклеотидов приводят к соединениям, получившим названия антиметаболиты. Большое число таких соединений обладает широким спектром биологической активности и нашло практическое применение в медицине в качестве противоопухолевых и противовирусных препаратов [1]. К антиметаболитам, представляющим компоненты нуклеиновых кислот, относятся соединения, содержащие атомы галогена в гетероциклических основаниях или в углеводных фрагментах. Такие галогенсодержащие пуриновые и пиримидиновые гетероциклические основания, нуклеозиды и нуклеотиды могут использоваться непосредственно в качестве лекарственных препаратов или промежуточных соединений в синтезе разнообразных антиметаболитов. Например, 8-хлораденозин (1) (Рис. 1), его 5'-моно- и 3',5'-циклофосфаты обладают сильным цитотоксическим действием в отношении опухоли молочной железы, лейкозов, прямой кишки и легких. Интересно, что все три соединения в клетках превращаются в 8-хлораденозин-5'-трифосфат, который и является активным соединением. Повышение уровня 8-хлораденозин-5'-трифосфата вызывает снижение эндогенного пула аденозинтрифосфата, что приводит к ингибированию синтеза РНК [2].

Особый интерес к 8-галогенпроизводным пуриновых нуклеозидов и нуклеотидов обусловлен тем, что атом галогена в положении С-8 пуринового гетероциклического основания легко вступает в реакцию взаимодействия с нуклеофильными реагентами, что позволяет получать пуриновые антиметаболиты, содержащие в своей структуре фрагменты нуклеофильных агентов, относящихся к различным классам органических соединений. Таким образом были синтезированы пуриновые нуклеозиды и нуклеотиды, содержащие в своём составе в положении С8 пуринового гетероциклического основания синтетические и природные аминокислоты, различные гетероциклы, флуоресцентные зонды для их использования в молекулярной биологии, серу-содержащие остатки и т.д. Полученный нуклеофильным замещением 8-аминоаденозин (2) (Рис. 1), в настоящее время привлекает повышенный

интерес исследователей благодаря своей способности превращаться в клетках в 8-аминоаденозин-5'-трифосфат, который оказался эффективным ингибитором транскрипции [3]. Одним из возможных механизмов ингибирования транскрипции является его внедрение в состав мРНК вместо природного аденозинтрифосфата.

Способность к нуклеофильному замещению галогена в положении С-8 пуринов позволила взаимодействием 8-бромаденозина (3) (Рис. 1) с L-цистеином в физиологических условиях осуществить синтез 8-S-L-цистеиниладенозина (4) [4]. Это предполагает вероятность протекания аналогичной реакции с цистеин-содержащими пептидами и белками, в результате чего можно проводить направленную модификацию пептидных или белковых молекул, что приведет к соединениям-гибридам, обладающим особыми структурными, химическими и биологическими свойствами.

Атом галогена в положении С-8 пуринового гетероциклического основания может вступать также в реакции внутримолекулярного нуклеофильного замещения, приводящие к образованию С8-О2'- (5) и С8-О3'- (6) циклических пуриновых арабинофуранозидов или ксилофуранозидов (Рис. 1), соответственно [5]. Такие соединения обладают жесткой фиксированной конформацией и представляют интерес для изучения их химических свойств и биологической активности.

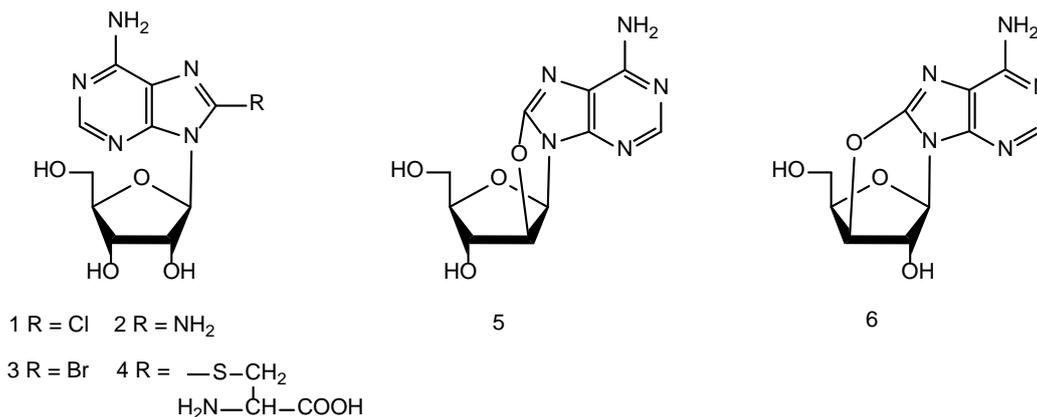


Рис. 1 – Структурные формулы 8-замещенных производных аденозина

Бром производные пуринов служат исходными соединениями и для получения их С8 йодсодержащих аналогов, получение которых прямым йодированием затруднено или вовсе невозможно. Использование радиоактивно меченых бромлирующих реагентов позволяет синтезировать радиоактивно меченые антиметаболиты, использующиеся в медицине в целях диагностики.

Учитывая возможность получения на основе 8-бромаденозина многообразных производных с потенциальной биологической активностью, реакция бромирования пуриновых (а также и пиримидиновых) нуклеозидов и нуклеотидов довольно интенсивно исследована. В зависимости от строения исходного нуклеозида, наличия в нем функциональных групп в гетероциклическом основании и блокирующих групп в углеводном фрагменте, для введения атома брома в положение С8 гетероциклического основания использовались разнообразные реагенты. Наибольшее распространение получили реагенты на основе раствора брома в таких растворителях как вода, четыреххлористый углерод, диметилформамид, смесь уксусной кислоты и пиридина, смесь раствора натрия уксуснокислого и диоксана, а также различные буферные растворы на основе солей фосфорной или уксусной кислот. В качестве доноров брома использовались также N-бромсукцинимид, смесь мета-хлорпербензойной и бромистоводородной кислот, смесь церий аммоний нитрата и лития бромистого в уксусной кислоте или ацетонитриле, смесь калия бромистого и персульфата калия в воде, натриевая соль монобромизоциануровой кислоты в воде и другие реагенты.

Так как атом галогена в положении С8 пуринового гетероциклического основания обладает высокой лабильностью, то реакция бромирования пуриновых производных часто протекает с образованием побочных продуктов неустановленной структуры. В этой связи целью исследования являлось изучение влияния значения рН среды на выход и чистоту 8-бромаденозина при взаимодействии аденозина с водным раствором брома в воде и натрий ацетатном буфере.

Контроль за протеканием реакции и содержанием исходного аденозина и его 8-бромпроизводного проводился с помощью тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинках «Kieselgel 60 F<sub>254</sub>» фирмы «Merck» (Германия) в системе растворителей: хлороформ / метанол (4:1 об / об). Визуализация соединений на пластинках ТСХ осуществлялась просмотром их в ультрафиолетовом свете. В качестве дополнительного метода детектирования пятен продуктов на пластинках ТСХ использовали опрыскивание пластинок раствором нафторезорцина в присутствии серной кислоты. Последующее прогревание пластинок в сушильном шкафу при 80–90°C позволяло наблюдать окрашенные в коричневый цвет пятна продуктов, в которых присутствует углеводный фрагмент. Детектирование продуктов реакции с помощью растворов нафторезорцина в присутствии таких сильных неорганических кислот как серная или фосфорная позволяет наблюдать пятна только тех продуктов, которые содержат в своем составе углеводный фрагмент. Использование двух принципиально различных методов детектирования

продуктов на пластинках ТСХ позволяет определять не видимые в ультрафиолетовом свете побочные продукты реакции.

Синтез 8-бромаденозина проводили при комнатной температуре согласно приведенной ниже схеме реакции (Рис. 2).

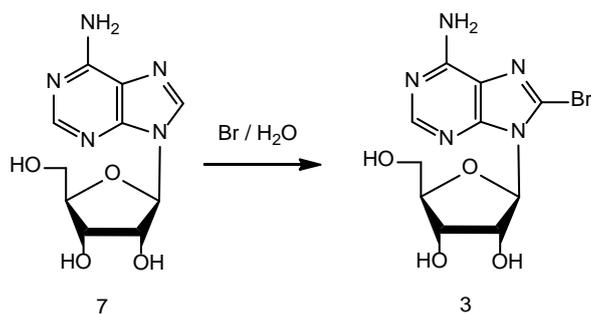


Рис. 2 – Схема синтеза 8-бромаденозина (3) из аденозина 7

К раствору аденозина 7 в воде или в соответствующем буферном растворе при интенсивном перемешивании с помощью магнитной мешалки порциями в течение 20–30 минут добавляли полученный предварительно раствор брома в воде. Каждая следующая порция раствора брома в воде добавлялась после обесцвечивания предыдущей добавленной порции раствора брома. Обесцвечивание раствора брома позволяет визуально следить за скоростью реакции. После добавления последней порции реагента реакцию смесь перемешивали в течение 3–4 часов, осуществляя контроль за полнотой протекания реакции с помощью тонкослойной хроматографии. Затем реакцию смесь оставляли на ночь при комнатной температуре. Выпавший кристаллический осадок 8-бромаденозина (3) отфильтровывали на фильтре Шотта и промывали охлажденной до 0–4°C дистиллированной водой с небольшой добавкой раствора натрия бисульфита и этиловым спиртом. Осадок сушили при комнатной температуре на воздухе и далее в вакууме до постоянного веса. Полученный осадок, содержащий по данным ТСХ, следовые количества исходного аденозина, перекристаллизовывали из горячей дистиллированной воды с небольшой добавкой раствора натрия бисульфита, который необходим для удаления остаточных следов брома и обесцвечивания раствора. Для полноты кристаллизации продукта раствор выдерживали в холодильнике в течение 16–20 часов. Образовавшийся мелкокристаллический тяжелый осадок отфильтровывали, промывали на фильтре охлажденной дистиллированной водой, этиловым спиртом и высушивали при комнатной температуре на воздухе и далее в вакууме до постоянного веса. Конечный выход 8-бромаденозина, не содержащего следов исходного соединения и побочных продуктов составлял 34–70%. Синтезированный 8-бромаденозин по всем параметрам совпадал с заводским образцом сравнения. Выход продуктов реакции в зависимости от значения pH среды представлен в таблице 1.

**Пример 1.** Синтез 8-бромаденозина (3) в натрий ацетатном буфере с pH 4,3.

Аденозин 7 (1 г, 3,74 ммоль) растворяли при нагревании в 50 мл натрий ацетатного буфера с pH 4,3 и затем охлаждали до комнатной температуры. К полученному раствору при интенсивном перемешивании с помощью магнитной мешалки порциями в течение 20–30 минут добавляли свежеприготовленный раствор брома (0,72 г, 4,50 ммоль, 0,23 мл) в 20 мл воды. Полученную реакцию смесь перемешивали при комнатной температуре 3–4 часа, в течение которых в реакционной смеси выпадал осадок продукта. Реакционную смесь оставляли на ночь в холодильнике, осадок отфильтровывали, промывали на фильтре ледяной водой (3×2 мл) и этиловым спиртом (2×3 мл). Осадок 8-бромаденозина (3) сушили до постоянного веса при комнатной температуре, а затем в вакууме. Получали 1,0 г (77 %) 8-бромаденозина в виде кристаллического порошка малинового цвета. Осадок перекристаллизовывали из кипящей дистиллированной воды с добавкой раствора натрия бисульфита для получения бесцветного раствора. Раствор выдерживали в холодильнике в течение 18–20 часов, отфильтровывали, промывали на фильтре холодной дистиллированной водой (2×2 мл) и этиловым спиртом (2×3 мл). Полученный тяжелый мелкокристаллический порошок продукта сушили при комнатной температуре на воздухе, а затем в вакууме до постоянного веса. Получали 0,9 г (90 %) 8-бромаденозина. Суммарный выход продукта составлял 70 %. UV (pH 1):  $\lambda_{max} = 264 \text{ nm}$ .

**Пример 2.** Синтез 8-бромаденозина (3) в натрий ацетатном буфере с pH 4,7 и pH 5,3.

Синтез 8-бромаденозина (3) осуществляли по методике, описанной в примере 1. Выход продукта реакции составлял 0,6 г (47 %) до перекристаллизации и 0,5 г (42 %) после перекристаллизации в случае системы с pH 4,7. При pH 5,3 выход продуктов составлял 0,56 г (43 %) и 0,3 г (39 %) до и после перекристаллизации, соответственно.

**Пример 3.** Синтез 8-бромаденозина (3) воде с pH 7

Аденозин 7 (1 г, 3,74 ммоль) растворяли при нагревании в 50 мл воды с pH 7, раствор охлаждали и порциями добавляли к нему свежеприготовленный раствор брома (0,72 г, 4,50 ммоль, 0,23 мл) в 20 мл воды. Реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре с помощью магнитной мешалки в течение 3–4 часов. Затем

через окрашенный раствор продували воздух в течение 1–2 часов для удаления из раствора остатков брома. Реакционную смесь нейтрализовали раствором натрия бикарбоната с последующим добавлением раствора натрия бисульфита. Образовавшуюся суспензию выдерживали в холодильнике в течение 18–20 часов, и отфильтровывали выпавший осадок. Дальнейшее выделение 8-бромаденозина проводили так, как описано в примере 1. Выход 8-бромаденозина составлял 0,49 г (38 %) до и 0,15 г (34 %) после перекристаллизации, соответственно.

Таблица 1 – Выход 8-бромаденозина (3) в зависимости от pH реакционной среды

№	pH	Выход продукта до перекристаллизации, г / %	Суммарный выход продукта после перекристаллизации, г / %
1	4.3	1 / 90	0.9 / 70
2	4.7	0.6 / 47	0.5 / 42
3	5.3	0.56 / 43	0.3 / 39
4	7	0.49 / 38	0.15 / 34

Таким образом, в результате выполненного исследования было установлено, что использование натрия ацетатного буфера с pH 4,3 является оптимальным для получения 8-бромаденозина реакцией бромирования аденозина с помощью раствора брома в воде.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Shelton J.* Metabolism, biochemical actions, and chemical synthesis of anticancer nucleosides, nucleotides, and base analogs / Shelton J [et al.] // *Chemical Reviews*. 2016;116:14379–14455.
2. *Gandi V.* 8-Chloro-cAMP and 8-chloro-adenosine act by the same mechanism in multiple myeloma cells // *Gandi V [et al.] // Cancer Research*. 2001;61:5474–5479.
3. *Frey JA.* 8-Amino-adenosine inhibits multiple mechanisms of transcription / Frey JA, Gandi V // *Molecular Cancer Therapeutics*. 2010;9:1:236–245.
4. *Suzuki T.* Formation of 8-S-L-cysteinyladenosine from 8-bromo-adenosine and cysteine / Suzuki T [et al.] // *Chem. Pharm. Bull.* 2018;66:2:184–187.
5. *Mieczkowski A.* Preparation of cyclonucleosides / Mieczkowski A, Roy V, Agrofoglio LA // *Chemical Reviews*. – 2010;110:1828–1856.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОЛУЧЕНИЮ ПЕРВИЧНЫХ КУЛЬТУР АЛЬВЕОЛЯРНЫХ ЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ КЛЕТОК METHODOLOGICAL APPROACHES FOR ALVEOLAR EPITHELIAL CELL PRIMARY CULTURES OBTAINING

**А. А. Царик, М. А. Кохнюк, П. В. Альховик, М. Ю. Юркевич**  
**A. A. Tsarik, M. A. Kokhnyuk, P. V. Alkhovik, M. Yu. Yurkevich**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
marija4567@gmail.com*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Проведена оценка эффективности использования различных протеолитических ферментов для дезагрегации ткани легких и представлен оптимизированный метод выделения альвеолярных эпителиоцитов, включающий механическую дезагрегацию ткани с последующей обработкой полученных эксплантов 0,25% раствором трипсина в сочетании с фильтрованием клеточной суспензии через поры диаметром 100 мкм и 50 мкм. Полученные культуры клеток характеризовались высокой жизнеспособностью (более 91%) и морфологической гетерогенностью. Наряду с активно делящимися округлыми клетками, визуализировались дифференцированные альвеолярные эпителиоциты с кубовидной или полигональной морфологией, характеризующиеся высокой секреторной активностью.

Evaluation of various proteolytic enzymes efficiency for disaggregation of lung tissue is carried out and an optimized method for alveolar epithelial cells isolation is presented. This method includes mechanical disaggregation of tissue followed by processing of explanations with 0.25% trypsin solution in combination with filtration of the cell suspension through pores with a diameter of 100 μm and 50 μm. The obtained cell cultures were characterized by high viability (more than 91%) and morphological heterogeneity. Along with actively dividing rounded cells,

differentiated alveolar epithelial cells with cuboid or polygonal morphology, characterized by high secretory activity, were visualized.

**Ключевые слова:** альвеолярные эпителиальные клетки, клеточные культуры, трипсин, коллагеназа, жизнеспособность.

**Keywords:** alveolar epithelial cells, cell cultures, trypsin, collagenase, viability.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-135-138>

Последние годы знаменуются ухудшением экологических условий, что связано и с ростом заболеваемости болезнями органов дыхания. Грипп и другие респираторные вирусные инфекции являются наиболее массовыми заболеваниями, которые занимают ведущее место в структуре инфекционных болезней и составляют 80-90% от всех случаев данных патологий. Если учитывать способность ряда вирусов вызывать частые эпидемии и даже пандемии, то можно утверждать, что они являются проблемой мирового значения. Мировая вспышка тяжелого острого респираторного синдрома (SARS), связанного с обнаружением новой коронавирусной инфекции (COVID-19), способствовало активному изучению молекулярно-клеточных механизмов развития инфекционных патологий, в частности процессов взаимодействия вирусных частиц с альвеолоцитами [1, 2].

Клетки эпителия дыхательных путей и альвеол подвергаются воздействию большого количества вдыхаемого воздуха, содержащего загрязнители и патогены. Альвеолярные эпителиальные клетки входят в состав аэрогемаического барьера, участвуют в транспорте жидких и газообразных веществ, выполняют защитно-барьерную функцию. Данные клетки ответственны за секрецию компонентов сурфактанта, а также за реутилизацию молекул деградированного сурфактантного комплекса. Сурфактант состоит из фосфолипидов и специфических сурфактант-ассоциированных белков и выполняет ряд функций: стимулирует фагоцитоз альвеолярных макрофагов, стабилизирует альвеолоциты, агрегирует бактерии и вирусы, снижает темпы развития системной воспалительной реакции. Наряду с выполнением секреторной функции, альвеолоциты являются активно пролиферирующей популяцией клеток и служат источником для регенерации эпителиальной выстилки легких при ее повреждении и/или гибели части клеток [3].

Функциональное состояние альвеолярных эпителиальных клеток в норме и при ряде патологических процессов можно изучить на тканях легких человека, на животных моделях и с использованием клеточных культур. При этом использование культур клеток обладает рядом преимуществ, так как изолированные альвеолоциты могут подвергаться воздействию патогенетических факторов в контролируемых условиях и ими можно манипулировать, используя различные методы. Существующие иммортализованные клеточные линии, полученные из клеток трахеального / бронхиального эпителия легких человека и других животных, не обладают всем спектром функций альвеолярных эпителиальных клеток [4]. В связи с этим, огромный интерес представляет разработка методов выделения альвеолоцитов из легочной ткани.

Целью данного исследования являлась оптимизация метода выделения жизнеспособных альвеолярных эпителиальных клеток путем механической и ферментативной дезагрегации легочной ткани лабораторных животных.

**Методы исследования.** Экспериментальное исследование проводили с соблюдением положений Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и в научных целях (Страсбург, 1991 г.), и в соответствии с постановлением Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 21.05.2010 №36 «Ветеринарно-санитарные правила по приему, уходу и вскрытию подопытных животных в vivариях научно-исследовательских институтов, станциях, лабораториях, учебных заведениях, а также в питомниках.

Объектами исследования являлись первичные культуры клеток легкого, полученные от 4 беспородных половозрелых крыс с массой тела 270 – 320 г. Лабораторных животных вводили в наркоз путем интракардиального введения раствора тиопентала натрия (45 мг/кг веса), проводили продольную лапаротомию и осуществляли забор обескровленного легкого. Легочную ткань механически измельчали до эксплантов объемом 1-3 мм<sup>3</sup> в фермент-содержащем растворе и инкубировали в течение 30 мин при 37°C в условиях постоянного перемешивания. Для ферментативной дезагрегации легочной ткани использовали два подхода: 0,01% раствор коллагеназы IV типа («Sigma», Германия) и 0,25% раствор трипсин-этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА, «Gibco», США). Ферментативную активность инактивировали путем центрифугирования полученных суспензий в физиологическом растворе (РУП «Белмедпрепараты», РБ) с 10% инактивированной эмбриональной телячьей сывороткой («Capricorn Scientific», Германия) в течение 10 мин. при 1500 об/мин. К осадкам добавляли физиологический раствор с 5% эмбриональной телячьей сывороткой, суспензии последовательно пропускали через фильтры с диаметром пор 100 и 50 мкм и дважды центрифугировали 10 мин. при 1500 об/мин.

Клеточную суспензию высевали в адгезивные чашки Петри в полную культуральную среду DMEM (минимальная среда Игла с низким содержанием глюкозы, модифицированная по способу Дульбекко, «Gibco», США), содержащую 10% эмбриональной телячьей сыворотки, 2мМ L-глутамин, смесь антибиотика – антимикотика (100 Ед/мл бензилпенициллин натрия, 100 Ед/мл стрептомицин сульфата, 100 Ед/мл неомицин сульфата, «Lonza», США). Клетки культивировали при 37°C в условиях 5% CO<sub>2</sub>. Первая замена культуральной среды осуществлялась на 2 день культивирования, впоследствии среда заменялась каждый 3 день.

Мониторинг клеточных культур и визуализацию роста *in vitro* осуществляли с помощью фазово-контрастной микроскопии (микроскоп BS-2036F («BestScore», КНР)). Жизнеспособность клеток оценивали по уровню свя-

звания клетками пропидий йодида и антител к аннексину V, меченных фикоэритрином (Fits, набор реактивов ANNEXIN V - FITC APOPTOSIS DETECTION KIT, «BD Pharmingen», США) с регистрацией результатов на проточном цитометре CytoFLEX («Beckman Coulter», США).

**Результаты исследования.** Для выделения альвеолярных эпителиальных клеток используются разнообразные подходы к дезагрегации ткани легкого: механические, химические, ферментативные, а также их сочетание. Методы отличаются по клеточному выходу, сохранности ультратонкой структуры и жизнеспособности клеток, предусматривают использование различных ферментов (трипсин, коллагеназа, эластаза, проназа, ДНКазы либо сочетание протеаз), фильтров с разным диаметром пор, а также включение дополнительной стадии центрифугирования на градиенте плотности. Кроме того, изолированные альвеолоциты получают методами магнитной сепарации или проточной цитометрии с флуоресцентным сортированием клеток [5, 6].

Выделение клеток из легких лабораторных животных осуществлялось путем механической и ферментативной дезагрегации ткани различными протеолитическими ферментами с коллагенолитической активностью: 0,25% раствор трипсина и 0,01% раствор коллагеназы IV типа. Согласно данным ряда исследований, снижение температуры до 15 °С и времени инкубации с ферментами до 15 минут влияет на выход клеток из ткани легкого, снижая данный показатель на 50%, при этом повышение инкубационного периода оказывает негативное влияние на клеточную жизнеспособность [5]. В связи с этим, оптимальными условиями для выделения достаточного количества жизнеспособных альвеолоцитов явилось время инкубации с ферментами 30 минут и осуществление всех этапов выделения при 37°С. Клетки культивировали в стандартных условиях в питательной среде DMEM, содержащей 10% эмбриональной телячьей сыворотки, 1% смеси антибиотиков-антимикотика, 1% аминокислоты L-глутамин. Большая часть изолированных клеток прикреплялась к адгезивному лабораторному пластику, при этом визуализировались одиночные клетки или клеточные конгломераты, находящиеся в суспензии.

Первичные клеточные культуры обладали морфологической гетерогенностью (рисунок 1). Преобладающее число клеток характеризовалось округлой морфологией с сохраняющейся полярностью и четко очерченным центрально расположенным ядром. Данные морфологические особенности характерны для активно делящихся альвеолярных эпителиальных клеток. Единичные клетки или конгломераты клеток были представлены дифференцированными альвеолярным эпителиальным клеткам, характеризующимися в культурах крупными размерами, кубовидной или полигональной формой, с небольшим центрально расположенным ядром. Клетки крупных размеров содержали множество цитоплазматических вакуолей, что позволяет отнести их к активно секретирующим альвеолярным эпителиоцитам, продуцирующим сурфактантные белки. В значительно меньшем количестве обнаруживались фибробластоподобные медленно пролиферирующие клетки с более или менее неравномерной по плотности цитоплазмой и крупным ядром. В некоторых полученных клеточных культурах визуализировались 1-2 колонии полигональных, плотно прилегающих друг к другу эндотелиальных клеток, которые откреплялись и погибали в первые дни культивирования, так как для поддержания их пролиферативной активности *in vitro* необходимо присутствие в культуральной среде ряда факторов, в частности, сосудистого эндотелиального фактора (VEGF).

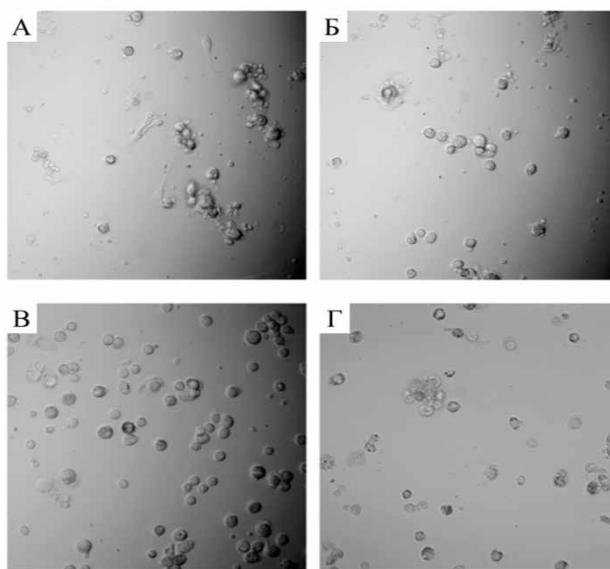


Рисунок 1 – Морфология альвеолярных эпителиальных клеток, полученных путем дезагрегации ткани легкого 0,01% раствором коллагеназы IV типа (А и Б) и 0,25% раствором трипсин-ЭДТА (В и Г), на третий день культивирования (световая микроскопия, ув.20 х)

При дезагрегации легочной ткани сериновой протеазой (трипсином) количество клеток с фибробластоподобной морфологией не превышало 1-5% от общего количества клеток в культуре, тогда как при использовании коллагеназы IV типа доля данных клеток в культурах возрастала и составляла до 10%. Кроме того, клеточный выход при использовании трипсина соответствовал  $6,8(5,4\pm 7,5)\times 10^6$  жизнеспособных альвеолоцитов/грамм ткани

легкого и статистически значимо превышал аналогичный показатель при коллагеназо-опосредованном выделении клеток ( $3,9(2,8\div 5,0) \times 10^6/\text{г}$ ),  $p=0,02$ , *U*-критерий Манна-Уитни.

Для выделения альвеолярных эпителиальных клеток легочной ткани используют ряд методических подходов, основанных на фильтровании с использованием фильтров с диаметром пор 100-150 мкм, а также фильтра с нейлоновой сеткой от 20 до 50 мкм [5]. Добавление этапа фильтрования клеточных суспензий, полученных после ферментативной обработки ткани, через поры диаметром 100 мкм и 50 мкм обеспечивало эффективное удаление эритроцитов, клеточного дебриса и поврежденных клеток. Количество жизнеспособных (негативных по аннексину V и пропидий йодиду) клеток во всех полученных культурах колебалось от 91,0% до 98,5% и составляло по медиане 94,6 (92,1÷97,9) %.

**Заключение.** Метод, включающий механическую дезагрегацию ткани легкого с последующей обработкой полученных эксплантов 0,25% раствором трипсина в сочетании с фильтрованием клеточной суспензии через поры диаметром 100 мкм и 50 мкм, позволяет выделить достаточное количество жизнеспособных альвеолярных эпителиальных клеток ( $6,8(5,4\div 7,5) \times 10^6$  клеток/грамм). При культивировании в стандартных условиях в культуры визуализируются активно делящиеся округлые альвеолоциты и клетки с кубоидной или полигональной морфологией, характеризующиеся высокой секреторной активностью. Примесь фибробластоподобных клеток не превышает 5%. Культуры альвеолярных эпителиальных клеток является уникальной модельной системой для изучения патогенетических процессов на молекулярно-клеточном уровне, для оценки эффективности лекарственных средств и разработки новых терапевтических подходов, а также могут использоваться в целях регенеративной медицины, в том числе для создания тканеинженерных конструкций.

*Работа выполнена в рамках гранта Министерства образования Республики Беларусь на 2021 год.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Carcattera, M.* Alveolar epithelial cell type II as main target of SARS-CoV-2 virus and COVID-19 development via NF-Kb pathway deregulation: A physio-pathological theory / M. Carcattera, C. Caruso // *Med Hypotheses*. – Vol. 146. – 2021. – e.110412.

2. *Miura, T.A.* Respiratory epithelial cells as master communicators during viral infection / T.A. Miura // *Curr Clin Micro Rpt*. – Vol. 6. – 2019. – P. 10 – 17.

3. *Chuquimia, O.D.* Alveolar epithelial cells are critical in protection of the respiratory tract by secretion of factors able to modulate the activity of pulmonary macrophages and directly control bacterial growth / O.D. Chuquimia, D.H. Petursdottir, N.Periolo, C. Fernandez // *Infection and Immunity*. – Vol. 81 (1). – 2012. – P. 381 – 389.

4. *Hiemstra, P.S.* Human lung epithelial cell cultures for analysis of inhaled toxicants: Lessons learned and future directions / P.S. Hiemstra, G. Grootaers [et al.] // *Toxicology In Vitro*. – Vol. 47. – 2018. – P. 137 – 146.

5. *Lee, D.F.* Isolation and characterization of alveolar type II pneumocytes from adult bovine lung / D.F. Lee, F.J. Salguero, D. Grainger [et al.] // *Sci Rep*. – Vol. 8. – 2018. – e.11927.

6. *Gonzalez, R.F.* Isolation and culture of alveolar epithelial type I and type II cells from rat lungs / R.F. Gonzalez, L.G. Dobbs // *Methods Mol Biol*. – 2013. – Vol. 945. – P. 145 – 159.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННОГО ДЕТЕКТОРА ПОРТАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИИ

## QUALITY CONTROL OF THE ELECTRONIC PORTAL IMAGE DETECTOR

***A. A. Шиш<sup>1</sup>, Т. С. Чукова<sup>2</sup>***

***A. A. Shish<sup>1</sup>, T. S. Chikova<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>Республиканский научно-практический центр онкологии  
и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова  
г. Минск, Республика Беларусь  
dorohegoro1315@gmail.com*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им.А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
chts@tut.by*

*<sup>1</sup>State institution «N. N. Alexandrov National Cancer Centre»*

*<sup>2</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Важным элементом современного высокотехнологичного радиотерапевтического комплекса на базе линейного ускорителя электронов является электронный детектор портальных изображений. Он обеспечивает точность позиционирования пациента на лечебном столе, соответствие доставляемого дозового распределения запланированному, позволяет выполнить быструю и точную верификацию лечебных планов с объемной

модуляцией интенсивности облучения. Рассматриваются основные положения контроля качества электронного детектора порталных изображений. Показано, что он включает следующие этапы: установка и ввод оборудования в эксплуатацию; контроль дозы облучения; калибровка; проверка качества клинических изображений; тестирование программного обеспечения; разработка программы гарантии качества, обеспечивающей эффективность и надежность условий облучения пациентов в курсе лучевой терапии.

An important element of a modern high-tech radiotherapy complex based on a linear electron accelerator is an electronic detector of portal images. It ensures the accuracy of the patient's positioning on the treatment table, the compliance of the delivered dose distribution with the planned one, and allows for fast and accurate verification of treatment plans with volumetric modulation of the radiation intensity. The main provisions of the quality control of the electronic portal image detector are considered. It is shown that it includes the following stages: installation and commissioning of equipment; radiation dose control; calibration; quality control of clinical images; software testing; development of a quality assurance program that ensures the effectiveness and reliability of the patient's radiation conditions in the course of radiation therapy.

*Ключевые слова:* онкология, лучевая терапия, линейный ускоритель, электронный детектор порталных изображений, визуализация изображения, распределение дозы, верификация.

*Keywords:* oncology, radiation therapy, linear accelerator, electronic portal imaging, image visualization, dose distribution, verification.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-138-142>

### Введение

В настоящее время наиболее эффективную высококвалифицированную лечебную помощь онкологическим больным обеспечивает облучение злокачественных новообразований с применением линейных ускорителей электронов. Медицинский линейный ускоритель представляет собой радиотерапевтический комплекс, в котором отсутствуют радиоактивные элементы, а высокая концентрация радиации в области новообразования создается облучением узконаправленными лучами. В отличие от традиционного лучевого облучения линейный ускоритель дает более точную фокусировку излучения в теле облучаемого пациента, позволяет контролировать количество отпущенной дозы и распределение дозы в зоне опухоли во время сеанса, значительно уменьшает время воздействия облучения, минимизирует повреждение здоровых тканей организма и, как следствие, сокращает длительность лечения и периода реабилитации.

Качество лучевой терапии злокачественных опухолей и обеспечение наилучших мер радиационной защиты пациентов при ее проведении в определяющей степени зависят от высокой точности рабочих параметров всех элементов радиотерапевтической техники и прецизионной работы линейного ускорителя в целом. По мере совершенствования высокотехнологической лучевой техники разработка методов и устройств контроля качества характеристик современных медицинских ускорителей электронов является актуальнейшей проблемой медицинской физики в мире.

Все преимущества использования технологии лечения с объемной модуляцией интенсивности облучения могут быть реализованы только в том случае, если во время сеанса облучения на целевые и нормальные ткани организма будут доставлены дозы облучения, предписанные планирующей системой. Наличие серьезных различий между дозой, установленной планирующей системой, и распределением дозы, фактически полученным пациентом, могут поставить под угрозу или свести на нет ожидаемый позитивный эффект от лучевой терапии. При проведении курса лучевой терапией под визуальным контролем управление облучением осуществляется с учетом координат фактического плана лучевой терапии на основании использования получаемых изображений. Система порталных изображений является современным техническим средством радиотерапии, способствующим повышению ее эффективности за счет контроля наиболее ответственных звеньев лечебного процесса.

Электронный детектор порталных изображений (ЭДПИ) является эффективным и действенным средством определения точности позиционирования пациента, он обеспечивает возможность проведения процедуры верификации лечебных планов с объемной модуляцией интенсивности облучения.

В Республиканском научно-практическом центре онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова используется электронный детектор порталных изображений aS1000 компании Varian Medical Systems, интегрированный с медицинскими линейными ускорителями Trilogy, Unique и TrueBeam. Он представляет собой расположенный на выходе из тела пациента плоскостанельный детектор из аморфного кремния, смонтированный на механическом манипуляторе E-ARM, который регистрирует изображение внутренней структуры тела пациента в терапевтическом фотонном пучке [1, 2].

Проверка укладки пациента обычно включает сравнение изображения, полученного с помощью ЭДПИ с эталонным изображением, которое создается до начала лечения. Эталонное изображение может быть киловольтным (например, симуляционные снимки), мегавольтным или цифровой реконструкцией рентгеновских снимков (DRR) [3].

Качество изображений, полученных с помощью мегавольтного фотонного излучения, по своей природе хуже, чем качество изображений, полученных с помощью рентгеновского киловольтного излучения. Помимо хорошо известного уменьшения контраста объекта (например, дифференциального затухания между костью или воздухом и мягкими тканями) многие другие факторы по мере увеличения энергии рентгеновского излучения способствуют более низкому качеству портальных изображений. К ним относятся характеристики приемника изображения, рассеяние рентгеновского излучения в теле пациента, размер источника рентгеновского излучения и положение приемника изображения.

Контроль позиционирования пациента не единственная функция электронного детектора портальных изображений, наибольший интерес вызывает контроль дозы, фактически доставленной в зону опухоли и нормальную ткань. Еще в самых ранних работах изучались характеристики различных ЭДПИ для измерения доставляемой дозы. Эти исследования показывают, что при надлежащей калибровке ЭДПИ для создания изображения можно использовать выходную дозу в пределах 2–5% от значений, рассчитанных планирующей системой [3]. Такая возможность использования электронного детектора портальных изображений позволила ему стать важным инструментом проверки и анализа протоколов лечебных планов с объемной модуляцией интенсивности облучения.

К применению любой новой технологии, пусть даже рассчитанной на достижения простой цели, нельзя относиться легкомысленно. Прежде чем успешно внедрить новую технологию в практику, необходимо установить конкретные цели установки, клинические процедуры и протоколы гарантии качества. Понимание того, как новая технология вписывается в клинический процесс и влияет на него, имеет первостепенное значение для успешного внедрения его в практику долгосрочного использования.

### **Установка и ввод в эксплуатацию электронного детектора портальных изображений**

Во время установки/приемки электронного детектора портальных изображений проверяются следующие его характеристики: механическая и электрическая безопасность, геометрическая воспроизводимость, качество изображения и характеристики программного обеспечения. После приемки и ввода в эксплуатацию контролируются эксплуатационные характеристики, относящиеся к клиническому использованию. Однако некоторые элементарные аспекты безопасности ЭДПИ всегда следует проверять, даже если устройства не используются регулярно. К ним относятся:

- Механическая стабильность и целостность корпуса ЭДПИ. Среди рисков при невыполнении этого требования наибольшая опасность состоит в том, что во время вращения гентри ускорителя устройство можно уронить на пациента или медицинский персонал. Особое внимание следует уделять проверке крепления съемных ЭДПИ и исправности механического манипулятора для выдвижных или подвижных электронных детекторов портальных изображений.
- Работа системы обнаружения столкновений. При неисправности этой системы самая серьезная потенциальная опасность состоит в столкновении электронного детектора портальных изображений с пациентом.
- Электрическая изоляция/заземление. Очевидно, что при отсутствии или нарушении заземления и изоляции возможно поражение пациента или медицинского персонала электрическим током. Постоянно необходимо проверять изоляцию источника питания и кабели подключения к детектору. Любой движущийся кабель или кабели, которые потенциально могут коснуться пациента или медицинского персонала, следует визуально проверять один раз в месяц [3].

### **Контроль дозы**

Оптимизация дозы, необходимой для получения изображения, важна и зависит от применения и характеристик самого ЭДПИ. Неправильный контроль дозы может привести к невозможности получения проверочного изображения в заранее установленной дозе. В следствие чего возникает необходимость повторного получения изображения, что в свою очередь увеличивает дозную нагрузку на пациента.

Следует также проверять правильность получения изображения с помощью различных аттенуаторов или антропоморфного фантома [2].

### **Калибровка**

Для большинства систем ЭДПИ требуется своеобразная калибровка изображения. Калибровка позволяет получить поправочные коэффициенты и измерить характеристики ускорителя и ЭДПИ [3], которые способствуют улучшению качества получаемого изображения при повседневном использовании. Часто фоновые сигналы вычитаются, а неоднородность отклика, связанная с характеристиками пучка линейного ускорителя, сокращается. Следует знать, что необходимо минимизировать шум на калибровочных изображениях, поскольку он неизбежно снижает качество клинического изображения.

ЭДПИ должен быть откалиброван для различных условий получения клинических изображений. Процедуры калибровки зависят от типа электронного детектора портальных изображений и рекомендаций производителя [3], однако в любом случае они включают облучение ЭДПИ при определенных условиях.

Калибровка обычно включает измерение темнового тока или шумового изображения. Шумовое изображение представляет собой сигнал, присутствующий в ЭДПИ даже в отсутствии излучения. Далее следует получение изображения полностью открытого поля. Изображение открытого поля используется для корректировки воспро-

изводимых специфических характеристик лечебного поля, таких как изменение интенсивности в профиле пучка. Поскольку характеристики пучка могут зависеть от энергии пучка и размера поля, необходимо также выполнить калибровку при различных энергиях и размерах поля.

Поскольку в некоторых случаях рассеяние и затухание, вносимые пациентом, могут повлиять на качество изображения, поэтому при калибровке должны также учитываться размеры пациента и расстояние от пациента до детектора.

Получение тестового изображения должно выполняться с использованием свежей калибровки электронного детектора портальных изображений, чтобы гарантировать отсутствие артефактов из-за нестабильности ускорителя или объектов в пучке. Частота повторной калибровки зависит от измеренной стабильности качества изображения и от механической устойчивости устройства. Как правило она осуществляется ежемесячно.

### Качество изображения

Качество клинических изображений определяется пространственным и контрастным разрешением. Все современные электронные детекторы портальных изображений обеспечивают контрастное разрешение 1 % или выше для более крупных объектов (>5 мм). Такое качество контрастного разрешения достаточно при выполнении локализации портала для большинства лечебных полей.

Фантом Лас-Вегас (рисунок 1) [3] используется при приемочных испытаниях и при последующем контроле качества.

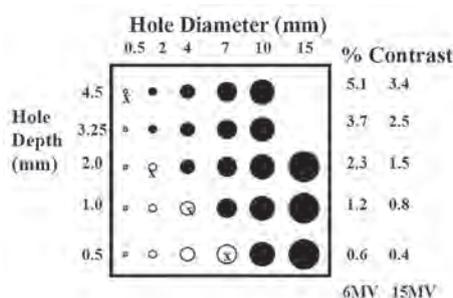


Рис. 1 – Алюминиевый фантом Лас-Вегас для контрастности и пространственного разрешения изображения полученного ЭДПИ

Он состоит из отверстий различных глубин и диаметров, встроенных в алюминиевый блок, которые представляют собой эталоны пространственного и контрастного разрешения. Визуализация определенного отверстия подразумевает определенное разрешение для заданной комбинации линейного ускорителя/ЭДПИ. Правильно настроенные ЭДПИ при использовании пучка фотонов энергией 6 МэВ обычно позволяют увидеть 17 заполненных отверстий из 28 изображенных на рисунке 1. Новейшие детекторы с плоской панелью способны визуализировать все отверстия [3].

Шалев и его коллеги [4] представили фантом и программный инструмент, который позволяет количественно определить разрешение ЭДПИ с помощью воспроизводимого протокола. Полученные значения могут использоваться в качестве базовых для приемных испытаний и постоянного контроля качества любого ЭДПИ.

Независимо от того, какой фантом и программное обеспечение используется для количественного анализа, исходные изображения, полученные во время приемки, являются исходными для постоянного контроля качества ЭДПИ.

### Программное обеспечение

Ввод в эксплуатацию программного обеспечения включает тестирование таких функций, как управление ЭДПИ/линейным ускорителем, сетевые соединения, хранение, архивирование, поиск и резервное копирование, функции безопасности и инструменты анализа. Процесс ввода в эксплуатацию должен включать понимание и определение ограничений источников эталонных изображений (симуляторов, DRR и т.д. [3]), поскольку ошибки, связанные с положением полей, определяются путем сравнения изображений, полученных ЭДПИ, с эталонными изображениями.

### Гарантия качества

Для поддержания работоспособности медицинского линейного ускорителя, при которой его технико-дозиметрические характеристики соответствуют опорным значениям, установленным во время ввода оборудования в эксплуатацию, включая эффективное функционирование электронного детектора портальных изображений необходимо создать программу гарантия качества, обеспечивающую эффективность и надежность условий облучения пациентов в процессе лечения. Такая программа должна определять конкретные верификационные мероприятия, частоты проверок и предельно допустимые отклонения контролируемых характеристик.

Частые (например, ежедневные) процедуры гарантия качества включают меры безопасности, такие как механическая целостность оборудования, блокировки аппаратуры при столкновении (функционирование), позици-

онирование ( $\leq 2$  мм для не стереотаксического аппарата и  $\leq 1$  мм для стереотаксического) и совпадение системы координат детектора и лечебного поля линейного ускорителя ( $\leq 2$  мм для не стереотаксического аппарата и  $\leq 1$  мм для стереотаксического) [5]. Операционные проверки и проверки изображений выполняются путем визуализации фиксированного фантома установленной геометрии с заданной дозой. Это позволяет быстро оценить работоспособность ЭДПИ и качество получаемого изображения.

Ежемесячный контроль качества включает также проверку технической безопасности и механической целостности. Такие параметры как, пространственное разрешение, контрастность, равномерность и шумы должны определяться специально для каждого типа ЭДПИ и для каждого отдельного лечебного учреждения с учетом его оснащенности.

Для отслеживания тенденции ухудшения качества изображения следует анализировать ежедневные результаты контроля качества. Кроме того, периодически (например, ежемесячно) следует подвергать контролю обслуживание диска и базы данных.

Быстрая проверка производительности программного обеспечения для выполнения количественного измерения должна проводиться ежегодно. Контроль качества программного обеспечения должен выполняться также при выходе обновлений программного ресурса, а также при каких-либо изменениях в системе ЭДПИ.

### **Заключение**

При выполнении программы гарантии качества ЭДПИ является быстрым, достаточно точным и простым методом верификации лечебных планов с объемной модуляцией интенсивности облучения. Технология ЭДПИ является важным инструментом для оценки точности позиционирования пациента на лечебном столе; определения соответствия доставляемого дозового распределения и распределения, предписанного планирующей системой; обеспечения высокого качества характеристик медицинского линейного ускорителя и, как следствие, служит гарантом эффективности лечения онкологических больных.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Титович, Е. В.* Оптимизация программы гарантии качества облучения пациентов по методике IMRT / Е.В. Титович, И.Г. Тарутин, А.А. Жигун // Медицинская физика. 2014;4:14–21.
2. *Тарутин, И. Г.* Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии / И.Г.Тарутин, Е.В. Титович. – Минск: Белорусская наука, 2014. – 176 с.
3. *Herman MG.* Clinical use of electronic portal imaging: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 58 / Michael G. Herman [et al.] // Medical Physics. 2001;1(2):38–57.
4. *Herman MG.* Guide to clinical use of electronic portal imaging / Michael G. Herman [et al.] // Journal of Applied Clinical Medical Physics. 2000;1(2):38–57.
5. *Klein EE.* Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators / Eric E. Klein [et al.] // Medical Physics. 2009;36:4197–4212.

## **КОНТРОЛЬ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ОТДЕЛЕНИИ РАДИОИЗОТОПНОЙ ДИАГНОСТИКИ CONTROL AND QUALITY ASSURANCE OF DIAGNOSTIC EQUIPMENT IN THE RADIOISOTOPE DIAGNOSTICS DEPARTMENT**

***Д. В. Шпак, Т. С. Чикова***  
***D. V. Shpak, T. S. Cyikova***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
101dashka@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Метод радионуклидной диагностики онкологических заболеваний, основанный на регистрации излучений при введении в организм больного радиофармпрепаратов, является одним из наиболее высокочувствительных и эффективных. Однако, в настоящее время в мире отсутствует универсальная программа гарантии качества подобного обследования пациентов в отделении ядерной медицины. Обоснована необходимость и актуальность разработки системы контроля и обеспечения качества диагностического оборудования в отделении радиоизотопной диагностики медицинского учреждения. Рассмотрены условия проведения контроля качества, этапы и алгоритмы ежедневного контроля качества, требования к обеспечению качества диагностических аппаратов, включающие кросс-калибровку томографа, проверку стабильности, испытание на гомогенность, проверку пиксельного шума, пространственной разрешающей способности и контрастности, проверку положения стола.

The method of radionuclide diagnostics of cancer diseases based on the registration of radiation when radiopharmaceuticals are injected into the patient's body is one of the most highly sensitive and effective. However, at present, there is no universal program for quality assurance of such examination of patients in the Department of Nuclear Medicine in the world. The necessity and relevance of developing a system of quality control and quality assurance of diagnostic equipment in the department of radioisotope diagnostics of a medical institution have been substantiated. The conditions of quality control, stages, and algorithms of daily quality control, requirements for quality assurance of diagnostic devices, including tomograph cross-calibration, stability check, homogeneity test, pixel noise check, spatial resolution and contrast, table position check are considered.

*Ключевые слова:* онкология, радиоизотопная диагностика, ядерная медицина, радиофармпрепараты, контроль качества, гарантия качества, диагностическое оборудование.

*Keywords:* oncology, radioisotope diagnostics, nuclear medicine, radiopharmaceuticals, quality control, quality assurance, diagnostic equipment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-142-146>

Одна из важнейших задач ядерной медицины состоит в выявлении метаболических нарушений в злокачественных новообразованиях и в окружающих тканях больного, что обеспечивает раннюю диагностику раковых опухолей и, как следствие, способствует успешному лечению заболевания. Методы функциональной визуализации опухолей в ядерной медицине принципиально отличаются от анатомо-топографических методов лучевой диагностики. Радионуклидная диагностика относится к высокочувствительным диагностическим методам ядерной медицины, с помощью которых можно одновременно получать информацию об анатомо-топографическом и функциональном состояниях организма больного.

Исследования больных в отделении радиоизотопной диагностики проводятся с использованием радиофармпрепаратов, вводимых непосредственно в организм пациента. Благодаря их способности накапливаться в исследуемых тканях организма и отображать динамику протекающих в них физиологических процессов можно обнаруживать и оценивать патологические функциональные изменения органов на молекулярном уровне на самых ранних стадиях, когда заболевание еще не имеет выраженной клинической картины. Радионуклидная диагностика не оказывает негативного воздействия на жизнедеятельность организма пациента, поскольку количество вводимого препарата столь мало, что не вызывают побочных эффектов; кроме того, она основана на внешней дистанционной радиометрии излучения.

Уникальные свойства современных радиофармпрепаратов для медико-биологических исследований в радиоизотопной диагностике получены благодаря использованию в качестве биологической метки важных ультракороткоживущих позитрон-излучающих радионуклидов ( $C^{11}$ ,  $N^{13}$ ,  $O^{15}$ ,  $F^{18}$ ) [1].

Радионуклидные методы диагностики используются для выявления онкологических заболеваний в тех случаях, когда изменения структуры опухоли либо не неспецифичны, либо не определяются. Кроме того, их применение оправдано для оценки реакции новообразования на проводимую терапию на ранних стадиях лечения в целях прогнозирования его результатов.

Радионуклидная диагностика в онкологии решает следующие задачи:

- дифференциальная диагностика злокачественных опухолей и доброкачественных новообразований;
- определение локализации опухоли и уточнение стадии процесса;
- выявление метастазов и рецидивов после проведенного лечения;
- оценка эффективности противоопухолевой терапии.

В Учреждении здравоохранения «Минский городской клинический онкологический диспансер» (МГКОД) отделение радиоизотопной диагностики располагает однофотонным эмиссионным томографом (ОФЭКТ) ApyScan S, однофотонным эмиссионным компьютерным томографом, совмещенным с рентгеновским компьютерным томографом (ОФЭКТ/КТ) Symbia Intevo, позитронно-эмиссионным компьютерным томографом, совмещенным с рентгеновским компьютерным томографом (ПЭТ/КТ) Biograph Horizon, кабинетом нефросцинтиграфии с гамма-камерой NephroCam; оснащено современным оборудованием для работы с радиофармпрепаратами [2]. Гамма-аппараты ОФЭКТ/КТ и ПЭТ/КТ позволяют наиболее эффективно проводить дифференциальную диагностику злокачественных и доброкачественных опухолей, определять распространенность новообразования, выявлять ранние рецидивы заболевания, оценивать эффективность проводимого лечения.

Разработка клинически приемлемой программы гарантии качества обследования пациентов со злокачественными новообразованиями с использованием радиофармпрепаратов в отделении радиоизотопной диагностики является актуальной проблемой ядерной медицины.

### **Важность процедур контроля качества и обеспечения качества**

При работе гамма-аппаратов ОФЭКТ/КТ и ПЭТ/КТ во время сканирования и калибровки происходит ионизирующее излучение. Поэтому очень важно каждое утро медицинскому физики правильно произвести процедуру контроля качества диагностического аппарата.

Главные требования правильной процедуры контроля качества, соблюдаемые при калибровки диагностических аппаратов:

- ограничить присутствие персонала в зоне облучения;
- не допускать излишнего радиоактивного излучения;
- соблюдать все необходимые требования по радиационному контролю, безопасности и отчетности, установленным учреждением.

Обеспечение контроля качества диагностических аппаратов способствует нормальной работоспособности системы. В противном же случае существует вероятность постановки неправильного диагноза. Для этого также регулярно производится калибровка и проверка изображений. Обеспечивая неизменно высокое качество изображений, нужно регулярно проводить контрольные измерения с целью оценки качества [3]. Контрольные проверки качества обычно выполняются в несколько этапов:

- ежедневные измерения для обеспечения качества;
- ежемесячные измерения для обеспечения качества (проверка стабильности);
- тест камеры;
- проверка компьютерно-томографического индекса дозы (Computed Tomography Dose Index, CTDI) (каждые 6 месяцев).

### Условия проведения контроля качества

Для проведения контроля качества потребуется набор источников радиоактивного излучения и следующих фантомов:

#### 1. Однородные фантомы с активностью.

Трехмерный однородный фантом Ge-68 представляет собой закрытый источник цилиндрической формы диаметром 20 см и длиной 27 см с активностью до 2,5 мКи. Он используется как с функцией TrueV, так и без нее в следующих случаях:

- во время приемочных испытаний для получения сведений о чувствительности и однородности изображения;
- для калибровки детектора ПЭТ, настройки и синхронизации времени;
- при тестовом сканировании.

Контроль качества системы (ежедневный контроль качества, настройка системы и пр.) откалиброван для использования фантома Ge-68 (20 × 27 см) с активностью до 2,5 мКи как на томографе стандартной конфигурации (3-кольцовая), так и для конфигурации с TrueV (4-кольцовая).

Период полураспада изотопа Ge-68 составляет 270,8 дней, поэтому необходимо тщательно контролировать замену источников.

#### 2. Однородный водный фантом.

Однородный водный фантом представляет собой цилиндр диаметром 20 см и длиной 20 см, который заполняется водным раствором с определенной активностью. Такие фантомы применяются в случаях:

- после процедур по обслуживанию томографа;
- во время приемочных испытаний для получения данных о частоте импульсов, чувствительности, однородности изображения и воспроизводимости измерений;
- для калибровки детекторов;
- для кросс-калибровки системы [1].

### Кросс-калибровка томографа

Этот процесс является важным при проведении процедуры контроля качества и описывает процесс кросс-калибровки томографа по калибратору дозы. Процедура кросс-калибровки томографа проводится в следующем порядке:

- запускается программа контроля качества томографа с частичной настройкой;
- вычисляется поправочный коэффициент кросс-калибровки (СССФ) с помощью фантома с радиоактивным раствором F-18 и встроенного инструмента кросс-калибровки системы;
- томограф калибруется, для того, чтобы убедиться в успешной кросскалибровке томографа по калибратору дозы;
- выполняется сканирование фантома с радиоактивным раствором с использованием стандартного протокола Cross Calibration (Кросс-калибровка) и числом импульсов 100000000;
- записывается Scan Start Time (Время начала сканирования) в инструмент кросс-калибровки.

Значение Calculated Specific Activity Scan Start (Рассчитанная удельная активность в начале сканирования) рассчитывается в рабочей таблице по формуле:

$$A_{calc}^{scan} = \frac{A_{assayed}}{V_{phantom}} * e^{-ln2 * \frac{tdelay}{110min}},$$

где  $A_{assayed}$  – чистая доза в (Бк);

$V_{phantom}$  – объем фантома в мл;

$tdelay$  – время задержки перед началом сканирования.

По завершении кросс-калибровочного сканирования фантома с радиоактивным раствором загружается изображение на карту задач Viewing (Просмотр). Результат оценивается медицинским физиком.

### Ежедневный контроль качества диагностических аппаратов

Ежедневно перед началом обследования необходимо проводить контроль качества гамма-аппаратов части КТ. При ежедневном контроле качества проверяются только три параметра с использованием водного фантома:

- КТ-значение воды рассчитывается в единицах Хаунсфилда (HU);
- пиксельный шум рассчитывается в виде стандартного отклонения;
- напряжения на трубке измеряются непосредственно на рентгеновской трубке. Эти измерения выполняются для всех имеющихся значений кВ.

### Обеспечение качества диагностических аппаратов

К обеспечению качества стоит обязательно отнести проверку стабильности гибридных гамма-аппаратов. Наряду с другими характерными параметрами те величины, которые подвергаются ежедневному контролю, проходят ежемесячную проверку на стабильность. Эти проверки проводятся с использованием полного набора фантомов.

Не реже одного раза в шесть месяцев должно проводиться измерение СТДИ (индекс КТ-дозы). Измерение СТДИ должно быть также проведено после любых работ по техническому обслуживанию, которые могут оказывать влияние на результаты проверки. Для ежемесячной проверки стабильности требуются следующие фантомы и принадлежности:

- Держатель фантома;
- Набор фантомов;
- Груз 100 кг;
- Рулетка с длиной ленты 40 см или более [1].

### Проверка стабильности

Проверка стабильности в себя включает следующие этапы:

#### 1. Проверка внутреннего светового прицела.

При выполнении контроля качества определяется отклонение внутреннего светового прицела от текущей плоскости сечения.

#### 2. Проверка сагиттального и фронтального светового прицела.

Фантом толщины среза позиционирован так, что сагиттальный и горизонтальный световые указатели помечают горизонтальный и вертикальный центр. При измерении в изображении определяется центр фантома. Результатом является отклонение от горизонтального и вертикального центра изображения до центра фантома.

#### 3. Проверка расположения предварительного изображения.

#### 4. Проверка толщины среза.

Толщина среза определяется с помощью фантома среза заданной толщины. Для каждого значения толщины среза создается томограмма фантома, на основании которой рассчитывается действительная толщина среза.

### Испытание на гомогенность

С помощью этой проверки контролируется гомогенность (однородность) КТ-значений в пределах пяти участков водяного фантома. Создается изображение водяного фантома. На изображении выделяется 5 интересных областей – одна центральная и четыре периферийных. Помимо интересных областей, на изображении представляются средние величины и стандартные (среднеквадратичные) отклонения КТ-значений. На изображении представляется расхождение между средними значениями, полученными для центральной и периферийных интересных областей.

### Проверка пиксельного шума

Пиксельный шум (шум дискретизации изображения) определяется по двум томограммам водяного фантома. Два изображения водяного фантома записываются с идентичными параметрами. На экране представляется разница, полученная по результатам первого и второго измерения. Выполняются оценки следующих параметров:

- Интересующая область;
- средняя величина КТ-значения;
- сигма-коэффициент (пиксельный шум).

### Проверка MTF

Пространственная разрешающая способность оценивается с помощью частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) (MTF – modulation transfer function). Эта функция описывает амплитуду контрастности структуры из чередующихся штрихов при различных локальных частотах относительно случая с идеальной передачей модуляции. Значение 2% MTF представляет собой локальную частоту, при которой контрастность структуры из периодически чередующихся штрихов этой локальной частоты уменьшается до 2%. На практике значения MTF определяются с помощью отдельной тонкой проволочки.

MTF отображается графически как функция локальной частоты (пар линий/см). Кроме того, на экране показываются три характеристических значения 50% MTF, 10% MTF и 2% MTF.

### Проверка контрастности

С помощью этой проверки вы измерите шкалу контрастности путем измерения в воздухе и воде. Выполняется оценка центральной интересующей области, на дисплей выводится соответствующее среднее значение (ME) и стандартное отклонение (SD).

### Проверка положения стола

Используя данную процедуру контроля, проверяется, будет ли реальное положение стола пациента соответствовать тому положению, которое отображается на экране. Для проведения этого измерения устанавливается рулетка на подвижную часть стола пациента таким образом, чтобы метка 0 мм совпадала с неподвижной частью стола пациента. а после устанавливается на стол пациента груз весом 100 кг.

### Проверка воздуха CTDI

В рамках этой проверки измеряется доза по оси системы. Ионизационная камера зацентрирована в аксиальном направлении на оси системы. Плоскость среза должна проходить через центр камеры. К ионизационной камере подключен соответствующий дозиметр.

### Отчет ежедневного контроля качества

Изображения, полученные при измерениях Daily Quality (Качестве ежедневно), сохраняются в виде изображений «Quality Assurance Patient» в браузере пациентов. Новые изображения переписывают старые. Все значения измерений Daily Quality (Качество ежедневно) сохраняются в отчетах о проверке стабильности.

Достижение высоких стандартов эффективности и надежности радиоизотопной диагностики возможно только при условии разработки качественных протоколов обследования пациентов, создания методологии и порядка проведения процедур гарантии качества работы оборудования и алгоритмов диагностики злокачественных новообразований при использовании радиофармпрепаратов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Quality assurance and quality control in nuclear facilities and activities. – Vienna : IAEA, 2020. – 136 p.
2. Минский городской клинический онкологический диспансер: Отделение радиоизотопной диагностики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mgkod.by/o-dispansere/strukturnye-podrazdeleniya/struktura/719-otdelenie-radioizotopnoj-diagnostiki> . Дата доступа: 15.03.2021.
3. The management system for facilities and activities : Safety Requirements : No. GS-R-3. – Vienna : IAEA, 2006. – 48 p.

## АНАЛИЗ АССОЦИАЦИИ ВАРИАНТОВ ГЕНА VDR С УРОВНЕМ ВИТАМИНА D В СЫВОРОТКЕ ПАЦИЕНТОВ С КОСТНО-МЫШЕЧНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ ANALYSIS OF ASSOCIATION OF VDR GENE VARIANTS WITH SERUM VITAMIN D LEVEL IN PATIENTS WITH BONE-MUSCULAR DISEASE

**А. В. Яршевич<sup>1</sup>, П. М. Морозик<sup>1,2</sup>**

**A. Yarshevich<sup>1</sup>, P. Marozik<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ

г.Минск, Республика Беларусь

[pepy\\_rjaya@mail.ru](mailto:pepy_rjaya@mail.ru)

<sup>2</sup>Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Institute of Genetics and Cytology of the NAS Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Патология костно-мышечной системы рассматривается в ряду мультифакториальных заболеваний, патогенез которых является комплексным и обусловлен взаимодействием средовых и эндогенных факторов. Важную роль в прогрессировании патологии, играют нарушения в метаболизме и снижении чувствительности к витамину D. Исследования последних двух десятилетий показали: разнообразные биологические действия активного метаболита витамина D – 1,25-дигидроксивитамина D (кальцитриола) – осуществляются посредством модуляции экспрессии генов, которые опосредованы взаимодействием с внутриклеточным рецептором витамина D (VDR).

VDR является продуктом соответствующего гена – VDR, который определяет его структуру и функциональную активность. В этом гене выявлено определенное количество полиморфных вариантов, которые могут влиять на экспрессию гена.

Currently, the pathology of the musculoskeletal system is considered in several multifactorial diseases, the pathogenesis of which is complex and is due to the interaction of environmental and endogenous factors. An important role in the progression of pathology is played by disorders in metabolism and a decrease in sensitivity to vitamin D. Studies of the past two decades have shown that the various biological actions of the active metabolite of vitamin D – 1,25-dihydroxy vitamin D (calcitriol) – are carried out by modulating the expression of genes that are mediated by interaction with the intracellular vitamin D receptor (VDR).

VDR is a product of the corresponding gene – VDR, which determines its structure and functional activity. In this gene, a certain number of polymorphic variants have been identified that can affect gene expression.

*Ключевые слова:* метаболизм, кальцитриол, полиморфизм гена, минерализация костей, гены-кандидаты.

*Keywords:* metabolism, calcitriol, gene polymorphism, bone mineralization, candidate genes.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-146-149>

## Введение

Витамин D является важным жирорастворимым витамином и стероидным прогормоном, который играет важнейшую роль в минерализации костей. Он регулирует концентрацию кальция и фосфора в крови, а также обеспечивает их достаточное количество для высвобождения гидроксиапатита кальция в костный матрикс. Уже давно наблюдается связь дефицита витамина D с рахитом у детей и остеопорозом у взрослых. В добавок, помимо заболеваний опорно-двигательного аппарата, существует целый ряд распространенных заболеваний, которые имеют важное значение для общественного здравоохранения, в том числе: рак, аутоиммунные воспалительные заболевания, инфекционные заболевания, сердечно-сосудистые заболевания и сахарный диабет, все они взаимосвязаны с витамином D [1].

Существует две формы витамина D, витамин D<sub>2</sub> (эргокальциферол), в основном потребляется с пищей; и витамин D<sub>3</sub> (холекальциферол), в основном синтезируется в коже из провитамина D<sub>3</sub> (7-дегидрохолестерин) при воздействии ультрафиолетового излучения солнечного света.

Синтезируемый кожей, витамин D<sub>3</sub> и витамин D<sub>2</sub>, поступивший с пищей, транспортируются в печень, где происходит метаболизм фермента 25-гидроксилаза (CYP2R1) в его основную циркулирующую форму, 25-гидроксивитамин D [25 (OH) D].

25 (OH) D биологически не действует на метаболизм кальция в физиологических концентрациях и требует дальнейшего гидроксилирования ферментом 25 (OH) D-1 $\alpha$ -гидроксилазы (CYP27B1) в почках для выработки его биологически активной формы 1,25-гидроксивитамина D [1,25 (OH) 2D]. Это и есть метаболический путь, ведущий к синтезу активного витамина D [3].

Оба метаболита витамина D [25 (OH) D и 1,25 (OH) 2D] содержатся в сыворотке крови, их содержание можно измерить с целью проведения генетических исследований метаболизма витамина D. Хотя 1,25 (OH) 2D является наиболее активной формой витамина D и выполняет основную биологическую функцию, он имеет более короткий период полураспада и концентрацию: в 1000 раз ниже, чем 25 (OH) D. Следовательно, запасы витамина D в организме лучше всего отследить по уровню циркуляции более стабильного и распространенного 25 (OH) D [1].

Вариации последовательности ДНК, которые часто встречаются в популяции, называются «полиморфизмами» и могут иметь истинные биологические эффекты. Их обилие в геноме человека, а также высокая частота в человеческой популяции сделали их мишенями для объяснения различий в риске распространенных заболеваний. Недавние исследования показали, что существует много полиморфизмов в гене рецептора витамина D (VDR), но влияние полиморфизмов гена VDR на функцию белка VDR и сигнализацию в значительной степени неизвестно [3].

Изучение генетических детерминант витамина D может расширить знания о присущих ему признаках, помочь в скрининге дефицита витамина D, а также в развитии индивидуальных рекомендаций о его пользе. Генетические варианты, связанные с витамином D могут служить инструментальными переменными для последующей менделевской рандомизации, помогут провести анализ и выявить причинно-следственные связи между витамином D, а также другие свойства, включая здоровье костей. Кроме того, общая этиология между витамином D и другими признаками может быть выяснена с помощью количественной оценки общегеномной генетической корреляции или идентификации плеотропных локусов. Многие недавние достижения и усилия в области генетики уже выделили несколько генов, связанных с витамином D.

Гены-кандидаты, связанные с уровнем витамина D, можно разделить на несколько категорий; i-гены которые участвуют в производстве 25 (OH) D (приток), ii-гены, участвующие в последующей активации 25 (OH) D в активный лиганд 25 (OH) D и гормон (отток), iii-носитель особенности белка (который связывается с молекулой 25 (OH) D и активным лигандом 25 (OH) D, iv-рецептор и связанные с ним коактивирующие белки (вливают на исполнительную способность лиганда-рецептора), и другие v-процессы второго порядка, которые влияют на регуляторные пути, такие как кальций и (или) концентрации паратироидного гормона[4].

Витамин D и его активные метаболиты, участвующие в процессах минерализации костной ткани, поддержания кальциевого гомеостаза и ремоделировании костной ткани опосредуются через рецептор-VDR. Рецептор VDR экспрессируется на клеточных поверхностях кишечника, щитовидной железы и почек и играет ключевую роль в гомеостазе кальция[2].

Человеческий ген VDR локализован на коротком плече хромосомы 12 и состоит из 9 экзонов, которые кодируют 427 аминокислотных белков [ ]. В гене VDR было обнаружено несколько распространенных вариаций полиморфной последовательности. Также установлено, что генотипы связаны с широким спектром заболеваний костно-мышечной системы, а именно с рассеянным склерозом, остеопорозом, витамин D-зависимым рахитом II типа и другими сложными заболеваниями [5].

Мутации в функциональных областях гена VDR влияют на метаболизм минералов, в особенности кальция и, следовательно, плотность костной ткани. В последние годы было проведено множество исследований для изучения корреляции между вариантами гена VDR и риском остеопороза [3].

По данным Международного фонда остеопороза адекватный уровень витамина D в крови предположительно составляет 30 нг/мл [5]. Поэтому для выявления лиц с повышенным риском патологии костно-мышечной системы важно выявить варианты генов, которые отвечают за низкий уровень МПКТ. Это позволит предложить индивидуальный клинический подход для профилактики развития этих заболеваний.

### Материалы и методы

В исследовании приняло участие 350 пациенток с постменопаузальным остеопорозом и низкоэнергетическими переломами в анамнезе (группа ПМО, средний возраст 62,8±3,3 года), в контрольную группу – 243 постменопаузальных женщин с нормальными значениями МПКТ, без переломов в анамнезе (группа КОН, средний возраст 62,2±5,4 года). Критерии включения в исследование: женский пол, продолжительность менопаузы не менее 3 лет. Критерии исключения: наличие сопутствующих заболеваний или прием медикаментов, оказывающих влияние на метаболизм костной ткани (кроме препаратов для лечения остеопороза (препараты кальция, витамин D, бисфосфонаты, деносу-маб). Все включенные в исследование женщины подписали письменное информированное согласие на участие в исследовании. Состояние МПКТ исследовали методом двуэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДРА) с помощью рентгеновского денситометра LUNAR Prodigy фирмы GE (США) с программным обеспечением CORE v8.5. Измеряли показатели МПКТ поясничных позвонков (L1–L4) и шеек бедренных костей. Диагноз постменопаузального остеопороза (ПМО) устанавливался на основании показателем Т-критерия для женщин европеоидной расы в соответствии с рекомендациями ВОЗ:  $T \geq -1,0$  – норма,  $T = -1,0 \dots -2,5$  – остеопения,  $T \leq -2,5$  – остеопороз. Результаты измерений МПКТ представлены в виде среднего значения ± стандартная ошибка (в г/см<sup>2</sup>). В качестве биологического материала для генотипирования использовали тотальную геномную ДНК, выделенную из Buccal epithelium с помощью коммерческих наборов Нуклеосорб-А (ОДО «Праймтех», Беларусь) согласно инструкции производителя. Анализ полиморфных вариантов VDR ApaI rs7975232, BsmI rs1544410, TaqI rs731236, FokI rs2228570 и Cdx2 rs11568820 осуществляли с помощью коммерческих наборов праймеров и зондов TaqMan® компании AppliedBiosystems (США) в соответствии с инструкцией производителя. Для детекции флуоресценции, а также первичной обработки результатов использовали программное обеспечение CFX Manager 3.1 прибора CFX96, BIO-RAD (США). Во время каждой постановки ПЦР применяли положительный и отрицательный контроли. Для статистической обработки результатов исследования использовали программу R (<http://www.r-project.org/>) для Windows.

### Результаты и обсуждение

Результаты генотипирования пациентов исследуемых групп по пяти маркерам представлены в таблице 1. Распределение частот генотипов по всем анализируемым полиморфным вариантам гена VDR в исследуемых группах не отличалось от ожидаемого распределения Харди–Вайнберга ( $p > 0,05$ ).

Таблица 3 – Распределение частот генотипов вариантов гена VDR среди пациентов с остеопорозом (ПМО) и контрольной группой (КОН)

Вариант	Генотип	ПМО, %	КОН, %	Коэффициент OR (95% ДИ)	P
VDR ApaI rs7975232	C/C	23,8	31,3	1	<b>0,027</b>
	C/A	45,1	46,9	1,3 (0,8–1,9)	
	A/A	31,1	21,8	<b>1,9 (1,2–3,0)</b>	
VDR BsmI rs1544410	C/C	23,3	37,0	1	<b>0,006</b>
	C/T	46,6	44,4	<b>1,7 (1,1–2,5)</b>	
	T/T	30,1	18,5	<b>2,6 (1,6–4,2)</b>	
VDR TaqI rs731236	G/G	24,4	37,9	1	<b>0,001</b>
	A/G	47,8	46,6	<b>1,7 (1,2–2,5)</b>	
	A/A	27,9	18,5	<b>2,3 (1,5–3,7)</b>	
VDR FokI rs2228570	G/G	26,6	32,3	1	0,45
	A/G	49,7	50,8	4,5 (2,4–8,7)	
	A/A	23,7	16,9	29,3 (3,6–241,0)	
VDR Cdx2 rs11568820*	C/C	70,7	66,2	1	0,3
	C/T + T/T	29,3	33,8	0,8 (0,6–1,2)	

(\*) – использовалась доминантная модель наследования

Как показывают результаты, представленные в табл. 1, статистически значимая ассоциация с риском GVI была выявлена для вариантов ApaI rs7975232, BsmI rs1544410 и TaqI rs731236 гена *VDR*. Частота встречаемости генотипа BsmI T/T была существенно выше в группе ПМО (30,1%) по сравнению с контролем (18,5%, OR=2,6, 95% ДИ 1,6–4,2, P=0,006). Среди носителей гомозиготного генотипа A/A варианта TaqI rs731236, риск остеопороза был повышен (OR=2,3, 95% ДИ 1,5–3,7, P=0,001). Повышенный риск заболевания также был выявлен для носителей гетерозиготных генотипов по маркерам BsmI и TaqI. Кроме того, среди пациентов с ПМО, частота гомозиготного генотипа ApaI A/A (31,1%) была выше по сравнению с контрольной группой (21,8%, OR=1,9, 95% CI 1,2–3,0, P=0,027).

Особый интерес представляет анализ ассоциации уровня 25-гидроксивитамина D в сыворотке крови с вариантами гена *VDR*. С помощью множественного регрессионного анализа была выявлена связь уровня 25(OH)D с вариантом *VDR* TaqI rs731236 (рис. 1, А). С вариантами ApaI rs7975232, BsmI rs1544410, FokI rs2228570 и Cdx2 rs11568820 статистически значимой ассоциации выявлено не было.

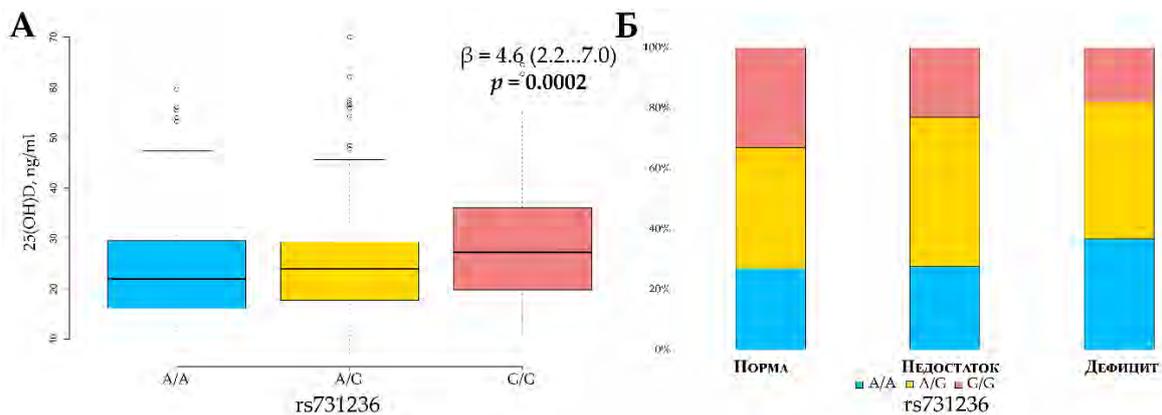


Рис. 1 – Ассоциация уровня 25(OH)D с генотипами *VDR* TaqI 731236 (А) и их распределение в группах с различным статусом витамина D (Б)

Особо стоит отметить, что для варианта TaqI rs731236 была выявлена достоверная ген-дозовая-зависимость с уровнем 25(OH)D – максимальный уровень витамина D наблюдался у носителей генотипа G/G, минимальный – у носителей генотипа A/A, у гетерозигот – промежуточный (ANOVA тест P = 0,0005). С помощью  $\chi^2$ -критерия, мы также оценили распределение генотипов TaqI rs731236 в разных группах участников исследования в соответствии со статусом витамина D (норма, недостаток, дефицит), в результате чего была выявлена статистически достоверные различия ( $\chi^2 = 12,8$ , P = 0,012, рис. 1, Б). Частота встречаемости генотипа G/G была выше среди участников исследования с нормальным уровнем витамина D, в то время как генотип A/A был связан с дефицитом витамина D.

Таким образом, нами выявлены информативные генетических маркеры, статистически значимо ассоциированные с риском развития постменопаузального остеопороза, а также с уровнем витамина D. Выявление неблагоприятных вариантов гена *VDR* позволит оценивать индивидуальный риск остеопороза, что позволит существенно повысить качество его профилактики и терапии, снизить вероятность возникновения осложнений, повысить качество жизни.

## ЛИТЕРАТУРА

- Altieri B, Muscogiuri G, Barrea L, Mathieu C, Vallone CV, Mascitelli L, Bizzaro G, Altieri VM, Tirabassi G, Balercia G, Savastano S, Bizzaro N, Ronchi CL, Colao A, Pontecorvi A, Della Casa S. Does vitamin D play a role in autoimmune endocrine disorders? / Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders. 2017;18:335–346.
- Hunter D, De Lange M, Snieder H, MacGregor AJ, Swaminathan R, Thakker RV, Spector TD. Genetic contribution to bone metabolism, calcium excretion, and vitamin D and parathyroid hormone regulation / Journal of Bone and Mineral Research. 2001;16:371–378.
- Jones G, Strugnelli SA, DeLuca HF. Current understanding of the molecular actions of vitamin D. / Physiological Review. 1998;78:1193–1231.
- McCullum EV, Simmonds N, Becker JE, Shipley PG. An experimental demonstration of the existence of a vitamin which promotes calcium deposition. J Biol Chem 1922;53:293–8.
- Favus MJ, Goltzman D. Regulation of calcium and magnesium / In: Rosen CJ (ed.). Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism. 8th edition. – Ames, IA: Wiley–Blackwell; 2013. p. 173–9.



**РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ,  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ**



# ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС КАК ВАЖНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

## TROPHIC STATUS AS AN IMPORTANT INDICATOR OF THE ECOLOGICAL STATE OF WATER ECOSYSTEMS

**Б. В. Адамович**  
**B. V. Adamovich**

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь,  
belaqualab@gmail.com  
Belarusian State University, Minsk, Belarus*

Трофический статус является одной из ключевых характеристик водных экосистем, наиболее адекватно отражающий уровень эвтрофирования природных вод. На примере озер Нарочанского региона показана возможность использования индекса трофического состояния Карлсона (TSI) для оценки трофности водных объектов Беларуси.

Trophic status is one of the key characteristics of aquatic ecosystems, which most adequately reflects the level of eutrophication of natural waters. We have shown the possibility of using the Carlson trophic state index (TSI) for assessment of the trophicity of surface waters in Belarus on the example of the lakes of the Naroch region.

*Ключевые слова:* трофический статус, водные экосистемы, озера, индекса трофического состояния.

*Keywords:* trophic status, aquatic ecosystems, lakes, trophic state index.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-7-10>

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-153-155>

Современный трофический статус каждого конкретного водоема определяет исторически сложившаяся совокупность географических и экологических факторов (таких, как характер донных отложений, морфометрия озерной котловины, гидрохимический режим, структура и биогенная нагрузка на водосборную территорию) [1, 2]. Измерение трофического статуса вытекает из концепции Наумана об уровне продуктивности водной экосистемы [3]. Проблема изменения трофического состояния водных объектов особенно обострилась во второй половине 20 века, когда процессы эвтрофирования, т. е. повышения продуктивности водных экосистем преимущественно под действием антропогенных факторов, приобрели глобальный характер. Наиболее объективная оценка экологического состояния и трофического статуса водного объекта возможна только с помощью как можно более полного описания особенностей биологических, химических и физических параметров водоема [4]. Очевидна необходимость численного выражения оценки трофности, что дает возможность сопоставления результатов, полученных разными специалистами на разных объектах. Одним из самых популярных индексов, характеризующих трофическое состояние, является индекс, предложенный Карлсоном [5]. Расчет индекса проводится по трем гидроэкологическим показателям: содержанию в воде хлорофилла а, общего фосфора и прозрачности по диску Секки. В дальнейшем [6] было предложено дополнение индекса в виде оценки трофности по содержанию в воде общего азота. Индекс трофического состояния рассчитывают по каждому из предложенных Карлсоном параметров (прозрачность по диску Секки, концентрации хлорофилла-а и общего фосфора) по формулам (2–4), описывающим логарифмические кривые изменения индекса [7].

$$TSI_{SD} = -14,388 \ln(SD) + 59,909, \quad (1)$$

где  $TSI_{SD}$  – индекс трофности, рассчитанный по прозрачности воды;  
 $SD$  – прозрачность по диску Секки, м.

$$TSI_{TP} = 14,427 \ln(TP) + 4,1504, \quad (2)$$

где  $TSI_{TP}$  – индекс трофности, рассчитанный по общему фосфору;  
 $TP$  – содержание в воде общего фосфора, мг/м<sup>3</sup>.

$$TSI_{Chl.a} = 9,7552 \ln(Chl.a) + 30,913, \quad (3)$$

где  $TSI_{Chl.a}$  – индекс трофности, рассчитанный по хлорофиллу-а;  
 $Chl.a$  – содержание в воде хлорофилла-а, мг/м<sup>3</sup>.

В качестве интегрированного значения взято среднее из трех рассчитанных индексов по формуле (4).

$$TSI = \frac{TSI_{TP} + TSI_{Chl.a} + TSI_{SD}}{3}. \quad (4)$$

Карлсоном были предложены формулы расчета индекса по каждому из показателей, т. е. каждый вариант индекса является фактически самостоятельным и может служить численной мерой выражения трофического статуса водного объекта. Так, были получены хорошие результаты при оценке водохранилищ с использованием индек-

са, рассчитанного только по общему фосфору [8]. Выбор этого показателя был обоснован тем, что именно фосфору принадлежит ключевая роль в процессе эвтрофирования поверхностных вод. Кроме того, не обнаружено связи между ТР и площадью водоема, что также свидетельствует об объективности этого показателя для оценки трофического статуса. Однако отмечено, что наиболее объективным компонентом при определении только по одному индексу, является содержание хлорофилла, затем следует фосфор [8]. Использование в расчете индекса Карлсона концентрации общего фосфора базируется на предположении, что из всех биогенных элементов лимитирующим фактором является именно фосфор [9–12]. Определение концентрации хлорофилла а – главного фотосинтетического пигмента – является одним из ключевых подходов в оценке продуктивности и экологического состояния водных экосистем.

Современный трофический статус озер НП «Нарочанский» был оценен на основании индекса трофического состояния Карлсона (TSI) по данным о содержании общего фосфора и хлорофилла а, полученным за период 2014–2019 гг. Для озер (Нарочь, Мястро, Баторино, Белое, Б. Швакшты, Рудаково, Свирь, Ходосы) использованы данные интегральных проб воды, отобранные в рамках мониторинговых наблюдений. Для остальных озер НП «Нарочанский» использованы данные одного или нескольких отборов проб в летний период (июль, август) в поверхностном слое воды (0,5 м). Использование летних величин, полученных в период максимальных температур, позволяет провести градацию и сравнение всех водоемов Национального парка по ключевым гидроэкологическим показателям столба воды. Выбор этих показателей обусловлен тем, что именно фосфору и азоту принадлежит ключевая роль в процессе эвтрофирования поверхностных вод. Распределение концентраций общего азота, фосфора и хлорофилла свидетельствует о том, что азот не является определяющим в формировании трофического статуса озер Национального парка. Как в большинстве европейских озер в зоне умеренного климата, эта роль принадлежит фосфору.

Из рисунка 1 видно, что озера Нарочанского региона охватывают широкий диапазон трофности. По уровню трофности озера Национального парка находятся в пределах от олиготрофных, до фактически гипертрофных условий. Можно сказать, что экосистемы озер, находящиеся выше и на границе эвтрофной зоны, испытывают сильную и устойчивую биогенную нагрузку, что приводит к уменьшению рекреационной привлекательности и снижению, в традиционном понимании, качества воды.

Трофический статус является одной из ключевых характеристик водного объекта, наиболее адекватно отражающей уровень эвтрофирования природных вод. Из различных вариантов оценки трофического статуса нами использован Индекс трофического состояния Карлсона (TSI). Также в ряде наших работ предложены варианты расчета этого индекса по ряду показателей, таких, как биомасса фитопланктона, концентрация сестона, общего углерода и БПК<sub>5</sub> [9], не используемых Р.Карлсоном в первоначальном варианте расчета индекса. Как показали наши многолетние исследования на озерах Нарочанской группы, адекватным показателем для оценки трофности водоема является численность бактериопланктона [13], причем консервативность сезонной динамики этого показателя позволяет нивелировать вариабельность при сравнении водоемов, трофность которых оценена в разное время вегетационного сезона. Численные оценки при расчете индекса по разным показателям хорошо соотносятся между собой. Целесообразным является введение показателя трофического статуса в структуру мониторинга поверхностных вод, что подтверждается общемировой практикой.

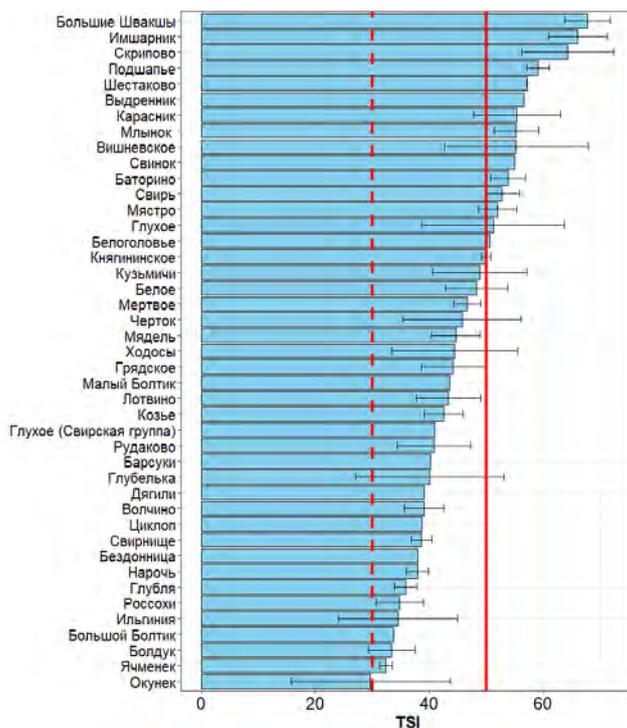


Рис. 1 – Значения индекса трофического состояния Карлсона для озер НП «Нарочанский» (среднее  $\pm$  стандартное отклонение); пунктирной линией обозначена условная граница олиготрофной и мезотрофной, сплошной линией – мезотрофной и эвтрофной зон

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Dodds, W.K.* Expanding the concept of trophic state in aquatic ecosystems: It's not just the autotrophs / W.K. Dodds, J.J. Cole // *Aquatic Science*. – 2007. – V. 69. – P. 427–439.
2. *Karatayev A. Y.* Community analysis of Belarusian lakes: relationship of species diversity to morphology, hydrology and land use / A. Y. Karatayev, L. E. Burlakova, S. I. Dodson // *Journal of Plankton Research*. – 2005. – V. 27. – P. 1045–1053.
3. *Nauman, E.* Ziel und Hauptprobleme der regionalen Limnologie / E. Nauman, // *Botaniska Notiser*. – 1927. – Lund. – P. 81–103.
4. *Fruh, E. G.* Measurements of eutrophication and trends / E. G. Fruh, K. M. Stewart, G.F. Lee, G. A. Rohlich // *J. Water. Poll. Contr. Fed.* – 1966. – Vol. 38. – P. 1237–1258.
5. *Carlson, R.E.* A trophic state index for lakes // *Limnol. Oceanog.* 1977. – 11. – P. 361–369.
6. *Kratzer, C.R.* A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida Lakes / C.R. Kratzer, P.L. Brezonik // *Water Res. Bull.* – 1981. – 17. – P. 713–715.
7. Long-term variations of the trophic state index in the Narochanskies lakes and its relation with the major hydroecological parameters / B.V. Adamovich, T.V. Zhukova, T.M. Mikheeva [et al] // *Water Resources*. – 2016. – 43. – 5. – P. 809–817.
8. *Boavida, M.J.* Total phosphorus as an indicator of trophic state of portuguese reservoirs / M.J. Boavida, R.T. Marques // *Limnologia*. – 1996. – 12. – 2. – P. 31–37.
9. *Vollenweider R.A.* Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication // *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*. – 1976. – 33. P. – 53–83.
10. *Matthews, R.* Determining trophic state in lake Whatcom, Washington (USA), a soft water lake exhibiting seasonal nitrogen limitation / R. Matthews, M. Hilles, G. Pelletier // *Hydrobiologia*. – 2002. – 468. – P.107–121.
11. *Rekolainen, S.* Rapid decline of dissolved nitrogen in Finnish lakes / S.Rekolainen, S.Mitikka, J.Vuorenmaa, M. Johansson // *J. Hydrol.* – 2005. – 304. – P. 94–102.
12. *Wetzel R G.* Limnology. Lake and River Ecosystems. San Diego, California. Academic Press. – 2001. – 1006 p.
13. Relations between variations in the lake bacterioplankton abundance and the lake trophic state: Evidence from the 20-year monitoring / B.V.Adamovich, A.B.Medvinsky, L.V.Nikitina [et al] // *Ecological Indicators*. – 2019. – V. 97. – P. 120–129.

*Исследования проведены при поддержке БРРФИ (грант № Б20У-003).*

## СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ И МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ SOLAR FLARES AND THEIR PREDICTION METHODS

**О. М. Бояркин, А.В. Капская**  
**O. Boyarkin, A. Kapskaya**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
kapskayaa@mail.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Предсказание солнечных вспышек - важная задача физики Солнца. Возникновение солнечных вспышек сильно зависит от структуры и топологии магнитных полей Солнца. Вызванные солнечными вспышками возмущения влияют на работу наземных средств связи, навигации, оповещения, нарушения в функционировании бортовой электронной аппаратуры на космических объектах и самолетах. В связи с этими факторами стоит вопрос о прогнозировании данного явления. В данной работе мы исследовали процесс возникновения солнечных вспышек, разработку методов их прогнозирования и сложности, которые при этом возникают, а также представили одни из самых распространенных методов предсказания солнечных вспышек.

Predicting solar flares is an important task in solar physics. The occurrence of solar flares is highly dependent on the structure and topology of the Sun's magnetic fields. Disturbances caused by solar flares affect the operation of ground-based communications, navigation, warning systems, disrupt the functioning of on-board electronic equipment on space objects and aircrafts. In connection with these factors, there is an issue of predicting this phenomenon. This work investigates the process of occurrence of solar flares, the development of methods for predicting them and the difficulties that arise in this case. Also it presents one of the most common methods of solar flares.

*Ключевые слова:* солнечная вспышка, корональный выброс, магнитное пересоединение, электромагнитный спектр, магнитное поле, солнечные пятна, прогнозирование.

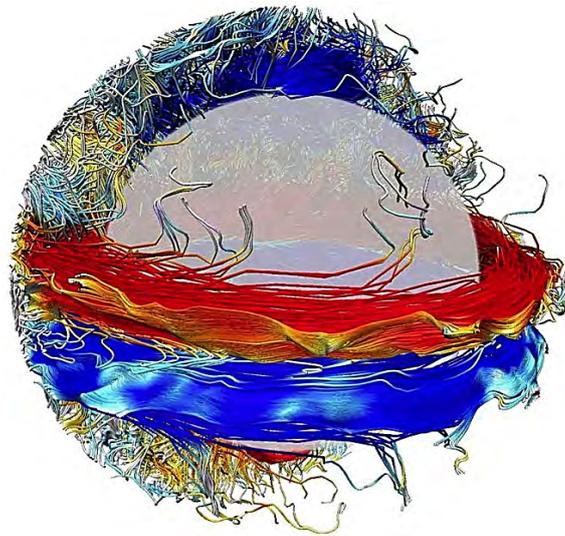
*Keywords:* solar flare, coronal ejection, magnetic reconnection, electromagnetic spectrum, magnetic field, sunspots, forecasting.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-155-158>

Для понимания процесса возникновения солнечных вспышек рассмотрим понятие Солнца. Солнце – мощный генератор магнитного поля, причем с двумя глобальными модами, между которыми идет перекачка энергии с периодом 22 года: тороидальной и дипольной составляющими. В этом описании очень важны два обстоятельства:

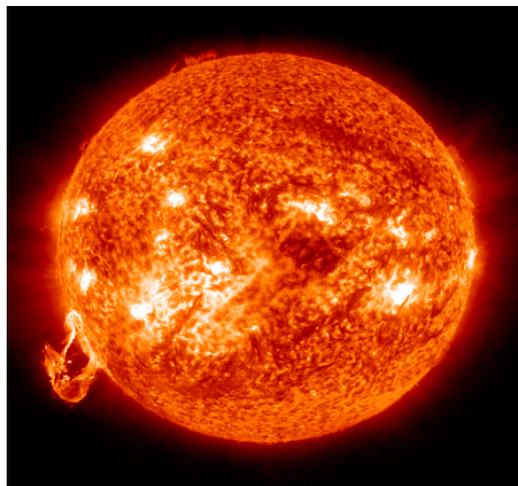
1. Магнитное поле вморожено в вещество Солнца из-за огромной проводимости солнечной плазмы. Любое поперечное движение силовых линий относительно вещества индуцирует токи, которые компенсируют это движение. Двигающееся вещество, будь то глобальное движение или хаотичная турбулентность, тянет поле за собой.

2. Солнце вращается не как твердое тело. Экватор и низкие широты вращаются быстрее, чем высокие широты. Из-за этого меридиональное поле наматывается витками по широте – в результате в толще Солнца, как мы видим на рисунке 1, образуются два глобальных обруча по сторонам от экватора, мы наблюдаем их эффект как цепи солнечных пятен над ними [1].



*Рис. 1 – Результат численного 3D-моделирования солнечного магнитного поля*

Максимум солнечной активности – это максимальная мощность этих магнитных обручей при минимальной дипольной составляющей. Плазма с магнитным полем в равновесии легче, чем без поля, – оно дает дополнительное давление. Поэтому магнитное поле стремится всплыть и всплывает в виде огромных петель. Там, где у этих петель «ноги», возникают солнечные пятна: магнитное поле препятствует передаче тепла, и поверхность охлаждается до 4000°K [1]. И когда сходятся «ноги» двух петель противоположной полярности, они начинают пересоединяться – это и есть солнечная вспышка (рис. 2).



*Рис. 2 – Солнечная вспышка 14 декабря 2014 года: выброс отрывается от поверхности*

Магнитное поле, заключающее в себе огромную энергию, аннигилирует: из двух петель получается одна. Высвободившаяся энергия передается частицам, через них – гамма- и рентгеновским квантам. Они прилетают через 8 минут после начала вспышки, которая обычно продолжается от нескольких минут до нескольких десятков минут. Сами частицы больших энергий распирают петлю и улетают – это называется корональный выброс (рис.3).



*Рис. 3 – Корональный выброс*

Из выше сказанного можно сделать вывод, что, солнечная вспышка – это следствие магнитного пересоединения – резкого перестроения структуры магнитного поля в атмосфере Солнца, в результате которого выделяется значительная энергия, составляющая примерно  $10^{28}$  -  $10^{33}$  эрг.

Выделенная энергия может расходоваться на ускорение частиц, электронов и ионов, нагрев солнечной плазмы, выброс макроскопического объема плазмы (корональный выброс массы) и пр. Обычно солнечная вспышка характеризуется быстрым ростом (до десятка минут) и медленным спадом (20–100 мин.). Во время вспышки возрастает излучение во всех диапазонах электромагнитного спектра, от радиоволн до рентгеновских и гамма-лучей.

Мощные солнечные вспышки могут быть особенно разрушительными, когда они нацелены в направлении Земли. Они вызывают проблемы с электросетями, отключение радиосвязи на Земле, разрушение экосистем, отказы в работе космической техники и т.д.

Мнения по поводу влияния солнечных вспышек на здоровье людей расходятся, однако многочисленные исследования предполагают, что магнитные колебания могут влиять на кровяное давление, частоту сердечных сокращений, способность к свертыванию крови или циркадные ритмы, что в свою очередь может повлиять на риск инсульта.

Необходимость прогнозирования солнечных вспышек возникла давно, но особенно остро в связи с пилотируемыми космическими полетами.

Нужно понимать, что разработка любого метода прогнозирования – это очень трудоемкий процесс, так как необходим огромный набор как теоретических, так и полученных практическим путем данных, таких как [2]:

- отличия активных областей, генерирующих вспышки;
- путь, который должна пройти область в своем развитии, чтобы достичь вспышечно-активной стадии;
- при долгосрочных прогнозах вспышек нужно также знать физические характеристики тех мест на Солнце, где могут возникнуть вспышечно-активные области, а также временные закономерности их появления;
- и др.
- Одними из самых распространенных методов прогнозирования солнечных вспышек можно считать:
- прогнозирование с использованием изображений, получаемых «Солнечной гелиосферной-обсерваторией»;
- прогнозирование путем измерения различий в атомах радиоактивного распада элементов гамма-излучения;
- прогнозирование солнечных вспышек с помощью нейронных сетей.

Метод прогнозирования с использованием трехмерных изображений, получаемых «Солнечной гелиосферной-обсерваторией», предполагает извлечение функций, которые будут использоваться для создания соответствующих 3D-моделей. Эти модели будут обеспечивать физические и визуальные описания особенностей интереса, который был бы более полным, чем текущие текстовые описания и спецификации моделей. Прогнозирование посредством данного метода не дает возможности достичь высокого процента точности прогноза и требует значительно больше времени для составления прогноза в сравнении с другими методами [3].

Метод прогнозирования путем измерения различий в атомах радиоактивного распада элементов гамма-излучения основывается на гипотезе о том, что сила радиоактивного распада зависит от солнечной активности, такой как потоки субатомных частиц, называемых нейтрино, движущихся от Солнца. Это влияние может меняться в зависимости от сезонных изменений в расстоянии от Земли к Солнцу, а также во время солнечных вспышек. Недостатком данного метода является не очень высокий процент точности прогнозирования и невозможность определения класса вспышки, что является немаловажным фактором при прогнозировании солнечных вспышек.

Прогнозирование солнечных вспышек с помощью нейронных сетей основывается на сетях Каскадной Корреляции. Данный метод дает наиболее точные прогнозы о возможных вспышках на солнце. Точность прогнозов с помощью нейронных сетей составляет около 80% [3].

В литературе [4,5] также обсуждается метод предсказания солнечных вспышек по уменьшению потока солнечных электронных нейтрино в предвспышечный период. Предполагается, что нейтрино обладают как дипольным магнитным моментом, так и анапольным, в то время как магнитное поле над солнечными пятнами имеет скручивающую природу и проявляет непотенциальный характер. При прохождении потока электронных нейтрино через область солнечной вспышки может наблюдаться истощение потока электронных нейтрино. Данный метод основывается на резонансных переходах, условие возникновения которых содержит две неопределенности, а именно, величину магнитного поля над солнечными пятнами и значения мультипольных моментов нейтрино.

Вывод: солнечные вспышки являются следствием пересоединения магнитного поля, характеризуются мощным излучением в широком диапазоне электромагнитных волн, генерацией ускоренных частиц, формированием ударных волн. Эти факторы порождают разнообразные возмущения в окружающей среде, которые приводят к нарушениям в функционировании бортовой электронной аппаратуры на космических объектах и самолетах, к нарушениям связи и систем ориентации и т.д. Разработка любого метода прогнозирования является очень сложным процессом, так как требует понимания природы такого сложного явления, как солнечная вспышка. Необходимо накопление информации о физических условиях, происходящих в солнечной атмосфере, как во время самой вспышки, так и в предвспышечные периоды, т.е. огромной теоретической базы и набора физических данных. Кроме этого, трудности возникают из-за нашего незнания реальной картины процесса магнитного пересоединения, зависимости получаемых физических данных от ряда факторов, например, сезонных изменений в расстоянии от Земли к Солнцу и др. Одними из самых распространенных методов прогнозирования солнечных вспышек считаются: прогнозирование с использованием изображений, получаемых «Солнечной гелиосферной-обсерваторией», прогнозирование путем измерения различий в атомах радиоактивного распада элементов гамма-излучения и прогнозирование солнечных вспышек с помощью нейронных сетей. Также большой интерес вызывает метод предсказания солнечных вспышек по уменьшению потока солнечных электронных нейтрино в предвспышечный период.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Augustson et al. Grand Minima and Equatorward Propagation in a Cycling Stellar Convective Dynamo // The Astrophysical Journal. 2015. arXiv:1410.6547.*
2. *O. Ahmed, R. Qahwaji, T. Colak, P. Higgins. P. Gallagher and S. Bloomfield, «Solar Flare Prediction using Advanced Feature Extraction, Machine Learning, and Feature Selection», Solar Physics, Springer, 283 (1): P. 157-175, 2013.*
3. *Tsagour I and et al , «Progress in space weather modeling in an operational environment», Space Weather and Space Climate, 3, 2013.*
4. *O.M.Boyarkin, Phys. Rev. D, Volume 53, - 1996 - 5298 P.*
5. *O.M. Boyarkin, G.G. Boyarkina, Astropart. Phys., Volume- 85, - 2016.- 39 P.*

## АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ ОАО «БОРИСОВСКИЙ МЯСОКОМБИНАТ № 1»

### ANALYSIS OF THE OPERATION OF WATER SUPPLY AND DRAINAGE SYSTEMS OF THE MEAT PROCESSING INDUSTRY ON THE EXAMPLE OF THE COMPANY «BORISOVSKY MEAT PROCESSING PLANT № 1»

**Ю. А. Быков, Е. С. Лён**

**Y. Bykov, E. Len**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*yura.bykov.1998@gmail.com*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Рассмотрены особенности водоснабжения и водоотведения предприятий мясоперерабатывающей промышленности. Проведен анализ функционирования локальных очистных сооружений сточных вод ОАО «Борисовский мясокомбинат №1». Проведенный анализ функционирования действующих локальных очистных сооружений сточных вод и сравнение с их эффективностью до модернизации показал, что эффективность очистки возросла и составила по основным показателям от 75 до 95 %. Внедренный метод реагентной напорной флотации с применением НДТМ позволил привести работу локальных очистных сооружений предприятия в соответствие с высокими требованиями Европейского Союза.

The features of water supply and sanitation of meat processing industry enterprises are considered. The analysis of the functioning of local wastewater treatment facilities of JSC «Borisovsky Meat Processing Plant No. 1» has been carried out. The analysis of the functioning of the existing local wastewater treatment plants and the comparison of the efficiency of their functioning before the modernization showed that the efficiency of treatment increased and amounted to 75 to 95% according to the main indicators. The implemented method of reagent pressure flotation with the use of BAT allowed to bring the work of the local treatment facilities of the enterprise in compliance with the high requirements of the European Union.

*Ключевые слова:* водопотребление, водоотведение, сточные воды, локальные очистные сооружения, наилучшие доступные технологические методы, допустимые нормативы.

*Keywords:* water consumption, water disposal, waste water, local treatment facilities, the best available technological methods, acceptable standards.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-158-162>

Производство пищевых продуктов отличается рядом специфических особенностей, влияющих на применяемые в отрасли формы и методы организации производственного процесса. Основным поставщиком отрасли является сельское хозяйство, для которого характерна сезонность производства, то есть сырье на пищевые предприятия поступает на переработку неравномерно. По этой причине для обеспечения бесперебойности основного производства предприятия отрасли в значительной степени диверсифицируют структуру своих поставщиков и формируют резервные запасы основных видов сырья.

В связи с тем, что основное сырье, полуфабрикаты и готовая продукция предприятий пищевой промышленности в основном являются скоропортящимися, для сохранения их качественных характеристик требуется специальное оборудование и холодильные помещения. На предприятиях пищевой промышленности вырабатывается широкий ассортимент продукции, каждый из видов которой имеют свою особую технологию изготовления. В связи с этим различные производства внутри одного и того же предприятия могут оснащаться различным технологическим оборудованием и характеризоваться различным уровнем своей механизации и автоматизации.

Мясная промышленность – одна из крупнейших отраслей пищевой промышленности республики, основной продукцией которой являются мясо и мясопродукты, а также пищевые и технические жиры, желатин, мыло, альбумин, кожевенное сырье, медицинские препараты, кишечные полуфабрикаты и ряд других продуктов. Производственный процесс мясокомбинатов в основном заключается в содержании и убое скота, переработке туш на мясо и различные продукты – колбасу, копчености, консервы и т.д. [2].

Основными источниками загрязнения воздушной среды в мясной промышленности являются оборудование в цехах технических и кормовых фабрик, термические отделения колбасных заводов, отделения переработки пищевых жиров и получения альбумина, вспомогательные цехи, водоочистные сооружения. В воздух рабочей зоны поступают сероводород, аммиак, фенолы, древесная и костная пыль. Кроме газообразных и парообразных вредных веществ, в различных технологических процессах мясоперерабатывающих предприятий образуется значительное количество пыли. К таким производствам относятся – котельная, цех, дымогенераторные установки [1].

В процессе производства в значительных количествах используют воду питьевого качества. Загрязняясь различными веществами в технологическом процессе, она превращается в сточную воду и отводится в канализационную систему предприятия [2].

В настоящее время в республике функционирует около ста предприятий, структуру которых составляют мясокомбинаты, птицекомбинаты, мясоконсервные комбинаты, колбасные цеха, убойные пункты, хладокомбинаты и др. Независимо от типа любое предприятия мясной промышленности состоит из основных и вспомогательных производств. К основным производствам относятся: база предубойного содержания скота и птицы, бойня, мясожировое производство, холодильный, мясоперерабатывающее производство, консервное производство и другие.

База предубойного содержания скота и птицы осуществляет прием и предубойное содержание скота и птицы. В состав базы входят:

- автомобильная и железнодорожная платформы, оборудованные загонами с навесами и устройствами для проведения термометрии скота и ветеринарного осмотра;

- пункт санитарной обработки автомашин, инвентаря и оборудования. В целях защиты окружающей среды при пункте должны быть очистные устройства навозо-, бензо-, маслоуловители, песколовка, грязеотстойник и дезинфектор смывных вод перед спуском их в общую канализационную сеть. Пункт состоит из отделений мойки и дезинфекции, приготовления моющих и дезинфицирующих растворов, склада для хранения материалов и инвентаря, бытовых помещений для обслуживания персонала;

- карантинный изолятор, санитарная бойня. Они предназначены для приема, содержания и переработки подозрительного на заболевание и больного скота, состоят из загон для скота, помещения для убоя скота и разделки туш, обработки субпродуктов, кишок, дезинфекция шкур, отделений стерилизации мясопродуктов, камер для охлаждения и хранения мяса;

- склады для кормов, помещения для приготовления кормов и кормления.

Мясожировое производство объединяет следующие цехи: убоя скота и разделки туш, переработки пищевой крови, субпродуктовый, кишечный, жировой, кордовых и технических продуктов, шкуроконсервировочный.

Холодильник служит для охлаждения и хранения в охлажденном виде мяса, субпродуктов, кишок, пищевых жиров; замораживания и хранения в замороженном виде мяса, субпродуктов, эндокринного и ферментного сырья, мясных и субпродуктовых блоков.

Мясоперерабатывающее производство объединяет производства колбасных изделий, свинокопченостей, полуфабрикатов, мясных блоков и быстрозамороженных готовых мясных блюд. Колбасный завод, желатиновый завод, клеевой завод – предприятия, вырабатывающие соответствующий ассортимент продуктов. Консервное производство оснащено жестяно-баночным цехом, а при большой мощности производства и литографическим отделением.

Высокий уровень водопотребления и образование высокозагрязненных сточных вод (жир, кровь и т.п.) создают серьезную экологическую проблему для мясоперерабатывающих производств, поскольку до 95% потребляемой воды превращается в сточные воды. Более 60% предприятий мясной промышленности расположены на территории населенных пунктов и их сточные воды поступают в централизованные системы водоотведения (ЦСВ) городов, остальные сбрасывают нормативно-очищенные воды в водные объекты. При производстве 1 т мяса образуется от 10 до 15 м<sup>3</sup> сточных вод, а основная доля загрязняющих веществ, образующихся при убойе и переработке мяса, приходится на неочищенные и недостаточно очищенные сточные воды.

Сточные воды предварительно очищаются на локальных очистных сооружениях для удаления загрязнений, препятствующих транспортированию и дальнейшей биологической очистке общего стока. Такой подход позволяет отказаться от практики контроля загрязнений на «конце трубы» и перейти к локальной очистке с применением конкретных технологий. Основными мерами повышения эффективности производства и общего сокращения воздействия на окружающую среду мясокомбинатов с убоем являются:

- локальная очистка сточных вод до нормативов сброса с обязательным механическим обезвоживанием отходов очистки;

- переработка непищевых отходов убоия в кормовые добавки для животных и птицы;

- очистка выбросов в атмосферный воздух.

Особенности сточных вод мясокомбинатов определяют специфику наилучших доступных технологических методов (НДТМ) их очистки. Для действующих предприятий цеховые расходы воды на нужды данного производства распределяются следующим образом, (%):

- убойно-разделочное отделение – 33,9;

- субпродуктовое – 17,6;

- кишечное – 17,3;

- шкуроконсервировочное – 12,8;

- вытопка пищевых жиров – около 18.

Водоснабжение предприятия осуществляется по договору из централизованной сети горводоканала г. Борисова. Так как вода необходима при подготовке животных к убою, технологических процессах обработки туш, для паросилового хозяйства, проведения санитарно-гигиенических мероприятий и для хозяйственных целей, особое внимание уделяется бесперебойному снабжению предприятия водой. При производстве 1 т мяса расходуется от 11 до 16 м<sup>3</sup> воды.

С 2000 г. по 2019 г. водопотребление предприятия увеличилось в 3 раза: с 96,8 тыс. м<sup>3</sup>/год до 290 тыс. м<sup>3</sup>/год. Объем годового водопотребления вырос в связи с увеличением количества выпускаемой продукции [5].

При эксплуатации резервуаров чистой воды обслуживающий персонал: ведет систематический контроль над качеством воды; осуществляет наблюдение за уровнем воды; следит за исправностью запорно-регулирующей аппаратуры, трубопроводов, люков, вентиляционных стояков, лазов; периодически промывает резервуары, очищает их от осадков и обрастаний; систематически проводит испытания на утечку воды из резервуара.

Резервуары чистой воды оборудованы контрольно-измерительными приборами, обеспечивающими контроль за уровнем воды и возможность взятия проб воды без доступа в резервуары.

Техническое обслуживание, очистка и дезинфекция резервуаров производится 1 раз в год с составлением Акта технического обслуживания, дезинфекции резервуара запаса воды.

Для учета количества потребляемой воды используется поверенный и опломбированный органами Госстандарта турбинный счетчик РСВУ-1400, установленный на водозаборе, т.к. источником водоснабжения является коммунальный водопровод. Водопотребление на производственные нужды по основным цехам предприятия представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Потребление воды на производственные нужды, тыс. м<sup>3</sup>/год

Цех	Водопотребление, тыс. м <sup>3</sup> /год				
	2000 г.	2005 г.	2011 г.	2015 г.	2019 г.
Убойно-разделочный	32,8	44,4	76,9	94,6	98,3
Вытопки пищевых жиров	17,8	24,1	41,8	51,3	53,4
Субпродуктовый	17,1	23,2	40,1	49,3	51,1
Кишечный	16,7	22,6	39,2	48,1	50,2
Шкуроконсервировочный	12,4	16,8	29,1	35,8	37,1

Анализ вышеприведенных данных выявил, что наибольшее водопотребление приходится на убойно-разделочный цех.

Сточные воды мясоперерабатывающего предприятия образуются в основном при мойке мясного сырья, в дном душировании колбас, мытье оборудования, инвентаря, тары и полов. В производственный сток попадают жиры, частицы мяса, кровь, остатки кормов, белки, соль, фосфаты.

На предприятии образуются два основных потока сточных вод - производственные и бытовые. Производственные сточные воды подразделяются на содержащие жир (стоки цехов первичной переработки, кишечного, пищевых жиров, субпродуктного, колбасного, технических полуфабрикатов) и на не содержащие жир (стоки остальных цехов, а также часть сточных вод кишечного цеха, незагрязненные условно- чистые воды от теплообменных аппаратов, вакуум-насосов, силовой и котельной установок) [4].

Сточные воды предприятий мясной промышленности имеют высокую степень бактериальной обсемененности. Особую опасность представляют содержащиеся в них патогенные микроорганизмы – кишечная палочка, яйца глистов, бациллы сибирской язвы и другие. В связи с этим перед сбросом в водоемы, на поля орошения или поля фильтрации сточные воды необходимо кроме механической, биологической очистки, подвергать обеззараживанию.

Сточные воды перед сбросом в городскую систему канализации поступают на очистные сооружения комбината. Сточные воды, отводимые от санбойни, отводятся отдельно и обеззараживаются в хлораторном отделении добавлением хлорной извести с последующим отстаиванием. Обеззараживание проводят дезинфекторы отделов производственно-ветеринарного контроля (ОПВК). После очистки и обеззараживания сточные воды сбрасываются в городскую систему канализации.

Для очистки производственных сточных вод предприятия перед сбросом в горколлектор используется технологическая схема очистки, состоящая из следующих этапов: механическая очистка, усреднение, физико-химическая очистка, обработка образующихся осадков.

Объем производственных сточных вод, поступающих на очистные сооружения, составляет 700-750 м<sup>3</sup>/сут. По общезаводской системе канализации сточные воды собираются в приемном отделении канализационной насосной станции (КНС) и подаются на механическую очистку насосами [3].

Механическая очистка сточных вод от грубодисперсных примесей производится на шнековой решетке SCT, производства Италии, с перфорацией 1,0 мм. Решетка серии SCT представляет собой интегрированную установку, состоящую из дугообразного перфорированного сита, безосевого шнека, оснащенного по периферии щеткой, и системы уплотнения отбросов. После механической очистки сточные воды поступают в усреднитель с полезным объемом 300 м<sup>3</sup>, откуда со средним расходом 70-75 м<sup>3</sup>/час погружным насосом подаются на физико-химическую очистку – на узел напорной реагентной флотации. Усреднение сточных вод вызвано необходимостью сглаживания неравномерности поступления расходов и загрязнений сточных вод на физико-химическую очистку, а также выравнивания pH. Это позволяет получить стабильно высокую эффективность очистки сточных вод при флотационной очистке и сократить количество вводимых реагентов.

Физико-химическую очистку осуществляют методом реагентной напорной флотации. Дозирование растворов коагулянта, щелочи и 0,1% раствора флокулянта осуществляется высокоточными насосами-дозаторами. Корректировка pH осуществляется при помощи автоматической системы контроля pH, которая управляет насосом-дозатором щелочи. Насыщенная воздухом вода затем подается из форсунок в зону перемешивания флотатора; во флотаторе, под впускным отверстием сточной воды, давление резко снижается. Благодаря регулярной подаче напорной воды во флотатор пузырьки воздуха прикрепляются к частичкам загрязнений и поднимаются на поверхность. Поднятый на поверхность слой осадка удаляется скребком. Осадок собирается в специальные накопители и удаляется с помощью пневматического клапана, регулирование которого осуществляется по таймеру.

Таблица 2 – Эффективность локальных очистных сооружений сточных вод предприятия до и после модернизации

Наименование Показателя	Показатели качества сточных вод на входе в ЛОС	Показатели качества сточных вод на выходе до модернизации	Показатели качества сточных вод на выходе после модернизации	Эффективность очистки сточных вод до и после модернизации, %	
				до	после
pH	6,0-10	6,5-9,3	7,0-8,5	-	-
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	100	45	25	55	75
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	1300	650	≤100	50	92
Жиры, мг/дм <sup>3</sup>	500	40	≤25	92	95
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1550	650	≤300	58	81
ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	3300	1625	≤500	51	85
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	6,0	3,0	≤1,5	50	75

Благодаря конструктивным особенностям фактическая площадь флотации увеличена по сравнению с аналогичными установками. Это обеспечивает большую производительность по удалению загрязнений и компактность установки. Флотошлам и осадок из флотатора собираются в резервуаре и далее поступают на механическое обезвреживание. Установлено флотационное оборудование производства Чехии. Флотаторы типа UF предназначены,

в первую очередь, для очистки концентрированных стоков предприятий пищевой и мясоперерабатывающей промышленности. Данный тип флотатора высоко зарекомендовал себя и на таких производствах как птицефабрики, молокозаводы, мясокомбинаты, рыбопереработка, консервные заводы и т.д.

Проведенный анализ функционирования действующих локальных очистных сооружений сточных вод и сравнение эффективностей их функционирования до и после модернизации показал, что эффективность очистки возросла и составила по основным показателям от 75 до 95 %. Внедренный метод реагентной напорной флотации с применением НДТМ позволил привести работу локальных очистных сооружений предприятия в соответствие с высокими требованиями Европейского Союза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Бренч А.А.* Технологии переработки продукции животноводства. Переработка мяса и производство мясной продукции/ А.А. Бренч, В.С. Ветров, И.Е. Дацук – Минск: БГТУ, 2015 – 272 с.

2. *Владимиров Н.И.* Основы производства продукции животноводства/ Н.И. Владимиров, Н.Ю. Владимирова, П.С. Ануфриев – Барнаул: АГАУ, 2007 – 191 с.

3. Паспорт локальных очистных установок сточных вод ОАО «Борисовский мясокомбинат №1» от 05 марта 2016 г. – 11 с.

4. Программа производственного контроля системы водоотведения ОАО «Борисовский мясокомбинат №1» согласно СанПиН 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения», СанПиН 2.1.5.12-43-2005 «Санитарные правила для систем водоотведения населенных пунктов» на период с 2016 по 2021 гг. – 8 с.

5. Экологический паспорт предприятия ОАО «Борисовский мясокомбинат №1» от 01 марта 2020 г. – 57 с.

## ПОДХОДЫ К ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ НОРМИРОВАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ APPROACHES TO ECOLOGICAL RATING OF HEAVY METALS IN AGRICULTURAL LANDS

***С. Е. Головатый<sup>1</sup>, П. Р. Хилимончик<sup>1</sup>, С. В. Савченко<sup>2</sup>,  
А. Н. Кузьмич<sup>3</sup>, В. Д. Дузинчук<sup>1</sup>***

***S. Golovaty<sup>1</sup>, P. Khilimonchik<sup>1</sup>, S. Savchenko<sup>2</sup>, A. Kuzmich<sup>3</sup>, V. Duzinchuk<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>3</sup>*Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды,  
г. Минск, Республика Беларусь  
Miss\_Polly\_1999@mail.ru*

<sup>1</sup>*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*Institute of Nature Management of the National Academy Sciences of Belarus, Minsk,  
Republic of Belarus*

<sup>3</sup>*Ministry of Natural Resources and Environmental Protection, Minsk, Republic of Belarus*

В настоящее время для оценки загрязнения почв сельскохозяйственных земель тяжелыми металлами используются различные критерии и показатели. В качестве критериев оценки экологического состояния сельскохозяйственных земель могут использоваться: фоновое содержание металлов в почвах, установленные для них гигиенические нормативы и дифференцированные нормативы, в основе которых лежат пороговые значения содержания элементов в различных почвах. Пороговые значения разработаны с учетом фонового содержания элемента, его гигиенического норматива, буферности почв, функциональной принадлежности территории. Использование дифференцированных нормативов позволяет обеспечить надлежащий контроль качества сельскохозяйственных земель с точки зрения содержания в них опасных в экологическом отношении химических веществ и выбрать вариант безопасного использования загрязненных сельскохозяйственных угодий.

Currently, various criteria and indicators are used to assess the heavy metal pollution of agricultural lands. The background concentration of heavy metals in soil, the hygienic standards established for them and the differentiated standards, which are based on the threshold limit values of such elements in various soils, can be used as criteria for assessing the ecological state of agricultural lands. The threshold limit values are developed taking into account the background concentration of the element, its hygienic standard, soil buffering capacity and the land-use purpose.

The use of differentiated standards allows proper quality control of agricultural lands in terms of environmentally hazardous chemicals and choosing the option for safe use of contaminated agricultural land.

*Ключевые слова:* тяжелые металлы, сельскохозяйственные земли, загрязнение почв, фоновое содержание, предельно допустимая концентрация, пороговое значение, дифференцированные нормативы.

*Keywords:* heavy metals, agricultural lands, soil pollution, background concentration, maximum permissible concentration, threshold limit value, differentiated standards.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-162-166>

В настоящее время вследствие активной антропогенной деятельности проблема загрязнения почв тяжелыми металлами остается актуальной. С этих позиций наибольшую опасность представляет загрязнение почв сельхозземель, так как производимые на них растениеводческая и животноводческая продукция наиболее ярко отражают экологическую ситуацию, сложившуюся на конкретной территории.

Несмотря на это, химически загрязненным сельскохозяйственным землям уделяется значительно меньше внимания по сравнению с территориями, находящимися в зоне интенсивного техногенного воздействия. Это обусловлено тем, что проблема загрязнения сельхозугодий тяжелыми металлами присутствует на ограниченных по площади территориях и в настоящее время не носит глобального характера. По данным [1], площадь сельскохозяйственных земель с опасным уровнем загрязнения почв составляет только 0,12% площади сельхозземель или 0,05% площади Беларуси.

В настоящий момент существуют различные критерии оценки экологического состояния почв сельхозземель, зависящие от целей и задач исследований, их детальности, площади и местоположения территории, направлением ее дальнейшего использования и возможных последствий, вызванных ухудшением экологического состояния почв.

При оценке загрязнения почв химическими веществами важен выбор критериев и показателей, позволяющих наиболее точно характеризовать экологическое состояние земель. Существует много теоретических и практических исследований, относящихся к проблеме экологического нормирования химических веществ в почвах. Определенные трудности возникают при оценке загрязнения почв тяжелыми металлами, которые в незначительных количествах присутствуют в любых естественных почвах как микроэлементы, что необходимо учитывать при нормировании их содержания в почвенном покрове.

В настоящее время применяется несколько критериев оценки содержания металлов в почвах сельхозземель с точки зрения загрязнения ими почв: сравнение фактического содержания с фоновой концентрацией, с предельно допустимой концентрацией (ПДК) или ориентировочно допустимой концентрацией (ОДК) химического вещества в почвах, а также оценка степени химического загрязнения земель с помощью дифференцированных нормативов, в основе которых лежат пороговые значения.

Использование в качестве критерия оценки фонового содержания металлов позволяет оценить изменение экологического состояния почв по сравнению с природными аналогами или почвами территорий, в минимальной степени подверженных техногенным нагрузкам. Имеющаяся на данный момент информация позволяет установить региональный, субрегиональный, местный или локальный педогеохимический фон. При этом в зависимости от величины, выбранной в качестве фоновой, степень химической трансформации почв исследуемой территории может быть различна.

Оценка фонового содержания химического вещества в сельскохозяйственных землях является проблематичной, так как почвы данных территорий в достаточной степени трансформированы и отличаются от своих природных аналогов, особенно в верхней постоянно обрабатываемой части профиля. Поэтому для научно обоснованного выбора фона необходимо учитывать тип почвы, распространенной на территории до ее сельскохозяйственного освоения, ее гранулометрический состав, кислотность, содержание гумуса и другие агрохимические характеристики. Наличие данной информации позволит наиболее точно определить для изучаемой территории фоновое содержание химических веществ и провести корректный сравнительный анализ. Однако на практике зачастую имеется информация по ограниченному перечню агрохимических показателей (гранулометрический состав и кислотность почв), что дает возможность проследить только тенденции в накоплении металлов в почвах сельхозземель.

Информация о фоновом содержании ряда тяжелых металлов в почвах сельхозземель Беларуси представлена в методических указаниях, которые регламентируют порядок работ по агрохимическому и радиологическому обследованию почв сельскохозяйственных земель Беларуси (таблица 1) [2]. В данном документе при установлении фоновых параметров содержания тяжелых металлов учитывались формы их нахождения в почве, тип почвы и ее гранулометрический состав, что позволяет достаточно корректно использовать предложенные фоновые значения.

При контроле загрязнения сельскохозяйственных земель фоновое содержание химических веществ в почвах определяется согласно ТКП 17.03.01–2013 «Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок определения фонового содержания химических веществ в землях (включая почвы)». В этом случае фоновое содержание тяжелых металлов определяется на фоновой территории, которая также относится к сельскохозяйственным землям с аналогичным с контролируемой территорией характером использования. При этом микроэлементный состав почв на выбранном фоновом участке может существенно отличаться от естественных почв и иметь определенный уровень техногенной трансформации.

Таблица 1 – Фоновое валовое содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственных земель Беларуси

Металлы	Гранулометрический состав почв		
	песчаные	супесчаные	суглинистые
	Содержание металла, мг/кг почвы		
Кадмий	0,07	0,09	0,12
Свинец	7,0	10,0	15,0
Цинк	20,0	28,0	40,0
Медь	5,0	8,0	12,0
Хром	18,0	25,0	50,0

Однако определить степень опасности поступления избыточного количества металлов в почвы и их негативное влияние на растения при использовании фоновых величин не представляется возможным. Такая оценка имеет место только с использованием гигиенических нормативов, регламентирующих предельно допустимые уровни накопления в почвах загрязняющих веществ с учетом их возможного перехода в сельскохозяйственную продукцию.

Гигиеническое нормирование химических веществ в почвах можно рассматривать как частный случай экологического нормирования. При гигиеническом нормировании в качестве реципиента воздействия рассматривается только человек, а основными целями нормирования является здоровье населения с учетом последствий для последующих поколений, что для почв сельхозугодий является приоритетным.

Одним из основных принципов установления нормативов предельного содержания тяжелых металлов в почвах сельхозземель является гигиеническое нормирование этих веществ в растениях. Исходя из этого, содержание любого вещества в почвах не должно вызывать загрязнение возделываемой на них сельскохозяйственной продукции выше установленного максимально допустимого уровня для растений (МДУ). Поэтому нормирование содержания химических веществ в почвах должно быть сведено к поиску таких предельных концентраций, при которых гарантируется получение гигиенически пригодных растительных продуктов для человека и кормов для животноводства.

Нормативами для оценки загрязнения сельскохозяйственных угодий тяжелыми металлами до настоящего времени выступали их предельно допустимые концентрации (ПДК) или ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) в почвах. Данные нормативы регламентированы различными нормативными документами и установлены с использованием различных подходов: нормативы без учета гранулометрического состава почв и функционального использования земель, нормативы с учетом гранулометрического состава почв, нормативы с учетом функционального использования территории, а также нормативы, специально разработанные для сельхозземель с учетом гранулометрического состава почв (таблица 2) [2-4].

Таблица 2 – Гигиенические нормативы валового содержания некоторых тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных земель (мг/кг почвы)

Металл	ПДК (ОДК) без учета гранулометрического состава почв и функционального использования земель [3]	ПДК (ОДК) [3]			ПДК с учетом функционального использования земель населенного пункта [4]	ОДК для сельскохозяйственных земель [2]		
		почвы песчаные и супесчаные	почвы суглинистые и глинистые, рН<5,5	почвы суглинистые и глинистые, рН>5,5		песчаные	супесчаные	суглинистые
Кадмий		0,5	1,0	2,0		0,30	0,40	0,60
Свинец	32,0				32,0	25,0	35,0	60,0
Цинк		55,0	110,0	220,0		50,0	60,0	80,0
Медь		33,0	66,0	132,0		35,0	60,0	90,0
Никель		20,0	40,0	80,0				
Хром	100,0					80,0	150,0	200,0

Практика применения гигиенических нормативов (ПДК, ОДК) для оценки экологического состояния почв, в том числе сельхозземель, показала, что они не всегда позволяют реально отразить существующее загрязнение. Это обусловлено тем, что при гигиеническом нормировании не учитываются природное содержание химических веществ, мозаичность почвенного покрова, уровень антропогенных нагрузок на почвы различных по функциональному использованию территорий, свойства и характеристики самого почвенного субстрата.

В связи с этим возникает необходимость разработки более совершенного подхода нормирования химических веществ в почвах, который учитывал бы широкий спектр показателей, в том числе фоновое содержание элемента в почве, установленные для него гигиенические нормативы, буферность почв, категории земель, функциональное зонирование городской территории. Все вышеперечисленные критерии были учтены при расчете пороговых значений содержания химических веществ в почвах, которые представляют собой нормативы, установленные для отдельных территорий (категорий земель, территориальных зон по преимущественному функциональному использованию населенных пунктов, природных территорий, подлежащих особой или специальной охране),

превышение которых свидетельствует о химическом загрязнении земель и влечет необходимость выполнения природоохранных мероприятий [5].

Согласно [5], для земель сельскохозяйственного использования установлены следующие пороговые значения содержания тяжелых металлов в почвах, которые являются экологическими критериями для оценки состояния земель с точки зрения экологического подхода к их качеству и заменяют гигиенические нормативы, которые оценивают почвы с точки зрения безопасности для здоровья населения (таблица 3).

*Таблица 3 – Пороговые значения валового содержания тяжелых металлов в почвах земель сельскохозяйственного использования*

Назначение земель	Гранулометрический состав почвы	Содержание металла, мг/кг почвы					
		Cd	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu
Земли сельскохозяйственного назначения	Песчаная	0,95	72,2	35,6	45,6	21,6	28,3
	Супесчаная	1,46	112	55,1	70,5	33,3	43,7
	Суглинистая	1,81	138	68,0	87,1	41,2	54,0
Сельскохозяйственная зона в населенном пункте	Песчаная	0,97	99,6	44,4	51,1	23,1	35,3
	Супесчаная	1,50	154	68,5	79,0	35,7	54,5
	Суглинистая	1,85	190	84,7	97,6	44,1	67,4

Различия в содержании металлов для сельскохозяйственных земель и сельскохозяйственных зон, расположенных в пределах населенных пунктов, предложенные в данном документе, обусловлены тем, что при расчете пороговых значений тяжелых металлов использовались различные значения их фонового содержания в почвах.

Для категории земель сельскохозяйственного назначения за фоновую величину принималось среднее содержание металлов в почвах фоновых территорий Беларуси, рассчитанное из массива данных за 15-летний период наблюдений при проведении мониторинга земель в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Беларуси (НСМОС). Так, рассчитанное по полученным данным фоновое содержание кадмия равно 0,37 мг/кг, меди – 5,0, никеля – 4,8, свинца – 8,2, цинка – 19,6 и хрома – 4,3 мг/кг.

Для сельскохозяйственных зон в пределах населенных пунктов в качестве фона использовалось среднее содержание металлов в почвах населенных пунктов Беларуси, также рассчитанное из массива мониторинговых данных, собранных за 15-летний период наблюдений. Согласно данным расчетам, среднее содержание кадмия составило 0,39 мг/кг, меди – 7,8, никеля – 5,5, свинца – 12,7, цинка – 37,3 и хрома – 5,4 мг/кг.

На основании рассчитанных пороговых значений установлены интервалы по четырем степеням загрязнения почв: от более 1 до 5 пороговых значений – низкая степень загрязнения; от более 5 до 20 – средняя; от более 20 до 50 – высокая и более 50 пороговых значений – очень высокая степень загрязнения.

Использование разработанных дифференцированных нормативов позволяет обеспечить надлежащий контроль качества земель с точки зрения содержания в них опасных в экологическом отношении химических веществ, предупреждать вторичное загрязнение почв, а также сделать правильный выбор наиболее приемлемых видов экологически безопасного использования загрязненных сельхозугодий, включая планирование и реализацию мероприятий по их очистке.

Таким образом, для оценки загрязнения почв сельскохозяйственных земель тяжелыми металлами может использоваться ряд критериев: фоновое содержание металлов в почве, их гигиенические нормативы и дифференцированные нормативы, основанные на пороговых значениях.

Сравнение фактического содержания химического вещества с фоновым содержанием металлов в почве позволяет оценить изменение экологического состояния почв по сравнению с природными аналогами или почвами территорий, в минимальной степени подверженных техногенным нагрузкам, но не позволяет определить степень опасности загрязнения почв сельхозземель для производимой на них сельхозпродукции.

Гигиенические нормативы, регламентирующие предельно допустимые уровни накопления в почвах загрязняющих веществ с учетом их возможного перехода в сельскохозяйственную продукцию и последующего воздействия на человека, не всегда позволяют реально отразить существующее загрязнение, так как они не учитывают природное содержание химических веществ, мозаичность почвенного покрова, уровень антропогенных нагрузок на почвы, свойства и характеристики почвенного субстрата.

Все вышеперечисленные критерии учтены при разработке дифференцированных нормативов, основанных на пороговых значениях содержания металлов в почвах, которые рассчитаны с учетом фонового содержания элементов в почве, их гигиенических нормативов, функционального использования территории, свойств самого почвенного субстрата. Использование дифференцированных нормативов дает возможность оценить качество почв сельскохозяйственных земель с экологических позиций, что позволяет выбрать вариант экологически безопасного использования загрязненных тяжелыми металлами сельскохозяйственных земель.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010-2020 гг. / Под общ. ред. В.Ф. Логинова. – Минск: Минсктиппроект, 2004.

2. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: метод. указания / Под ред. И.М. Богдевича. – Мн., 2006.

3. ГН 2.1.7.12.1-2004 Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве (Утв. Постановление Гл. гос. сан. врача Республики Беларусь от 25 февраля 2004 №28).

4. Нормативы предельно допустимых концентраций подвижных форм никеля, меди и валового содержания свинца в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов. – Утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 19.11.2009 №125.

5. ЭкоНиП 17.03.01-001-2020 Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ УЗБЕКИСТАНА**

### **USE OF INSTRUMENTAL NEUTRON-ACTIVATION ANALYSIS FOR ECOLOGICAL MONITORING OF TECHNOGENIC TERRITORIES OF UZBEKISTAN**

***Е. А. Данилова, Б. И. Курбанов, Я. А. Ахмедов, Н. Х. Хушвактов, Х. Ш. Фарманов***  
***E. A. Danilova, B. I. Kurbanov, Y. A. Ahmedov, N. X. Xushvaktov, X. Sh. Farmanov***

*Институт ядерной физики АН РУз, г.Ташкент, Республика Узбекистан,  
bkurbanov@inp.uz*

*Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent,  
Republic of Uzbekistan,  
bkurbanov@inp.uz*

Приводятся результаты исследования макро- и микроэлементного состава природных, техногенных, биологических и экологических объектов, продуктов питания и биосубстратов (волосы) жителей техногенных территорий Узбекистана, где функционируют промышленные предприятия страны, с использованием нейтронно-активационного анализа и проведен экологический мониторинг этих территорий. Приводятся результаты элементного анализа эталонных образцов и почвы исследованных территорий.

The article presents the results of the study of the macro- and microelement composition of natural, technogenic, biological and ecological objects, food products and biosubstrates (hair) of the inhabitants of the technogenic territories of Uzbekistan, where the country's industrial enterprises operate, using neutron activation analysis. The ecological monitoring of these territories is carried out. The results of the elemental analysis of reference samples and the soils of the studied territories are presented.

*Ключевые слова:* макро- и микроэлементы, техногенные объекты, радионуклиды, нейтронно-активационный анализ, окружающая среда, гамма-спектр, нейтронный поток, полупроводниковый детектор.

*Key words:* macro- and microelements, technogenic objects, radionuclides, neutron activation analysis, environment, gamma spectrum, neutron flux, semiconductor detector.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-166-169>

В современном мире проблемы охраны окружающей среды стали глобальными проблемами, на которым необходимо уделять большое внимание. Основными источниками загрязнения окружающей среды стали промышленные предприятия – техногенные объекты горно-металлургических, нефтехимических, энергетических предприятий и отраслей производства сельхозудобрений [1,2]. В результате техногенного распространения химических элементов в окружающую среду возникают зоны с аномально высокими их содержанием. В настоящее время регионы с интенсивным развитием различных отраслей промышленности Узбекистана считаются характерными регионами, которые сильно влияют на окружающую среду. Такая ситуация требует проведения экологического мониторинга – комплексной системы наблюдений за состоянием окружающей среды данной территории, оценки ее изменений под воздействием природных и антропогенных факторов, их оценку и прогнозирование, а также действия, направленные на выявление, предупреждение и устранение влияния вредных факторов окружающей среды [3-5].

### **Объекты экологического мониторинга.**

Исследуемыми территориями были выбраны промышленные районы Узбекистана, где располагаются предприятия цементной промышленности, производства цветных (цинк, медь) металлов, производства азотных и фосфорных удобрений, а также выведенные из эксплуатации урановые рудники и другие предприятия, которые могут в той или иной мере загрязнять окружающую среду. Образцы почвы, воды, растения, сельскохозяйственные продукты из этих территорий были на анализ в количестве не менее 40 штук с каждого объекта, итого более 1000 образцов.

### **Методики нейтронно-активационного анализа.**

Нейтронно-активационный метод анализа элементного состава сложных образцов при использовании исследовательских атомных реакторов и современных спектрометров на основе полупроводниковых детекторов позволяет определить концентрацию более 40 элементов в образцах почвы, растений, воды, продуктов питания и субстратах (волос) человека с высокой чувствительностью. С использованием гамма-спектрометров на основе полупроводниковых детекторов высокого разрешения из особо чистого германия возможно расширить диапазон определяемых элементов, понизить пределы обнаружения, повысить производительность.

С учетом ядерно-физических параметров атомного реактора типа ВВР-СМ (мощность, плотность потока и энергия нейтронов) Института Ядерной Физики АН РУз проведен экологический мониторинг техногенных территорий страны с использованием инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА). Для этого усовершенствовали методику ИНАА почвы, растений, воды и биологических образцов, которая сводилась к изменению и уточнению временных параметров анализа (время облучения, время остывания, время измерения). Разрешающая способность детектора из особо чистого германия составила 1.8 кэВ по гамма-линии  $^{60}\text{Co}$  (1332 кэВ), а эффективность регистрации составляла 20%. Использование гамма-спектрометра с таким детектором позволило разделять элементы с близкими энергиями, такие как цинк и скандий, энергии которых 1115.5 и 1120.5 кэВ соответственно, магний и марганец – энергии 843.8 и 846.7 кэВ, и определять их содержания по чистым пикам без учета вклада друг в друга, что ранее было невозможно. Тем самым повысилась чувствительность и точность определения вышеперечисленных элементов, что весьма важно при определении скандия и цинка в почвах и магния и марганца в биологических образцах.

При исследовании физико-технических параметров (режимы облучения и охлаждения, навеска пробы, расположение аналитических линий в спектре наведенной гамма – активности) был выбран канал для облучения и режимы облучения и охлаждения. Учитывая, что каждый канал имеет свой спектр нейтронов, был проведен анализ стандартных образцов сравнения.

Для определения содержания элементов по радионуклидам с различными периодами полураспада приходится применять различные временные режимы анализа (время облучения, остывания, измерения). После изучения характерных гамма-спектров активированных образцов нами выбраны следующие режимы:

1. время облучения 30 сек, время остывания 10 мин, время измерения 100 сек,
2. время облучения 30сек, время остывания 4 часа, время измерения 100-200 сек
3. время облучения 30сек, время остывания 20 часа, время измерения 200 сек
4. время облучения 20 час, время остывания 10 дней, время измерения 200-300 сек
5. время облучения 20 час, время остывания 20 дней, время измерения 400 сек для анализа волос
6. время облучения 20 часов, время остывание 30 дней, время измерение 400 сек для анализа воды, почвы и растений.

*Методика определения содержания элементов по короткоживущим радионуклидам.* Исследуемые образцы вместе с эталонами упаковывали в полиэтиленовый контейнер и облучали в вертикальном канале реактора потоком нейтронов  $5 \times 10^{13}$  нейтрон/см<sup>2</sup> сек в течение 30 сек. Измерение наведенной активности проводили трижды – через 10 мин после облучения для определения магния и хлора и через 4 часа – для определения натрия, меди, калия и марганца. Определение меди в образцах почвы и растений проводили на следующий день. Время измерения составляло 200-300 сек.

*Методика определения содержания элементов по среднеживущим радионуклидам.* Для определения содержания кальция, брома, лантана, золота и урана и других элементов образцы волос заворачивали в алюминиевую фольгу и облучали в мокром канале реактора в течение 20 час. Измерение наведенной активности проводили через 10 дней после облучения по соответствующим нуклидам. Время измерения каждой пробы составляло 200-300 сек.

*Методика определения содержания элементов по долгоживущим радионуклидам.* Для определения содержания элементов по долгоживущим радионуклидам облученные в течение 20 час пробы измеряли через 30 дней после облучения по соответствующим  $\gamma$ -линиям. По данной методике стало возможным определить содержание: церия, тория, хрома, цезия, никеля, железа, цинка и др. элементов.

В настоящее время надежным методом проверки правильности аналитических работ является анализ стандартных образцов сравнения. В качестве стандартных образцов сравнения для проверки правильности используемой методики были выбраны следующие стандарты: образец МАГАТЭ (IAEA-336 Lichen), Стандарт национального института стандартов США, листья (NISTSRFM 1572-CITRUSLEAVES) и стандарт почвы МАГАТЭ (IAEA-375 Standard Reference Material – Soil).

**Результаты.** В таблице 1 для примера приведены результаты нейтронно-активационного анализа стандартных образцов сравнения. Как видно из результатов, разработанные в лаборатории методики обладают высокой сходимостью с аттестованными значениями и могут быть использованы в исследованиях по экологическому мониторингу. Для изучения экологической обстановки исследовали элементный состав почв, воды в техногенных территориях Узбекистана с использованием нейтронно-активационного анализа, который позволяет определять значительное число элементов в различных образцах с исключительно высокой чувствительностью.

Для анализа почвы, по установленной методике отбирали пробы и предварительно удаляли травяной покров. Из отобранных образцов готовили усредненные пробы по стандартной методике (высушивание, измельчение, просеивание через сито). Методом квартования отбирали навески для нейтронно-активационного анализа, для определения элементов по короткоживущим изотопам взвешивали на аналитических весах образцы по 20-30 мг, а для определения по средне- и долгоживущим изотопам по 50-70 мг. Элементный состав волос человека является косвенным, но весьма информативным признаком элементной нагрузки на организм человека, включая общую экологическую обстановку, условия труда и питание и, как результат, на состояние здоровья. Для получения усредненной представительной информации в каждой точке отбора отбирали волосы у 6 человек (3 мужчин и 3 женщин) с 3-5 мест затылочной части головы, согласно рекомендациям МАГАТЭ. Пробы отмывались от поверхностных загрязнений бидистиллированной водой и обезжиривались ацетоном, а затем воздушно высушивали. После чего для каждой точки отбора пробы волос разрезались на участки длиной 2-3 см и готовилась усредненная проба. Взвешенные образцы герметично упаковывали в маркированные полиэтиленовые пакеты и в герметичном контейнере облучали в потоке нейтронов атомного реактора типа ВВР-СМ. Облученные образцы измеряли в измерительном комплексе лаборатории Экологии и биотехнологий ИЯФ АН РУз.

Таблица 1 – Сравнение, полученных данных с аттестованными значениями NIST Standard Reference Material 1572 – CITRUSLEAVES, (мкг/г)

Элементы	As	Ba	Br	Cl	Cr	Fe	Mn	Ni	Rb	Na	Sc	Sr	Zn
Сертифицирована	3.1±0.3	21±3	8.2	414	0.8±0.2	90±10	23±2	0.6±0.3	4.84±0.06	160±20	0.01	100±2	29±2
Найдено	2.9	25	7.9	400	0.76	87	21	0.68	4.9	162	0.009	110	31

Получены результаты анализа по всем исследованным образцам. Для примера результаты анализа образцов почвы техногенных территорий Узбекистана приводится в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты НАА образцов почвы, техногенных территорий Узбекистана, (мкг/г)

№ Эл-т	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sm	5.88	4.6	6.8	5.04	3.73	4.0	5.19	6.56	4.58	3.92
Mo	3.3	3.08	2.0	1.7	3.97	3.53	2.48	2.33	3.1	1.66
Lu	0.26	0.3	0.35	0.3	0.34	0.35	0.35	0.334	0.29	0.385
U	3.2	10.5	5.15	6.26	8.0	5.06	5.6	5.89	4.35	5.17
Yb	2.38	2.7	2.96	2.54	2.89	2.83	3.13	2.92	<1.0	3.34
Au	0.007	0.0072	0.01	<0.001	0.0086	0.0095	0.014	0.0098	<0.001	0.009
Nd	18.23	26.57	31	24.56	25.52	34.54	42.1	35.61	24.76	39.93
As	7.19	9.1	9.94	9.5	2.1	7.23	8.75	7.54	7.64	8.4
Br	5.3	4.22	4.22	2.75	2.06	4.37	2.27	5.52	3.83	6.36
Ca	2.14	9.73	3.07	6.72	8.87	7.48	10.38	7.97	7.54	9.55
La	26.83	32.52	25.1	32.1	36.13	38.8	38.64	39.66	29.8	38.3
Ce	41,55	54,54	62.9	54.34	60.57	64.2	65.5	64.89	52.29	65.5
Tb	0.51	0.54	0.64	0.49	0.69	0.64	0.73	0.78	0.58	0.69
Th	8.01	24.81	12.01	8.76	25.15	9.53	11.99	13.58	9.53	10.79
Cr	41.74	62.34	67.5	60.74	60.7	60.98	70.87	38.67	67.83	62.9
Hf	3.69	3.98	4.09	4.65	4.83	4.95	5.99	5.51	3.7	8.42
Ba	1581	1159	1321	1257	1048	1336	1051	1130	1386	788.8
Sr	243	401	229	393	363	211	241	246	340	479.36
Cs	4.69	7.86	8.05	7.31	7.1	6.94	7.58	6.79	6.7	6.3
Ni	13.41	28.7	19.54	19.2	25.61	24.66	24.1	24.47	19.19	12.8

Sc	8.62	10.76	10.91	9.93	10.22	10.71	10.72	9.96	10.24	9.63
Rb	57.72	110	122	119	91.33	110	122	109	102.72	92.1
Fe	22948	31253	31403	28766	29358	29416	30713	30206	29534	28732
Zn	117.9	115	112	98	138	107	117	108	108	96.77
Co	8.79	12	11.7	9.67	11.2	10.2	11.27	10.7	11.35	10.75
Ta	0.59	0.81	1.05	0.86	1.07	0.88	1.12	1.03	1.05	1.14
Eu	0.84	0.94	1.04	1.02	1.14	1.02	1.14	1.06	0.93	1.05
Sb	1.42	2.01	1.84	1.69	1.99	3.59	1.81	1.54	4.35	2.5
Mn	500	570	550	470	635	510	570	565	540	520
Na	7200	10400	12500	13500	11900	12700	12700	13000	12700	10700
K	14100	21300	24100	22100	20600	24400	21600	22900	21600	19100

### Заключение

Получены данные по содержанию элементов в почве исследуемых регионов, из которых следует, что во многих регионах повышены содержания мышьяка (7,5-9,9 мкг/г); цинка (98-138 мкг/г); кобальта (8,79-12 мкг/г); урана (3,2-10,5 мкг/г). Это связано с развитой промышленностью в этих регионах, а повышенные содержания кальция, натрия, калия - с характером самих почв.

Повышенные концентрации цинка, выявленные в некоторых районах, возможно, связаны с развитой промышленностью в данных районах (до 100 мкг/г); резко повышенные концентрации цинка (более 100 мкг/г) в изученных районах связаны с деятельностью Алмалыкского ГМК и Бекабадского металлургического комбината.

Повышение содержания урана по течению рек может быть объяснено не только воздействием бывших урановых производств (Янгиабад, Красногорск), но и выносом урана, содержащегося в фосфорных удобрениях промышленными водами. Полученные данные позволяют оценить экологическую ситуацию данных территорий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лисаченко Э.П. Промышленные отходы и выбросы как источник поступления природных радионуклидов // Радиоэкологическая безопасность России: Материалы конф., Санкт-Петербург, 20-22 июня 1995 года. - Челябинск, 1995. - С. 72
2. Музафаров А.М., Темиров Б.Р., Самтаров Г.С. Оценка влияния техногенных факторов на экологию региона. Горный журнал. Москва. 2013. №8.(1). – С.65-68.
3. Якунина И.В., Попов Н.С. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг. Тамбов – 2009. – 168 с.
4. Кист А.А. Феноменология биогеохимии и бионеорганической химии. - Т.: Фан, 1987. – 236с.
5. Веренчикова М.С., Гутько В.И., Хильманович А.М. Определение валового содержания химических элементов в почве // Экологический вестник, Минск, 2010, №2 (12), с.152–155.

## АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

## ANALYSIS OF THE IMPACT OF CHEMICAL INDUSTRY ENTERPRISES ON ATMOSPHERIC AIR

**Е. В. Зайцева, И. А. Ровенская**

**E. V. Zaetseva, I. A. Rovenskaya**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*yelena\_zaytseva\_2000@inbox.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В работе приведен анализ одной из самых крупных отраслей промышленного комплекса Республики Беларусь – химической отрасли. Рассмотрена динамика валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников предприятий химической промышленности за 1995 – 2019 гг. Изучен перечень загрязняющих веществ в выбросах 7 различных отраслей предприятий химической промышленности. Установлен доминирующий по объёму загрязнитель в выбросах химических предприятий –

сернистый ангидрид и приведен анализ основных методов очистки промышленных выбросов от сернистого ангидрида. Рассмотрен вопрос применимости методов в целом на предприятиях Республики Беларусь.

The paper presents an analysis of one of the largest branches of the industrial complex of the Republic of Belarus – the chemical industry. The dynamics of gross emissions of pollutants into the atmospheric air from stationary sources of chemical industry enterprises for 1995 – 2019 is considered. The list of pollutants in the emissions of 7 different branches of the chemical industry enterprises was studied. The dominant pollutant in the emissions of chemical enterprises – sulfur dioxide is identified and the analysis of the main methods for cleaning industrial emissions from sulfur dioxide is given. The question of the applicability of the methods in general at the enterprises of the Republic of Belarus is considered.

*Ключевые слова:* атмосферный воздух, выбросы, загрязняющие вещества, методы очистки, мониторинг, сернистый ангидрид, химическая промышленность.

*Keywords:* atmospheric air, emissions, pollutants, cleaning methods, monitoring, sulfur dioxide, chemical industry.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-169-173>

Химическая промышленность является одной из наиболее крупных отраслей промышленного комплекса Республики Беларусь, предприятия которой расположены во всех регионах страны (рисунок 1).

Химическая промышленности РБ подразделяется на 7 отраслей:

1. Производство минеральных удобрений (ОАО «Беларуськалий», ОАО «Гродно Азот», ОАО «Гомельский химический завод»);
2. Производство синтетических смол и пластмасс (ОАО «Борисовский завод пластмассовых изделий»);
3. Микробиологическая промышленность (ОАО «Бобруйский завод биотехнологий»);
4. Производство бытовой химии (ОАО «Брестский завод бытовой химии», ООО «Адгезия»);
5. Производство шин и резинотехнических изделий (ОАО «Белшина»);
6. Производство синтетических и искусственных волокон (ОАО «Могилёвхимволокно», ОАО «Завод Химволокно», ОАО «СветлогорскХимволокно», ОАО «Полоцк-Стекловолокно», ОАО «Нафтан»);
7. Лакокрасочная промышленность (ОАО «Лакокраска»).

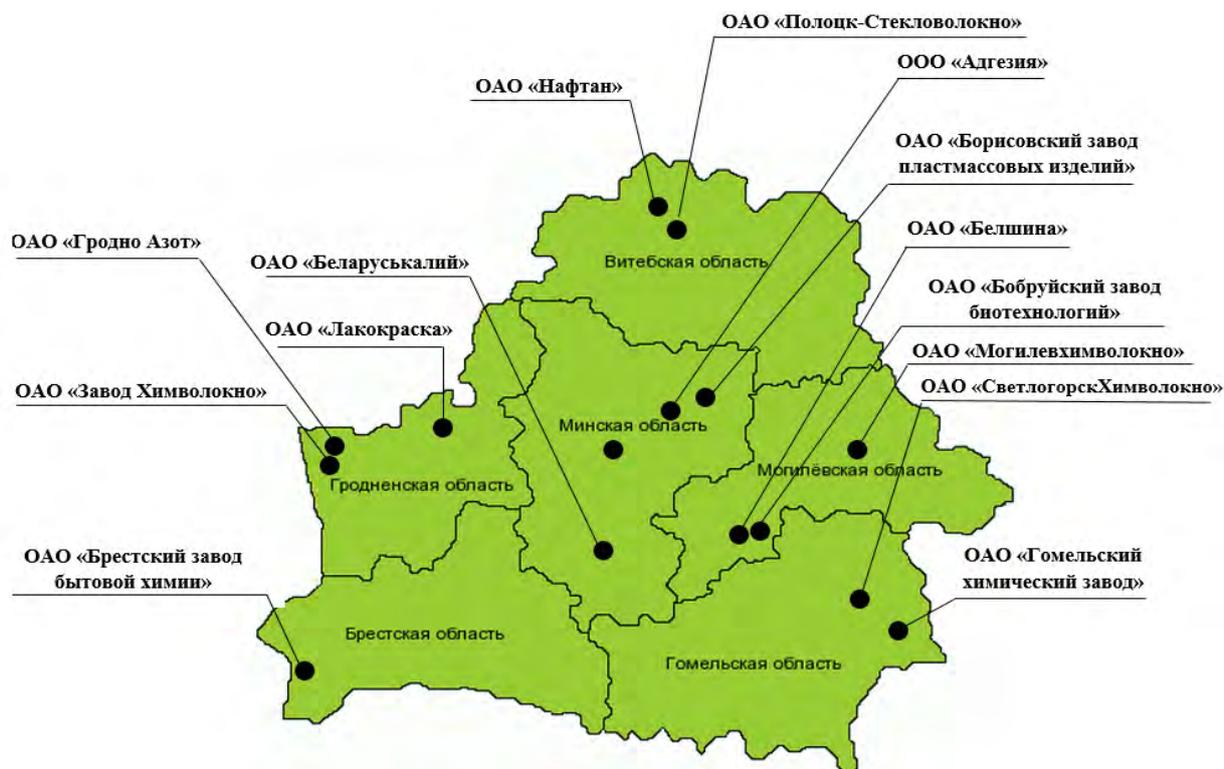


Рис. 1 – Расположение предприятий химической отрасли на территории Республики Беларусь

Негативное воздействие на атмосферный воздух химической промышленности определяется спецификой производства и свойствами используемого сырья. Неблагоприятное воздействие на атмосферный воздух химической отрасли проявляется в наличии значительных объемов и высокой токсичности выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Кроме того, подавляющая часть новых производимых химических веществ не имеет природных аналогов, многие из них потенциально опасны, особенно в генетическом плане. В целом в атмосферу выбрасывается широкий спектр загрязняющих веществ (таблица 1).

Таблица 1 – Характерные выбросы в атмосферу для различных отраслей химической отрасли РБ

Отрасли химической промышленности	Продукт производства	Перечень загрязняющих веществ в производственных выбросах
Производство минеральных удобрений	Сложные удобрения	NO, NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , HNO <sub>3</sub> , пыль удобрений
	Аммиачная селитра	CO, NH <sub>3</sub> , HNO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (пыль)
	Суперфосфаты	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HF, пыль суперфосфата
	Серная кислота	NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (пыль),
	Соляная кислота	HCl, Cl <sub>2</sub>
	Фосфор и фосфорная кислота	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , Ca <sub>5</sub> F(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (пыль), HF
	Хлористый калий	HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , KCl
	Натрий хлористый технический	Cl <sub>2</sub> , NaOH
Производство синтетических смол и пластмасс	Метанол	CH <sub>3</sub> OH, CO
	ПХВС (полихлорвиниловые смолы)	Hg, HgCl <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>
Производство синтетических смол и пластмасс	Поливинилхлорид	Винилхлорид, пыль ПВХ
	Этанол	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, CO
Микробиологическая промышленность	Белково-витаминные концентраты	Пыль ББК, пыль кормовых антибиотиков, меркаптаны, спирты, эфиры, фенол
	Жидкий хлор	HCl, Cl <sub>2</sub> , Hg
Производство бытовой химии	Хлорная известь	Cl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> (пыль)
	Ацетон	CH <sub>3</sub> CHO, (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO
	Аммиак	NH <sub>3</sub> , CO
	Шины и резиновые изделия	Пыль неорганических и органических материалов, технический углерод, фталевый ангидрид, CO, CO <sub>2</sub>
Производство синтетических и искусственных волокон	Искусственные волокна	H <sub>2</sub> S, CS <sub>2</sub>
	Поливинилхлорид	Винилхлорид, пыль ПВХ
	Переработка нефти	Меркаптаны, сероводород, аммиак, углеводороды, органические соединения азота, окись углерода
	Капролактамы	NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO
Лакокрасочная промышленность	Лак	HgCl <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , CH <sub>3</sub> CHO, (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
	Эмаль	CH <sub>3</sub> CHO, (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO, NH <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, CO
	Фталевый ангидрид	Фталевый ангидрид, малеиновый ангидрид

В целях наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, комплексной оценки и прогноза его состояния в Республике Беларусь проводится мониторинг атмосферного воздуха.

Сбор, хранение, обобщение, анализ и предоставление информации, полученной в результате проведения мониторинга атмосферного воздуха, осуществляет ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды».

В выбросах предприятий химической отрасли перечень наблюдаемых параметров определен с учетом специфики хозяйственной деятельности природопользователей. Он включает определение концентраций основных продуктов, таких как твердые частицы суммарно, оксид углерода, оксиды азота, полициклические ароматические углеводороды, летучие органические соединения и др. Ряд природопользователей контролирует также специфические загрязняющие вещества, наличие которых обусловлено характером производств, например, диаммоний сульфат, циклогексан (ОАО «ГродноАзот»), этиленгликоль, формальдегид (ОАО «Могилевхимволокно»).

Общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками химической отрасли в Республике Беларусь в 2019 г. составил 426,1 тыс. т. Динамика объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников за период 1995–2019 гг. отображена на рисунке 2, на котором отчетливо видно резкое сокращение выбросов в 1990–2003 годах и в дальнейшем незначительные колебания объемов выбросов в пределах 400 ± 58 тыс. т в год [1].

Предприятия химической отрасли, включенные в систему локального мониторинга, суммарно дают около 30 % от общереспубликанского объема выбросов, из которых 2 % приходятся на Брест и Брестскую область, 8 % Витебск и Витебская область, 7 % Гомель и Гомельская область, 4 % Гродно и Гродненская область, 6 % Минск и Минская область, 3 % Могилев и Могилевская область (рисунок 3) [2].

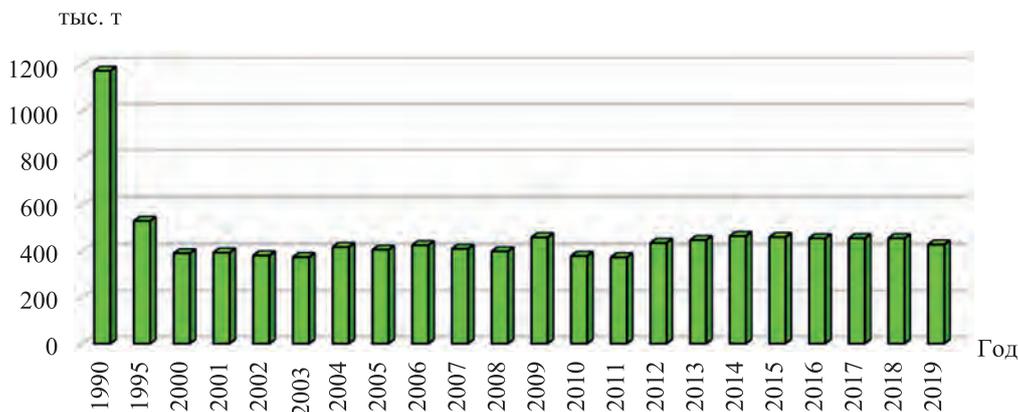


Рис. 2 – Динамика валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников предприятий химической отрасли за 1995–2019 гг.

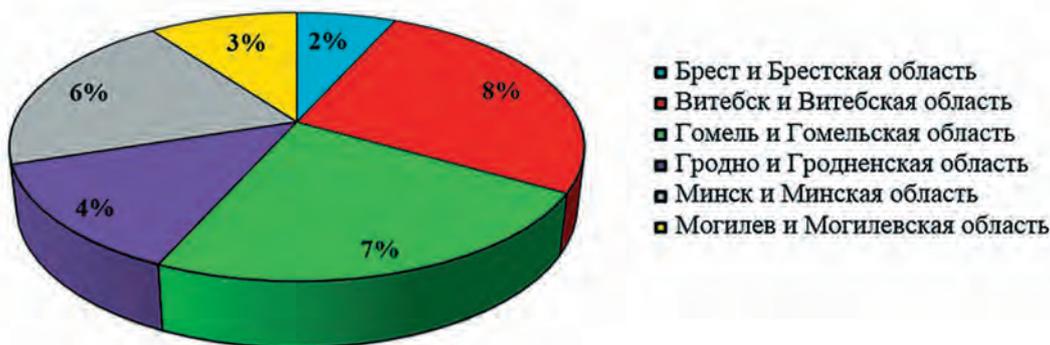


Рис. 3 – Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников предприятий химической промышленности в 2019 гг.

Наибольший объём выбросов от предприятий химической отрасли РБ приходится на сернистый ангидрид. Значительные количества его выбрасываются в атмосферу при производстве серной кислоты, а также при сжигании высокосернистого топлива в теплоэнергетических установках. В отходящих газах сернокислотных производств содержание сернистого ангидрида достигает 0,2 – 0,3 % [3].

Проблема полного улавливания сернистого ангидрида на большинстве заводов пока не решена, несмотря на большое число предложенных и апробированных в производственных условиях методов. Это объясняется тем, что все существующие методы очистки отходящих газов от сернистого ангидрида являются дорогостоящими и выбор того или иного из них зависит от получаемых побочных продуктов, реализация которых оказывает влияние на технико-экономические показатели процесса очистки.

Все известные и проверенные в заводском масштабе методы очистки газов от SO<sub>2</sub> можно разделить на три основные группы:

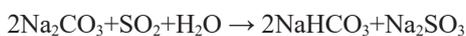
1) аммиачные методы, позволяющие одновременно с очисткой газов от SO<sub>2</sub>, получать сульфит и бисульфит аммония, которые используются как товарные продукты либо разлагаются кислотой с образованием высококонцентрированной SO<sub>2</sub> и соответствующей соли;

2) методы нейтрализации сернистого ангидрида, позволяющие одновременно получать сульфиты и сульфаты. Эти методы обеспечивают высокую степень очистки газов, но получаемые продукты имеют ограниченный спрос в народном хозяйстве;

3) каталитические методы, основанные на окислении сернистого ангидрида в присутствии катализаторов с получением разбавленной серной кислоты [3].

Выбор того или иного метода очистки от сернистого ангидрида должен быть решен с учетом местных условий, наличия поглотителей и потребности в получаемых продуктах.

На производстве наибольшее распространение получил метод нейтрализации сернистого ангидрида, а именно содовый метод. Содовый метод основан на поглощении сернистого ангидрида раствором соды в абсорбционных башнях. Фактически процесс получения бисульфита из оксида серы (IV) проходит через стадии образования бикарбоната и сульфита натрия:





Распространение данного метода обусловлено непрерывностью ведения технологического процесса и экономичностью очистки больших количеств газовых выбросов.

Таким образом, химическая промышленность Республика Беларусь является одной из самых крупных отраслей промышленности, и включает 7 отраслей, характеризующихся широким спектром производимых продуктов. Предприятия химической отрасли суммарно дают около 30 % от общереспубликанского объема выбросов в атмосферный воздух, включающих широкий спектр высокотоксичных веществ. Наибольший объем выбросов приходится на сернистый ангидрид. Для удаления  $\text{SO}_2$  из выбросов предприятий чаще всего применяется абсорбцию содовым раствором (содовый метод).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух за 1990-2019 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 22.03.2021.
2. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2019 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/content/793.html>. – Дата доступа: 21.03.2021.
3. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник Т. 1. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. – 917 с.

## ВОДОПОТРЕБЛЯЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ – НАПРАВЛЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

### WATER CONSUMPTION EQUIPMENT AT THE ENTERPRISES FOR THE PRODUCTION OF DAIRY PRODUCTS - DIRECTION OF OPTIMIZING WATER USE

**П. Н. Захарко**  
**P. Zakharko**

*Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»,  
г. Минск, Республика Беларусь,  
polina.k.85@mail.ru  
RUE «Central Research Institute for Complex Use of Water Resources», Minsk, Republic of Belarus*

В статье рассмотрено основное водопотребляющее оборудование на предприятиях по производству молочных продуктов. Выделены факторы, оказывающие влияние на использование воды оборудованием, приведены возможные диапазоны водопотребления по оборудованию, которые указывают о возможности развития направлений по оптимизации водопользования на предприятии по производству молочных продуктов. Учитывая активное наращивание предприятиями по производству молочных продуктов последние 10 лет производственных мощностей, вопросы оптимизации водопользования становятся все более актуальными.

The article discusses the main water-consuming equipment at enterprises for the production of dairy products. The factors influencing the use of water by equipment are highlighted, possible ranges of water consumption by equipment are given which indicate the possibility of developing directions for optimizing water use at an enterprise for the production of dairy products. Taking into account the active increase of production capacities by enterprises for the production of dairy products over the past 10 years, the issues of optimizing water use are becoming more and more urgent.

*Ключевые слова:* водопотребляющее оборудование, диапазон водопотребления, водопользование.

Key words: water-consuming equipment, range of water consumption, water use.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-173-177>

Предприятия по производству молочных продуктов последние 10 лет активно наращивают объемы производства, расширяют ассортимент выпускаемой продукции, что сопровождается увеличением объемов использования воды питьевого качества на производственные нужды, а также объемов образования сточных вод.

Приведенная в статистическом сборнике «Промышленность Республики Беларусь» структура объема производства продуктов питания, напитков и табачных изделий в 2019 году [1] указывает, что производство молочных

продуктов находится на первом месте среди иных видов производства продуктов питания, напитков и табачных изделий (рисунок 1).



Рис. 1 – Структура объема производства продуктов питания, напитков и табачных изделий 2019 г.

Согласно данным государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) за 2019 г. проведен детальный анализ водопользования предприятий группы 105 «Производство молочных продуктов», который показал, что предприятия по производству молочных продуктов являются достаточно водоемкими и потребляют наибольший объем воды питьевого качества на производственные нужды, среди предприятий подсекции СА (таблица 1). В таблице 1 анализировались статистические данные государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) по 74 предприятиям молочной промышленности.

Таблица 1 – Показатели водопользования подсекции СА и группы 105 – «Производство молочных продуктов» за 2019 г.

Единица измерения	Добыча	Изъятие	Получено из системы водоснабжения другого лица	Сброшено сточных вод в водные объекты	Поля фильтрации	Выгреб	Технологические водные объекты	Система канализации другого лица
Подсекция СА – Производство продуктов питания, напитков и табачных изделий								
млн. м <sup>3</sup>	44,066	4,390	12,822	8,398	7,246	0,758	0,21	33,807
Группа 105 – «Производство молочных продуктов»								
млн. м <sup>3</sup>	22,628	0,192	4,976	2,009	1,945	0,03	–	20,034
Соотношение значений группы 105 к значениям подсекции СА, %								
%	51	4	39	24	27	4	–	59

Сточные воды предприятий по производству молочных продуктов отводятся как напрямую в окружающую среду: водный объект, поля фильтрации, так и в систему централизованной канализации населенного пункта. Так, из 74 анализируемых предприятий 10 имеют выпуски сточных вод в водные объекты после очистных сооружений биологической очистки в искусственных условиях (объем сброса в 2019 г. составил 2 млн. м<sup>3</sup>/год или 24 % от общего объема сброса сточных вод в водные объекты предприятиями подсекции СА), 7 предприятий сбрасывают сточные воды на очистные сооружения биологической очистки в естественных условиях (карты полей фильтрации) (объем сброса в 2019 г. составил 1,9 млн. м<sup>3</sup>/год или 27 % от общего объема сброса сточных вод на поля фильтрации предприятиями подсекции СА). Зачастую сточные воды, сбрасываемые на карты полей фильтрации, не проходят даже предварительную очистку на сооружениях механической очистки (песколовка, первичный отстойник), что приводит к загрязнению подземных вод. Выпуски сточных вод после очистных сооружений биологической очистки в искусственных условиях в основном организованы в малые водотоки, расход которых меньше расхода сбрасываемых сточных вод. Тем самым сточные воды, сбрасываемые в окружающую среду от предприятий по производству молочных продуктов, оказывают существенную антропогенную нагрузку как по объему, так и по массе загрязняющих веществ.

Учитывая сформировавшуюся в последние пять лет динамику увеличения количества выпусков сточных вод от предприятий по производству молочной продукции в водные объекты, требуется более детальное изучение и регулирование водопользования на данных предприятиях.

Предприятия по производству молочных продуктов потребляют значительные объемы питьевой воды на следующие нужды:

- производственные нужды (расход воды на технологические нужды оборудования, санитарная обработка технологического оборудования, тары, автомолцистерн, охлаждение сырья и продуктов в различных теплообменных аппаратах, выработка пара и собственные нужды котельной и др.);

- вспомогательные нужды (охлаждение аммиачных компрессорных установок, нужды лаборатории, подпитка тепловых сетей и др.);

- хозяйственно-питьевые нужды (использование воды для питья, мойки посуды в столовой, мойки непроизводственных помещений, душевых нужд, стирки спецодежды и др.).

Более детальное изучение технологических процессов и используемого производственного оборудования позволило выделить факторы, влияющие на водопотребление и соответствующие диапазоны водопотребления по отдельному оборудованию.

В качестве примера рассмотрено четыре вида оборудования, при работе которых затрачивается около 95 % воды по статье «обеспечение технологических параметров работы оборудования».

#### *Гомогенизаторы*

Гомогенизаторы используются для гомогенизации молока - механическая обработка молока и жидких молочных продуктов с целью повышения дисперсности в них жировой фазы, что позволяет исключить отстаивание жира во время хранения молока, развитие окислительных процессов, дестабилизацию и подсывание при интенсивном перемешивании и транспортировании.

#### *Особенности водопотребления гомогенизатора*

1. Вода используется только в плунжерных гомогенизаторах. Плунжеры при работе сильно нагреваются от горячего продукта, который, проникая через уплотнение, присыхает к поверхности плунжеров. Поэтому в гомогенизаторах находится специальное смывное приспособление, через которое на плунжеры подается вода, смывающая продукт.

2. Несмотря на то, что остальные виды гомогенизаторов не используют воду, применение плунжерных гомогенизаторов наиболее распространено в связи с высокой эффективностью дробления жировых шариков.

#### *Фактор, влияющий на водопотребление при работе гомогенизатора*

1. Использование прямоточной системы обусловлено поступлением в воду остатков продукта, что затрудняет использование данной воды в оборотном цикле. Расходы воды находятся в диапазоне от 0,013 м<sup>3</sup>/час до 3 м<sup>3</sup>/час в зависимости от производительности и марки оборудования.

#### *Маслоизготовители и маслообразователи*

Маслоизготовители предназначены для получения масла методом сбивания сливок нормальной жирности (30...40 %), а маслообразователи - для получения масла из высокожирных сливок (до 80...82 %).

*Особенности водопотребления и факторы, оказывающие влияние на водопотребление маслоизготовителя и маслообразователя*

Использование воды в маслоизготовителе:

- в сбивателе имеется рубашка холодной воды для охлаждения цилиндров;

- для промывки масляного зерна в текстураторе (после удаления пахты масляное зерно промывается, вода для промывки удаляется из маслоизготовителя через отстойник);

- в текстураторе для охлаждения пахты и масляного зерна.

Использование воды в маслообразователе:

- в рубашке для охлаждения продукта;

- в случае перерыва в работе масло в цилиндрах затвердевает и для обогрева цилиндров в охлаждающую рубашку необходимо подать пар или горячую воду. Цилиндры после этого очищаются от продукта. Промывка цилиндров осуществляется горячей водой и специальными растворами.

Диапазоны расхода воды при работе маслоизготовителя составили от 1,5 м<sup>3</sup>/час до 3,5 м<sup>3</sup>/час, маслообразователя - от 0,5 м<sup>3</sup>/час до 2,5 м<sup>3</sup>/час.

#### *Вакуум-выпарные установки*

Вакуум-выпарная установка (ВВУ) предназначена для удаления влаги из сырья в результате его кипения при давлении меньше атмосферного и используется для концентрирования и сгущения молока (сыворок). Каждая ВВУ должна иметь парообразователь (греющую камеру); паротделитель (сепаратор), где вторичный пар отделяется от капель молока; конденсатор для конденсации вторичного пара; конденсатоотводчик или насос для удаления конденсата и вакуум-насос для удаления воздуха.

#### *Система водоснабжения ВВУ*

Для охлаждения вакуум-выпарных установок предусматриваются оборотные системы водоснабжения.

Оборотная система водоснабжения функционирует следующим образом:

- в производственные установки подается охлажденная оборотная вода, которая, пройдя технологический цикл, нагревается;

- нагретая оборотная вода поступает в систему охлаждения – градирни (используются башенные, вентиляторные и др. градирни), где после охлаждения обратно подается на производственные установки;

- для заполнения системы оборотного водоснабжения и поддержания уровня воды в системе предусматривается ее подпитка питьевой водой.

### *Особенности водопользования*

1. ВВУ являются достаточно ресурсоемкими: постоянная подача первичного пара для нагрева сырья и воды для конденсации вторичного пара. При этом на ряде ВВУ не организована либо не используется, в силу загрязнения конденсата частицами продукта, система возврата конденсата первичного пара в котельную, что увеличивает водопотребление в котельной.

2. Расход первичного пара зависит от конструкции ВВУ:

- однокорпусный ВВУ – для выпаривания 1 кг влаги требуется 1 кг греющего пара (первичный пар);  
- двухкорпусный ВВУ – на 1 кг греющего пара (первичный пар) расходуется на 2 кг испаренной влаги (образующийся 1 кг вторичного пара поступает во второй корпус, где испаряет еще 1 кг влаги из молока, а сам пар конденсируется. Таким образом, 1 кг греющего пара, поступающего из котельной, испаряет 2 кг пара из молока, т. е. на 1 кг испаренной влаги расходуется 0,5 кг греющего пара, что вдвое меньше, чем в однокорпусных вакуум-аппаратах);

- трехкорпусный ВВУ – на 1 кг греющего пара (первичный пар) расходуется на 3 кг испаренной влаги;  
- использование термокомпрессора в двухкорпусном ВВУ позволяет испарить за счет 1 кг греющего пара 4 кг воды, т.е. сэкономить столько же пара, как при добавлении двух корпусов в многокорпусный аппарат.

3. Пленочные ВВУ меньше расходуют пара по сравнению с циркуляционными ВВУ: в пленочных ВВУ расход пара от 0,25-0,3 кг на 1 кг испаренной влаги, в циркуляционных – от 0,44 до 0,46 кг на 1 кг испаренной влаги. Расход пара на 1 кг испаренной влаги в пленочных ВВУ в 3 раза меньше, чем в циркуляционных ВВУ.

4. В ВВУ для компрессии вторичного пара могут использоваться термокомпрессор и механический компрессор. Коэффициент полезного действия термокомпрессора составляет 0,40-0,5, механической компрессии – до 0,95, что многократно снижает расход пара на испарение влаги и объем получаемого конденсата. Расход пара на испарение 1 кг влаги снижается до 13 раз при незначительном увеличении расхода энергии, в сравнении в ВВУ с термокомпрессией пара. Конденсат отсутствует или имеется в небольшом объеме.

5. При работе ВВУ образуется дополнительный поток – вторичный пар, который без использования или после использования сбрасывается в сети канализации.

### *Факторы, влияющие на водопотребление и водоотведение при работе ВВУ*

1. Наличие системы возврата конденсата первичного пара в котельную.  
2. Конструкция ВВУ - использование многокорпусных, пленочных с механической компрессией вторичного пара ВВУ значительно снижает расход 1 кг первичного пара на 1 кг испаренной влаги.

3. Применение ВВУ с использованием вторичного пара, наличие системы повторного использования вторичного пара (наружная мойка автомолцистерн).

4. Способ подогрева продукта – использование вместо водяного пара паров аммиака и фреона, что исключает использование воды в системе конденсации вторичного пара.

### *Диапазоны водопользования:*

1. Диапазон образования испаренной влаги (вторичного пара) от 2000 т/час до 20000 т/час.

2. Расход пара от 500 кг/час до 3850 кг/час.

3. Расход холодной воды для конденсации вторичного пара от 18 м<sup>3</sup>/час до 104 м<sup>3</sup>/час.

### *Сепараторы*

Сепарирование – процесс разделения полидисперсной или многокомпонентной жидкостной системы под действием центробежной силы.

По технологическому (производственному) назначению различают:

- сепараторы-молокоочистители;

- сепараторы-сливкоотделители;

- сепараторы специальных конструкций (сепараторы для получения высокожирных сливок; бактофуги; сепаратор, совмещенный с гомогенизатором и др.).

### *Особенности водопотребления и факторы, оказывающие влияние на водопотребление сепаратора:*

1. Сепараторы с ручной выгрузкой осадка требуют более частой остановки для выгрузки осадка, при которой осуществляется мойка барабана; сепараторы самовыгружающиеся используют воду только для выгрузки осадка, при этом весь барабан не моется и сепаратор не останавливается. Мойка самовыгружающегося сепаратора осуществляется чаще всего 1 раз в смену, после его полной остановки.

Продолжительность непрерывной работы сепаратора с ручной выгрузкой осадка зависит от объема приемника осадка и загрязненности молока и составляет от 2 до 2,5 часов. Продолжительность непрерывной работы самовыгружающегося сепаратора может составлять 8 часов, периодичность разгрузок сепаратора в среднем осуществляется через 15 минут, продолжительность разгрузки от 0,3 до 0,7 с.

2. При работе сепаратора (бактофуги) образуется дополнительный поток в систему канализации: осадок, который сбрасывается из сепаратора; бактофугат, который сбрасывается из бактофуги. Объем образования осадка при выгрузке сепаратора от 0,03% до 1% от объема сепарируемого молока; бактофугата при использовании двухфазной бактофуги - 3% от сепарируемого молока, однофазной бактофуги – около 0,15%.

3. При полной выгрузке осадка вместе с уплотненным осадком удаляется часть жидкой фазы, что может вызвать лишние потери продукта и неблагоприятно отразиться на процессе сепарирования молока.

При этом важно правильно отрегулировать время между разгрузками: при продолжительной работе саморазгружающегося сепаратора между разгрузками грязевое пространство заполняется осадком полностью, забиваются межтарелочные зазоры, качество очистки и разделения ухудшается; если сепаратор работает очень недолго, при разгрузке выбрасывается с осадком часть продукта, что увеличивает его потери и массу поступления загрязняющих веществ в систему канализации на стадии сепарирования.

Использование частичной выгрузки осадка позволяет избежать потерь молока, что снижает массу поступления загрязняющих веществ в систему канализации на стадии сепарирования.

Проведенный детальный анализ факторов, оказывающих влияние на использование воды оборудованием, указывает на возможности развития направлений по оптимизации водопользования на предприятиях по производству молочных продуктов. Кроме того, полученные данные могут быть в дальнейшем использованы для формирования нормативов водопотребления (водоотведения) по отдельным технологическим процессам, оборудованию, которые позволят предприятиям сформировать соответствующие мероприятия, направленные на рациональное водопользование.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Статистический сборник «Промышленность Республики Беларусь» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 23.03.2021.

## ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ «ГОМЕЛЬБОИ» ОАО «ЦБК-КОНСАЛТ» FEATURES OF THE WATER SUPPLY AND DRAINAGE SYSTEMS OF THE GOMELOBOI COMPANY BY CBK-CONSULT

*К. С. Кусель, Е. С. Лён*  
*K. Kisel, E. Len*

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
kisel.kirill@gmail.com  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Проведен анализ функционирования систем водоснабжения и водоотведения предприятия. Водоснабжение предприятия осуществляется из сети водопровода КПУП «Гомельводоканал» и из поверхностного водозабора – озера Шапор. Наиболее водоемким технологическим процессом является приготовление красок. В системе водоотведения предприятия функционируют локальные очистные сооружения на выпуске сточных вод дождевой канализации и очистные сооружения на выпуске производственных сточных вод. Также особенностью систем водоснабжения и водоотведения предприятия является то, что объектом водоснабжения и водоотведения является один и тот же водный объект – озеро Шапор, вода из которого перед использованием в технологических процессах подвергается очистке.

An analysis of the operation of the plant's water and drainage systems has been carried out. The water supply is provided from the Gomelvodokal water supply network and from the surface water intake, Lake Shapor. The most water-intensive process is the preparation of paints. The plant's drainage system operates local wastewater treatment plants for the production of rainwater wastewater and wastewater treatment plants for the production of wastewater. Also a feature of the plant's water and drainage systems is that the object of water supply and drainage is the same water facility - Lake Shapor, the water from which before use in technological processes is treated.

*Ключевые слова:* деревообрабатывающая промышленность, дождевая канализация, очистные сооружения, обои, сточные воды.

*Keywords:* woodworking industry, rain sewers, treatment plants, wallpaper, sewage.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-177-181>

Целлюлозно-бумажная промышленность - наиболее сложная отрасль лесного комплекса, связанная с механической обработкой и химической переработкой древесины. Она включает производство целлюлозы, бумаги, картона и изделий из них. Основное сырьё, которое используется в целлюлозной отрасли, это древесная масса и целлюлоза из хвойных и лиственных пород дерева. Конечным продуктом производства считается бумага различного качества, разноплановый картон с различными свойствами, а также изделия из данных материалов. Кроме этого предприятия выпускают древесноволокнистые плиты (ДВП) и изоляционно-волокнистое сырьё.

Отличительными чертами целлюлозно-бумажной промышленности являются высокая материалоемкость, большая водоемкость, значительная энергоемкость.

Общий объем производства продукции ЦБП в мире в 2016 г. составил около 440 млн. т, при этом 85% производства приходится на 10 стран мира. В США сосредоточено производство около 50 млн. т, Бразилия и Канада производят по 17,5 млн. т, другими крупными странами-производителями являются Швеция, Финляндия, Китай, Япония, Россия, Индонезия и Чили — каждая с годовым объемом производства от 5 до 12 млн. т.

Треть мирового производства целлюлозы направляется на экспорт. Крупнейшими экспортерами на 2016 г. с годовыми объемами от 7 до 11 млн. т являются Бразилия, Канада и США. Лидерами экспорта также являются Чили, Индонезия, Швеция и Финляндия — от 3 до 4,5 млн. т. Крупнейший импортер целлюлозы — Китай с объемом импорта 12 млн. т, другие страны импортируют менее 3 млн. т ежегодно каждая.

Развитые страны широко применяют макулатурное сырье для производства продукции в целлюлозно-бумажной промышленности. Уровень сбора и переработки макулатуры в Европе достигает 70-80% от объема образования, при этом уровень захоронения макулатуры в европейском регионе является крайне низким — до 5%. Европейскому рынку присуща высокая оборачиваемость макулатуры — 5-6 циклов переработки вторичного сырья. За последние 10 лет доля макулатурного картона в Европе выросла на 10% и достигла значения в 75%.

Лесопромышленные комплексы особенно перспективны для районов, имеющих богатые лесные ресурсы, но отличающиеся нехваткой трудовых ресурсов, слабой степенью освоенности, суровыми климатическими условиями. Резервами их дальнейшего развития является вовлечение в эксплуатацию нетронутых лесных массивов, а также полное использование лиственной низкосортной хвойной древесины.

Основное направление ресурсосбережения в целлюлозно-бумажной промышленности - рациональное использование древесного сырья (что на стадии заготовки древесины выражается в максимально эффективном использовании лесосечного фонда, сокращении потерь древесины), а также расширение использования и переработки древесных отходов в качестве заменителя деловой древесины, позволяющие достичь ощутимого экологического эффекта, состоящего в сокращении вырубаемых лесных площадей, сохранении природной среды и т.д.

Продукцией целлюлозно-бумажной промышленности являются различные виды волокнистых полуфабрикатов (в т.ч. сульфитная и сульфатная целлюлоза), бумага, картон и изделия из них. По воздействию на окружающую среду данная отрасль остаётся одной из проблемных по величине токсичных выбросов в атмосферу и сбросов в воду.

Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность – одна из старейших и важнейших отраслей промышленности Беларуси [1]. В Республике Беларусь функционирует 12 профильных предприятий, на которых производятся массовые и специальные виды бумаги и картона. К ведущим предприятиям отрасли в Республике Беларусь относятся:

- ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат»
- ОАО «Белорусские обои»
- ОАО «Гомельобои»
- ОАО «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда»
- ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин»
- ОАО «Бумажная фабрика «Красная Звезда»
- УП «Бумажная фабрика» Гознака Республики Беларусь
- ОАО «Бумажная фабрика «Спартак»
- ОАО «Молодеченская картонная фабрика «Раевка»

Динамика производства продукции отдельных видов изделий из дерева и бумаги в Республике Беларусь за период 2015 – 2019 годы представлена в таблице 1.

*Таблица 1 – Динамика производства продукции отдельных видов изделий из дерева и бумаги в Республике Беларусь, расчетная единица/год*

Продукция	Единица измерения	2015	2016	2017	2018	2019
Целлюлоза древесная и целлюлоза из прочих волокнистых материалов	тыс. т	29,0	9,2	1,6	26,7	147,0
Бумага и картон	тыс. т	296,1	264,0	297,1	356,8	368,5
Коробки, ящики и контейнеры из бумаги или картона	млн. кв. м	290,9	303,9	304,1	310,6	353,3
Пиломатериалы	тыс. куб. м	2 742	2 745	3 261	4 046	5 355
Фанера клееная	тыс. куб. м	184,6	183,3	258,2	296,8	299,9
Обои	тыс. усл. Кусков	37 641	42 458	38 657	40 035	41 962

Холдинг «Белорусские обои» – крупнейшая динамично развивающаяся многопрофильная группа компаний Республики Беларусь. Предприятия и бренды, входящие в состав Холдинга, хорошо известны потребителям благодаря традиционному качеству оказываемых услуг и выпускаемой продукции [1].

Филиал «Гомельобой» ОАО «ЦБК-Консалт», основанный в 1927 г., является одним из крупнейших предприятий по производству обоев на территории Республики Беларусь.

На большинстве белорусских промышленных предприятий данной отрасли функционируют устаревшее оборудование и технологические процессы. В связи с этим отрасль отличается большим количеством отходов производства, недостаточностью качества очистки токсичных выбросов и сбросов, применением на производстве опасных химических веществ, оказывающих вредное воздействие на персонал и окружающую среду [1].

Основное производства предприятия Филиал «Гомельобой» ОАО «ЦБК-Консалт» включает: участок трафаретной печати, участок бумажных обоев, участок «МетаПак».

К подразделениям вспомогательного производства относятся: транспортный цех, ремонтно-строительная служба, промышленно-санитарная лаборатория, цех печатных форм, ремонтно-механический цех, электромонтажный цех, паросиловой цех, административно-хозяйственный отдел.

Структурными подразделениями, оказывающими наиболее негативное воздействие на окружающую среду, являются: участок трафаретной печати и участок бумажных обоев.

В настоящее время предприятие выпускает следующие виды обоев:

- глубокой печати тисненые окрашенные;
- глубокой печати гладкие водостойкие при эксплуатации;
- глубокой печати рельефные тисненые дуплекс, водостойкие при наклейвании;
- глубокой печати тисненые дуплекс с раппортом;
- виниловые на бумажной основе, произведенные методом химического тиснения;
- виниловые на бумажной основе, произведенные методом трафаретной печати;
- виниловые на флизелиновой основе, произведенные методом трафаретной печати;
- глубокой печати вспененные (пено-обои).

На площадях участка «Метапак» изготавливаются различные виды металлизированных и комбинированных материалов, упаковочных материалов с печатью, полимерных пленок, бумаги, картона [2].

Технологический процесс производства виниловых обоев требует наличия специального технического оборудования, которое готовит сырье – основу для обоев, затем наносит рисунки, рельефы, а также проводит скручивание в рулоны и упаковывает готовую продукцию. Основным сырьем для производства обоев является готовый рулонный материал и ПВХ (поливинилхлорид).

Технологический процесс производства виниловых обоев включает следующие этапы:

1. Материал в рулоне подается в машину, покрывающую обои виниловым слоем, в котором покрывается слоем ПВХ

2. Материал с напылением помещается в сушильную печь, затем в охлаждающий агрегат. На выходе получают рулоны полуфабриката.

3. Рулоны полуфабриката загружаются в линию тиснения, печати и нарезки. На данном этапе проводится нанесение красок на рулоны. Приготовление красок производится на участке приготовления красок. Данный технологический процесс является наиболее водоемким из всех технологических процессов.

4. После отпечатывания продукт поступает в нагревающую печь для вспенивания, после чего проходят этап тиснения, затем поступает в роликковый охлаждающий агрегат, нарезается на рулоны длиной 10 м [3].

Целлюлозно-бумажная промышленность относится к крупным водопотребителям, так как целлюлозу в технологическом процессе несколько раз промывают водой, кроме того, вода используется для транспортировки получаемой целлюлозы и подачи ее на бумагоделательную машину, где масса, состоящая из 99 % воды и только 1 % волокна (масса, имеющая консистенцию 1 %), может быть направлена на сито-конвейер.

В соответствии с [4] у предприятия есть разрешение на специальное водопользование.

Водоснабжение предприятия осуществляется из поверхностного водозабора – озера Шапор и сети водопровода КПУП «Гомельводоканал». Потребление воды на хозяйственно-питьевые нужды производится из сети КПУП «Гомельводоканал». Потребление воды на производственные нужды осуществляется из сети КПУП «Гомельводоканал» и поверхностного водного объекта – озеро Шапор.

Водопотребление на собственные нужды предприятия делится на водопотребление на нужды основного производства и на вспомогательные нужды.

К технологическим процессам основного производства относятся: приготовление краски, технологические процессы участка трафаретной печати и участка бумажных обоев. Наиболее водоемким из данных процессов является процесс приготовления красок.

Водопотребление на вспомогательные нужды включает: мойку оборудования; нужды котельной; полив зеленых насаждений на территории предприятия.

Источником водоснабжения основного и вспомогательного производств является поверхностный водный объект озеро Шапор и городской водопровод КПУП «Гомельводоканал». Источником хозяйственно-питьевых нужд работников предприятия является городской водопровод КПУП «Гомельводоканал». Снабжение предприятия водой питьевого качества осуществляется от сетей КПУП «Гомельводоканал» на основании договора, технической водой из озера Шапор в соответствии с разрешением на специальное водопользование Филиала

«Гомельобой» ОАО «ЦБК-Консалт». Источники и объёмы потребления воды на хозяйственно-питьевые и производственные нужды предприятия приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Источники и объёмы потребления воды на хозяйственно-питьевые и производственные нужды предприятия

Источники водоснабжения	Общий объём изъятия воды, тыс. м <sup>3</sup> /год	Объём воды, тыс. м <sup>3</sup> /год	
		хозяйственно-питьевые нужды	производственные нужды
Озеро Шапор	171,9	–	193,4
Городской водопровод КПУП «Гомельводоканал»	59	37,5	

В настоящее время вода на территорию предприятия поступает посредством 3 вводов (2 для питьевой и 1 – для технической) из стальных напорных трубопроводов диаметром 50-150 мм. Внутриплощадочная сеть водоснабжения выполнена из стальных труб диаметром 80-150 мм.

Перед использованием поверхностных вод в технологическом процессе вода предварительно проходит механическую очистку. Водозаборное сооружение представляет собой установку, состоящую из 3-х насосов, производительностью 20400 м<sup>3</sup>/сут. В водоприемном колодце установлена рыбозащитная сетка. Обратное, повторно-последовательное водоснабжение отсутствует.

Внутриплощадочные сети водоотведения Филиала «Гомельобой» ОАО «ЦБК-Консалт» принимают хозяйственно-бытовые, производственные и дождевые сточные воды (табл.3).

Таблица 3 – Объёмы водоотведения, тыс. м<sup>3</sup>/год

Наименование сточных вод	Объём, тыс. м <sup>3</sup> /год
Поверхностные сточные воды (система дождевой канализации)	182,2
Производственные сточные воды	160,2

Наружные сети хозяйственно-бытовой канализации выполнены из стальных труб диаметром 150-200 мм.

Производственные сточные воды на выпусках из участка трафаретной печати, участка бумажных обоев и цеха печатных форм перед выпуском во внутриплощадочную производственную канализацию предприятия подвергаются локальной очистке. В качестве локальной очистки используются горизонтальные отстойники.

Горизонтальные отстойники представляют собой прямоугольные резервуары, выполненные из железобетона и оборудованные водораспределительными и водосборными устройствами. Конструкции впускных и выпускных устройств сточных вод должны обеспечивать равномерное распределение потока по живому сечению отстойника. Обычно впуск воды осуществляется по фронту отстойника через незатопленный водослив с устройством направляющей полупогружной перегородки в начале отстойника. Для отвода осветленной воды в торце отстойника установлены водосборные лотки с устройством перед ними полупогружных стенок, предназначенных для задержания всплывающих веществ. Осадок, выпавший на дно отстойника, скребковым механизмом сгребается к иловому приямку, откуда удаляется плунжерным насосом. Продолжительность отстаивания составляет 1-3 часа. Эффективность осаждения составляет до 60 % [5].

Территория производственной площадки оснащена системой дождевой канализации. Поверхностный сток с территории предприятия поступает в дождевую сеть водоотведения, выполненную из керамических труб диаметром 200-300 мм и асбестоцементных труб диаметром 100-400 мм. Перед сбросом дождевого стока в озеро Шапор производится его очистка на локальных очистных сооружениях дождевых сточных вод предприятия.

Отведение поверхностных сточных вод в озеро Шапор осуществляется после двухступенчатой очистки. На первой ступени очистка осуществляется в отстойнике с нефтеловушкой и в гидроциклоне. Горизонтальная нефтеловушка аналогична горизонтальному отстойнику, разделенному продольными вертикальными стенками на параллельные секции, в каждую из которых поступают сточные воды. Всплывшие нефтепродукты скребковым механизмом передвигаются к щелевым поворотным трубам и отводятся из нефтеловушки. Глубина слоя воды в горизонтальной нефтеловушке составляет от 1,2 до 2 м, ширина секции 2-3 м. Эффективность работы нефтеловушек зависит от надежности работы нефте- и шламоудаляющих устройств и составляет около 60 %. На второй ступени сточные воды проходят через фильтры, заполненные древесной стружкой и сипроном, представляющим собой нетканое фильтровальное полотно на хлопчатобумажной основе, произведенное из смеси синтетических нитроновых и полиэфирных волокон.

Проведенный анализ систем водоснабжения и водоотведения предприятия показал, что их отличительной чертой является функционирование отдельных локальных очистных сооружений на выпусках сточных вод дождевой канализации и производственных сточных вод, а также то обстоятельство, что озеро Шапор является объектом водопотребления и водоотведения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белорусский производственно-торговый концерн лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bellesbumprom.by/ru/o-kontserne/istoriya> – Дата доступа 10.11.2020.
2. Официальный сайт «Гомельобой» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gomeloboi.by/> – Дата доступа: 11.02.2021.
3. Интернет-портал «Бизнес в Китае» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://asia-business.ru/torg/equipment/stroy/stroy\\_1556.html](https://asia-business.ru/torg/equipment/stroy/stroy_1556.html) – Дата доступа: 13.02.2021.
4. Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014г. N 149-3 (Зарегистрирован в Национальном реестре правовых актов Республики Беларусь 16мая 2014 г. N 2/2147). Минск: Амалфея. —127 с.
5. Инженерно-экологический справочник. Том 2. – А.С.Тимонин – Калуга 2003.

## АНАЛИЗ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОБЪЕКТАМИ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА THE ANALYSIS OF LEGISLATIVE DOCUMENTS OF THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE FIELD OF HANDLING OBJECTS OF THE PLANT WORLD

*Т. А. Королько, И. А. Ровенская*  
*T. Korolko, I. A. Rovenskaya*

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь,  
korolko-2001@mail.ru  
rovenskayaia@rambler.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В данной статье представлен разбор основных вопросов в области обращения с объектами растительного мира. Подробно разобраны особенности пользования, учёта, удаления объектов растительного мира, а также условия осуществления компенсационных мероприятий.

This article presents an analysis of the main issues in the field of handling objects of the plant world. The features of the use, accounting, removal of plant objects, as well as the conditions for the implementation of compensation measures, are discussed in detail.

*Ключевые слова:* растительный мир, законодательные акты, удаление, компенсационные мероприятия, посадка, учет.

*Keywords:* flora, legislative acts, withdrawal, compensatory measures, replanting, accounting.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-181-184>

Растительный мир является неотъемлемым компонентом окружающей среды и биологического разнообразия. Не составляет исключения и растительность городской среды. С ростом городов и развитием промышленности в них ухудшается и качество окружающей среды, и единственным естественным регулятором ее состояния являются растения. Растительность городов регулирует газовый состав воздуха, снижает содержание в воздухе вредных загрязнителей, блокирует шум, улучшает эстетический и психологический комфорт населения города. Однако зелёные насаждения также серьёзно страдают от неблагоприятного влияния промышленности и транспорта, поэтому контроль и их охрана является важной задачей.

Одним из главных нормативных актов в сфере охраны растительного мира, является Закон Республики Беларусь № 205-З «О растительном мире» от 14.06.2003 года (в ред. от 28.12.2018 г.). [1]

Данный Закон устанавливает правовые основы обращения с объектами растительного мира, а также охраны среды произрастания объектов растительного мира, повышения их средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, рекреационных и иных функций в целях обеспечения благоприятной для жизни и здоровья граждан окружающей среды, рационального (устойчивого) использования ресурсов растительного мира. В своих главах Закон устанавливает правила, положения и особенности охраны, карантина и защиты объектов растительного мира; регулирования распространения и численности растений; озеленения; осуществления деятельности, влияющей на объекты растительного мира; пользования объектами растительного мира; учета и мониторинга растительного мира и др.

Некоторые моменты обращения с объектами растительного мира рассмотрим подробнее.

1. *Пользование объектами растительного мира.* Регламентируется главой 9 Закона «О растительном мире» [1]. Выделяют следующие виды пользования: сбор, заготовка дикорастущих растений и (или) их частей; сенокосение; пастьба скота; пользование объектами растительного мира в научно-исследовательских и учебно-опытных целях, в культурно-оздоровительных, туристических, иных рекреационных и (или) спортивных целях.

Пользование может быть как общим (объекты растительного мира используются гражданами в личных целях безвозмездно без закрепления объектов растительного мира за ними и без получения разрешительных документов), так и специальным (при пользовании объектами растительного мира нужно получать разрешение местных исполнительных и распорядительных органов о предоставлении такого права).

Пользование объектами растительного мира может быть постоянным и временным. Если правом не установлены сроки пользования, то пользование признаётся постоянным. Для временного пользования устанавливаются сроки до 1 года (краткосрочное пользование), и срок до 5 лет (долгосрочное пользование). Данные сроки устанавливаются решением местных исполнительных и распорядительных органов. Право специального пользования объектами растительного мира может быть ограничено или приостановлено.

2. *Учет объектов растительного мира и обращения с ними.* В соответствии со ст. 65 Закона «О растительном мире» [1] «ведется юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями являющимися пользователями земельных участков, в границах которых произрастают объекты растительного мира, а также осуществляющими специальное пользование объектами растительного мира».

При ведении учета объектами учета являются:

- озелененные территории общего пользования в населенных пунктах, а также произрастающие на этих территориях насаждения;
- озелененные территории ограниченного пользования в границах земельных участков юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, а также произрастающие на этих территориях насаждения;
- противоэрозионные и придорожные насаждения;
- насаждения, произрастающие на землях запаса;
- отдельные ценные деревья, произрастающие за пределами насаждений, ранее указанных территорий;
- растительная продукция, заготовленная (закупленная) в порядке осуществления специального пользования объектами растительного мира.

Порядок ведения учета объектов растительного мира и обращения с ними устанавливается Постановлением Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь № 40 от 15.12.2016 г. «О некоторых вопросах ведения учета объектов растительного мира...» и утвержденной в Постановлении Инструкцией «О порядке учёта объектов растительного мира...» [2].

Учет объектов растительного мира и обращения с ними может проводиться самостоятельно юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем, либо с привлечением иных лиц. Если земельный участок не предоставлен юридическому лицу и гражданам, то учёт осуществляют местные исполнительные и распорядительные органы, в чьем ведении находятся эти земельные участки. Учёт придорожных насаждений ведётся владельцами дорог.

Учёт должен осуществляться с непосредственным натурным обследованием территории и тщательным осмотром каждого объекта растительного мира в период с апреля по октябрь. Первоначальный учёт проводится в течение 1 года с момента возникновения прав на земельный участок, а далее проводится плановый учёт каждые 5 лет. По результатам должна быть оформлена документация: ведомость учёта (согласно установленной формы [2]) и картосхема озелененной территории. Картосхема должна быть подготовлена в бумажном и(или) в электронном виде. Предпочтительным является масштаб 1:500 (иной масштаб разрешено использовать только с условием, что границы озелененных территорий, а также объекты растительного мира на картосхемах будут однозначно определяться). Условные знаки на картосхемах наносятся черным цветом, их вид и размер должен строго соответствовать условным знакам, определенным для топографических карт соответствующего масштаба.

Представляет сложности определение границ озелененной территории, которые часто могут не совпадать с границами территории землепользователя. Границы озелененной территории определяются по границам зданий, сооружений и дорожек, находящихся по ее периметру, и площадь озелененной территории определяется в рамках этих границ. Разрешается деление озелененной территории на учётные участки, при этом каждому участку присваивается порядковый номер. Номера учетных участков и их площади указываются на картосхеме в виде дроби, при этом номер в числителе, а в знаменателе площадь в га, округленная до сотых.

В ведомостях учета озелененной территории указывается баланс озелененной территории (площадь, занимаемая объектами растительного мира и площадь остальной территории, занимаемой зданиями, сооружениями, тропинками с твердым покрытием и водными объектами), а также такие параметры как плотность посадки, полнота насаждений и состав насаждений. Если с балансом территории всё понятно – суммарно указанные площади должны составлять 100 % общей площади озелененной территории, то определение остальных параметров строго установлено Инструкцией [2] и зависит от вида и площади озелененной территории. Так, для территорий небольшой площади (менее 1 га) (за исключением участков городских лесов и участков придорожных насаждений железной дороги), а также для любых парков, скверов, бульваров и озелененных территорий уличной сети рассчитывается плотность посадки (количество деревьев на единицу площади) и состав насаждений (указывается систематическое название всех учитываемых деревьев до вида и их количество).

Для территорий большой площади (более 1 га), а также для любых участков городских лесов и участков придорожных насаждений железной дороги рассчитывается только полнота насаждений и состав насаждений согласно законодательства об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов [3]. При этом под полнотой понимается плотность стояния деревьев, характеризующая степень использования ими занимаемого пространства. Полнота – величина относительная, всегда меньше 1 (исключение составляет нормальное насаждение, его полнота равна 1). Для обозначения состава насаждений в данном случае установлены условные формулы. В них указывается название древесных пород и степень участия каждой из них в насаждении.

Для территорий общего пользования в населенных пунктах дополнительно требуется указать площадь, занимаемую каждым видом объекта (совокупности объектов) растительного мира (деревьями, кустарниками, газонами, цветниками), а также каждым видом территории не находящейся под объектами растительного мира (территория под зданиями и сооружениями, под водными объектами и др.). Таким образом, для правильного выбора формы Ведомости учёта, необходимо наличие землеустроительных документов и земельно-кадастровой документации для однозначного определения категории учитываемых земель и подтверждения их нахождения в населенном пункте.

3. *Удаление и пересадка объектов растительного мира.* В соответствии со статьей 37 Закона «О растительном мире» [1] речь идет об удалении объектов растительного мира, которые произрастают на землях, находящихся в собственности государства.

Основанием для удаления и пересадки является наличие:

- утвержденной проектной документации;
- разрешения местного исполнительного и распорядительного органа;
- решения государственного органа об изменении или снятии ранее установленных запретов;
- утвержденных мероприятий по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, предусматривающих необходимость удаления объектов растительного мира;
- заключения о признании дерева опасным;
- акта о наличии места произрастания деревьев, кустарников, относящихся к видам, распространение и численность которых подлежат регулированию;
- копии предварительного уведомления местного исполнительного и распорядительного органа о планируемых удалении, пересадке объектов растительного мира.

В ряде случаев, установленных ст. 38 Закона «О растительном мире» [1] при удалении объектов растительного мира предусматриваются компенсационные мероприятия, которые включают компенсационные выплаты или компенсационные посадки. Оба вида компенсационных мероприятий за удаление одних и тех же объектов одновременно не предусматриваются. Порядок определения условий осуществления компенсационных мероприятий устанавливается Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1426 от 25.10.2011 года (в редакции от 26.04.2019 г. № 265) [4]. Компенсационные мероприятия осуществляются лицами, заинтересованными в удалении объектов растительного мира.

Размеры компенсационных мероприятий определяются в зависимости от количества удаляемых объектов растительного мира. При этом обязательно учитывается порода и вид удаляемого объекта; параметры деревьев, кустарников, цветников и газонов, а также их качественное состояние.

Для определения размеров компенсационных посадок складываются все высаживаемые объекты растительного мира взамен удаляемых и сумму умножают на коэффициент (повышающий, либо понижающий). При необходимости удаления объектов на особо охраняемых природных территориях применяется повышающий коэффициент 2. В случаях удаления объектов растительного мира, мешающих эксплуатации инженерных сооружений или удаления при строительстве, финансирование которого осуществляется государственный бюджет, применяется понижающий коэффициент 0,5, понижающий коэффициент равный 0,1 применяется также в случаях удаления объектов растительного мира, произрастающих за границами территории населенных пунктов.

При расчете количества высаживаемых объектов растительного мира применяются коэффициенты, учитывающие качество удаляемых объектов растительного мира:

- - для деревьев и кустарников, находящихся в хорошем состоянии, – коэффициент, равный 1;
- - для деревьев и кустарников, находящихся в удовлетворительном состоянии, – коэффициент, равный 0,75;
- - для деревьев и кустарников, находящихся в плохом состоянии, – коэффициент, равный 0,5;
- - для деревьев и кустарников, находящихся в ненадлежащем состоянии, – коэффициент, равный 0,25;
- - для участков поросли (самосева) деревьев и кустарников, произрастающих в составе придорожных насаждений, в полосах отвода автомобильных и железных дорог, – коэффициент, равный 0,1.

Итоговое количество необходимых посадок деревьев и кустарников с целью получения целого числа округляют в большую сторону. При удалении газона или цветника землепользователя обязывают восстановить удаленную площадь данных объектов, либо компенсировать потерю выплатами.

Компенсационные посадки осуществляются в соответствии с правилами проектирования и устройства озеленения и нормативами в этой области. По факту выполнения работ подготавливается и подписывается Акт, который в течение пяти календарных дней со дня его оформления направляется в местный исполнительный и распорядительный орган и территориальный орган Минприроды.

Размеры компенсационных выплат рассчитываются по следующей формуле:

$$V = \sum_{i=1}^n S_i \cdot B \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где  $V$  – размер компенсационных выплат (в белорусских рублях);

$S_i$  – стоимость удаляемого объекта растительного мира (в базовых величинах);

$B$  – размер базовой величины (в белорусских рублях);

$K_1$  – коэффициент, равный 2. Он применяется при удалении объектов растительного мира, в отношении которых установлены ограничения или запреты и которые расположены в границах природных территорий, подлежащих особой или специальной охране;

$K_2$  – коэффициент, равный 0,5. Используется при удалении объектов растительного мира при строительстве, когда его финансирование осуществляется за счет бюджетных средств, без привлечения иных источников финансирования;

$K_3$  – коэффициент, равный 0,5. Он применяется, когда объекты растительного мира, препятствуют эксплуатации инженерных сетей, и их удаление осуществляется на основании разрешения на удаление;

$K_4$  – коэффициент, равный 0,1. Используется только при удалении объектов растительного мира, которые растут за границами населенных пунктов;

$n$  – количество удаляемых объектов растительного мира (штуки – для деревьев и кустарников;  $m^2$  – для газонов и цветников).

Таким образом, в законодательстве Республики Беларусь о растительном мире нашел место комплексный подход к регулированию отношений по охране, использованию и воспроизводству растительного мира как компонента природной среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О растительном мире : Закон Респ. Беларусь, 14 июня 2003 г., № 205-3: в ред. Закона Респ. Беларусь от 28 декабря 2018 г. // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр» – Минск, 2021.

2. О некоторых вопросах ведения учета объектов растительного мира и обращения с ними и представления информации для включения в государственный кадастр растительного мира: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 15 декабря 2016 г., № 40 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

3. Лесной Кодекс Республики Беларусь : Закон Респ. Беларусь, 24 декабря 2015 г., № 332-3: в ред. Закона Респ. Беларусь от 28 декабря 2018 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

4. О некоторых вопросах обращения с объектами растительного мира : Постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 25 октября 2011 г., № 1426 : в ред. Постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 26 апреля 2019 г. № 265 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ДЕСТРУКЦИИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ПЛОДООВОЩНОЙ КОНСЕРВНОЙ ОТРАСЛИ INVESTIGATION OF THE SOLID WASTE ENZYMATIC DEGRADATION OF THE ENTERPRISES OF THE FRUIT AND VEGETABLE CANNING INDUSTRY

**Г. В. Крусир, О. А. Сагдеева, А. С. Гнездовский, А. Л. Цыкало**  
**G. V. Krusir, O. A. Sagdeeva, A. S. Gnezdovsky, A. L. Tsykalo**

*Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина*  
*sagolanis@ukr.net*

*Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine*

Работа посвящена исследованию процесса ферментативной деструкции твердых отходов предприятий плодоовощного консервного производства для внедрения усовершенствованной технологии их утилизации и создания оптимально сбалансированной кормовой добавки. Ферментативная деструкция целлюлозы в составе отходов целлюлазой при воздействии микроорганизмов является основой биотехнологического процесса. Определены основные характеристики процесса ферментативной деструкции и получены данные для совершенствования технологии утилизации твердых отходов предприятий консервной отрасли. Сравнительный анализ биоконверсии различных видов отходов доказывает, что ферментативная деструкция целлюлазой является эффективной именно для плодоовощных выжимок в составе отходов, позволяет получить из них ценную кормовую добавку и снизить уровень нагрузки на состояние окружающей среды.

The work is devoted to the study of the solid waste enzymatic destruction process from fruit and vegetable canning enterprises for the introduction of an improved technology for their utilization and the creation of an optimally balanced feed additive. Enzymatic destruction of cellulose in the waste composition by cellulase under the microorganisms influence is the basis of the biotechnological process. The main characteristics of the enzymatic destruction process have been determined and data have been obtained for improving the technology of solid waste utilization from enterprises of the canning industry. Comparative analysis of bioconversion of the waste various types proves that enzymatic destruction by cellulase is effective specifically for the fruit and vegetable pomace in the waste composition, allows you to obtain a valuable feed additive from them and reduce the stress level on the environment.

*Ключевые слова:* отходы, выжимки, ферментативная деструкция, гидролиз, биоконверсия, целлюлоза, целлюлаза, экологическая безопасность.

*Key words:* waste, pomace, enzymatic destruction, hydrolysis, bioconversion, cellulose, cellulase, environmental safety.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-184-188>

Среди природоохранных проблем накопление и обращение с отходами занимает первое место во всем мире. Технологиям обращения с органическими отходами объектов отраслей народного хозяйства, в частности, пищевых предприятий посвящено много внимания как на национальном, так и на международном уровнях в силу специфики состава, объемов образования и относительной однородности.

Так, результатом деятельности предприятий плодоовощного консервного производства наряду со сбросами концентрированных сточных вод в гидросферу и выбросами в атмосферный воздух является ежегодное образование более 150 тыс. т твердых отходов, которые обладают широкой номенклатурой и имеют специфический состав, а в условиях размещения их в компонентах окружающей среды способствуют формированию экологической опасности.

При переработке плодоовощного сырья образуются отходы, в состав которых входят такие ценные компоненты как сахара, спирты, виннокислые соединения. Для получения полезных компонентов отходы подлежат переработке, которая позволяет получить продукты пищевого и кормового назначения для ряда отраслей народного хозяйства, а также снизить нагрузку на окружающую среду.

Научные исследования [1-3] в области утилизации вторичного плодоовощного сырья содержат ряд опытно-экспериментальных и аналитических работ. Технологический процесс консервного производства тесно связан с наличием большого количества отходов: фруктовые выжимки, плодовые косточки, семена. Удельный вес отходов в отрасли составляет в среднем 25-40% массы перерабатываемого сырья [2]. Отходы включают в себя ценные пищевые вещества, а потому могут использоваться на данном предприятии как новое сырье или полуфабрикаты, перерабатываться для изготовления пищевых и технических продуктов или реализовываться другим предприятиям. Продуктами переработки отходов является халва, масляные косточковые масла, повидло, джемы и т.д. Таким образом, решение задачи экономного использования сырья и материалов зависит от выбранной схемы комплексного использования сырья.

Важной особенностью консервного производства является комплексный характер плодоовощного сырья, из которого можно изготовить несколько видов как основной, так и побочной продукции и одновременно получить пригодные для использования отходы – вторичные материальные ресурсы. Биоконверсия возобновляемого растительного сырья в топливо, кормовые и пищевые продукты, полупродукты для химической и микробиологической промышленности рассматривается в настоящее время как одна из ключевых отраслей биотехнологии.

Плодоовощное сырье по содержанию полезных компонентов является одним из самых богатых видов отходов. Значительная часть составляющих растительного сырья после его промышленной переработки остается во вторичных плодоовощных продуктах – отходах плодоовощного консервного производства, основными видами которых являются яблочные, ягодные и овощные выжимки (0,5-1,2 млн т в год). Поскольку по объемам образования выжимки преобладают над всеми другими видами твердых отходов плодоовощной консервной отрасли, одним из самых актуальных решений проблемы утилизации отходов вторичного растительного сырья является переработка плодоовощных выжимок на кормовую добавку [4].

К составляющим выжимок относятся гребни, кожица, семена, которые являются как отдельными отходами плодоовощного консервного производства, так и компонентом выжимной смеси. Результаты анализа химического состава плодоовощных выжимок (табл. 1) свидетельствуют о ценности сырья для получения кормовой добавки для крупного рогатого скота по содержанию в ней липидов, белков, углеводов, азотистых и других соединений.

Среди питательных веществ выжимок большое значение имеет белок, содержание которого составляет 15,0%. Биологическая ценность белка зависит от его аминокислотного состава [4], поэтому следующим этапом исследования было изучение аминокислотного состава выжимки, по результатам которого установлено, что плодоовощные выжимки богаты такими критическими аминокислотами, как триптофан (7,2%) и лизин (7,5%), наличие которых способствует наращиванию веса и оптимальному обмену веществ у животных [5].

Таблица 1 – Химический состав выжимок

№ п/п	Группа веществ	% в пересчете на сухое вещество
1	Липиды	9,0
2	Углеводы, в тому числе	20,1
3	Моносахариды	28,0
4	Целлюлоза	36,1
5	Лигнин	19,0
6	Белок (общий)	15,0
7	Зола	1,5
8	Фенольные соединения	6,0

Преобладающим веществом химического состава выжимки являются углеводы, а именно, целлюлоза (36,1%), которая в составе твердых отходов должна подлежать деструкции. Целлюлоза относится к полимерам, которые плохо растворяются, определяется кристаллической структурой и упаковкой целлюлозных цепей в микрофибриллами. Химические свойства целлюлозы определяются наличием  $\beta$ -гликозидной связи и тремя гидроксильными группами в каждом остатке глюкозы. Аморфные участки целлюлозы вступают в реакцию быстрее, чем кристаллические. Плотная упаковка целлюлозного волокна в целом препятствует атаке реагентами, в результате чего для целлюлозы характерны в значительной мере топонимические (поверхностные) реакции. Именно поэтому для деструкции целлюлозы, которая является основой плодоовощных выжимок, актуальным является ферментативный гидролиз, перед которым целлюлозу подвергают химическому воздействию или измельчению.

Целью работы является исследование параметров и течения процессов ферментативной деструкции отходов плодоовощного консервного производства, в частности, плодоовощных выжимок, для совершенствования процесса их утилизации и создания оптимально сбалансированной кормовой добавки.

Ферментативное превращение целлюлозы перспективно не только с точки зрения создания самостоятельных малоотходных технологий, но и с позиции снижения экологической опасности различных производств, перерабатывающих растительное сырье и сопровождающихся образованием значительного количества отходов.

Фермент целлюлаза катализирует расщепление целлюлозы до образования глюкозы, целлобиозы и олигосахаридов. Она синтезируется микроорганизмами (бактериями, микроскопическими грибами и актиномицетами), которые преимущественно гидролизуют целлюлозу и не используют другие компоненты питательных сред в качестве источников энергии.

Целлюлазы получают путем глубинного или чаще поверхностного культивирования микроорганизмов на средах с разными целлюлозосодержащими субстратами (отрубями, жомом, опилками, соломой, древесной пульпой, бумажной и вискозной массой), очищенной целлюлозой, а также мелассой и простыми сахарами. На образование ферментного комплекса влияют состав и соотношение компонентов, кислотность и аэрация среды. Из известных в настоящее время продуцентов целлюлазы наиболее активными продуцентами ферментов, которые способны усахаривать природные целлюлозосодержащие субстраты, служат различные штаммы грибов рода *Trichoderma*. Преимущество грибов *Trichoderma*, как источников целлюлаз, в том, что они производят достаточно полный комплекс целлюлаз с большим выходом. Установлено, что грибы *Trichoderma* проявляют три типа целлюлолитической активности: экзо- $\beta$ -1,4-глюканиазную (К.Ф.3.2.1), эндо- $\beta$ -1,4-глюканиазную (К.Ф.3.2.1.4) и  $\beta$ -гликозидазную (К.Ф.3.2.1.21).

Для определения особенностей ферментативной деструкции и определения оптимальных режимов течения процесса необходимо исследовать физико-химические свойства целлюлазы. Установлено, что pH-оптимум целлюлолитических ферментов находится в диапазоне от 4 до 6 ед. pH. Целлюлолитические ферменты характеризуются сравнительно высокой термостабильностью, температурный оптимум многих из них составляет 60 °С. Качественный и количественный состав целлюлазного комплекса зависит от вида продуцента и условий его культивирования.

Полученные результаты (рис. 1) позволяют определить, что максимальная активность фермента наблюдалась при значении температуры 40 °С, полная потеря активности происходила через 200 мин. При значении температуры 60 °С и выше наблюдалось резкое снижение скорости реакции гидролиза, что обусловлено термической денатурацией белков.

Целью экспериментальной части работы является определение наиболее оптимальных режимов ферментативного гидролиза выжимок, для чего исследована роль таких параметров, как воздействие температуры (Т, °С), гидромодуль, продолжительность процесса ферментативного гидролиза, ( $\tau$ , мин), pH реакционной среды, степень измельчения и концентрация ферментного раствора на процесс ферментализации.

Из анализа литературных данных известно, что одним из важных параметров процесса гидролиза целлюлозы является гидромодуль, поэтому следующим этапом было изучение его влияния на степень гидролиза целлюлозы. Полученные результаты исследования позволяют определить, что максимальная степень гидролиза для целлюлозы для выжимок наибольшая при гидромодуле 9 и составляет 67,1%. Увеличение гидромодуля не приводит к значительному увеличению уровня гидролиза, поэтому повышать его не является целесообразным.

Существуют различные способы предварительной обработки целлюлозосодержащего сырья с целью увеличения степени гидролиза. Механический способ предварительной обработки предусматривает измельчение

сырья. Изменение степени гидролиза от размера частиц позволяет сделать вывод, что максимальная степень гидролиза целлюлозы достигается при размере частиц 500 мкм. Это обосновано тем, что измельчение увеличивает площадь контактной поверхности биополимеров сырья с ферментным комплексом и приводит к росту скорости ферментативных преобразований.

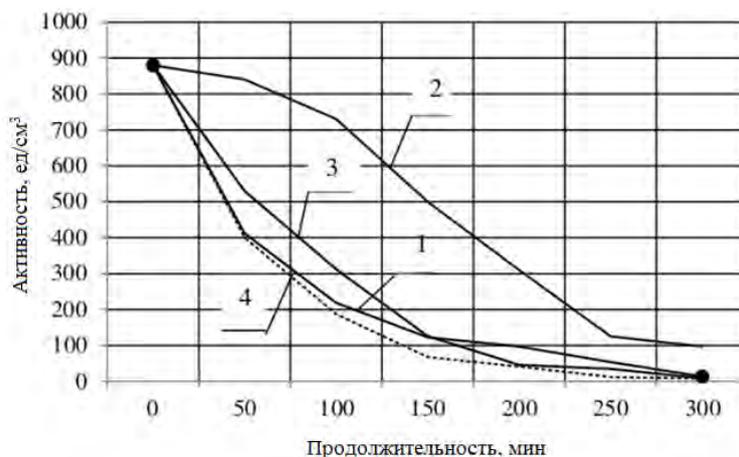


Рис. 1 – Термостабильность фермента целлюлаза при pH=5,0, где 1 – 20°C, 2 – 40°C, 3 – 60°C, 4 – 80°C

Одним из важнейших факторов, влияющих на процесс ферментации, является температурный режим. Исследование влияния температуры на процесс гидролиза позволяет определить, что максимальная степень гидролиза целлюлозы наблюдается при значении температуры 40 °С именно для выжимок и составляет 70,1%. С повышением температуры степень гидролиза снижается из-за термической денатурации белковой части фермента.

В связи с тем, что активность ферментов зависит от pH среды раствора, в котором протекает ферментативная реакция, определение оптимального значения pH среды для протекания процесса ферментативного гидролиза целлюлозы позволило доказать, что максимальная степень гидролиза целлюлозы в субстрате наблюдается при значении pH среды = 5,0 раз для выжимок и составляет 56,2%.

Продолжительность процесса ферментативного гидролиза имеет существенное значение для совершенствования технологии переработки растительного отхода на кормовой ресурс, поэтому влияние продолжительности процесса на степень деструкции целлюлозы определяли отдельно.

Исследование зависимостей степени гидролиза целлюлозы (%) от продолжительности процесса ферментации позволяют сделать вывод, что деструкция плодовоовощных выжимок продолжается наименьшее время по сравнению с другими видами отходов, которые взяты отдельно, и составляет 20 часов при степени деструкции 54,3% против 22 часов и деструкции семян и кожицы до 40%. Дальнейшее содержание субстрата нецелесообразно.

Концентрация фермента существенно влияет на скорость ферментативной реакции и деструкцию целлюлозы [5], поэтому определение оптимальной концентрации целлюлазы является важным этапом исследований и позволяет сделать вывод, что наибольшая степень деструкции целлюлозы для выжимки при ферментации целлюлазой наблюдается при концентрации фермента 0,3% и составляет максимальное значение – 52,6%. Увеличение концентрации фермента не приводит к значительному повышению степени деструкции, а уменьшение концентрации приводит к ее снижению.

Таким образом, исследование процессов ферментативной деструкции отходов плодовоовощного консервного производства позволило определить основные физико-химические свойства фермента целлюлазы, влияющих на процесс разрушения, а следовательно – переработки промышленного отхода, и оптимальные режимы протекания процесса ферментации.

Так, установлено, что pH-оптимум целлюлазы находится в области 5 единиц pH, а pH-стабильность наблюдается в течение 50 минут. Максимальная активность фермента наблюдается при значении температуры 40 °С, а полная ее потеря происходит через 200 мин.

Наиболее оптимальные параметры проведения процесса ферментативного гидролиза плодовоовощных выжимок получены по сравнению с деструкцией отдельных видов отходов, таких, как семена, кожица и гребни плодовоовощного сырья. Сравнительный анализ позволяет сделать вывод, что ферментативная деструкция имеет наибольшее значение именно для выжимок, поскольку ее степень является максимальным для комплексного субстрата, как доказали исследования.

Так, максимальная степень гидролиза для целлюлозы для плодовоовощных выжимок наибольшая при гидролизе 9 (67,1%), при значении температуры 40 °С (70,1%) и при значении pH среды 5,0 единиц (56,2%). Также деструкция плодовоовощных выжимок продолжается наименьшее время по сравнению с другими видами отходов и составляет 20 часов при степени деструкции 54,3%, а наибольшая степень деструкции целлюлозы для выжимки при ферментации целлюлазой наблюдается при концентрации фермента 0,3% и составляет максимальное значение – 52,6 %.

Таким образом, ферментативная деструкция плодоовощных выжимок, как распространенного отхода пищевой промышленности, в частности, отрасли плодоовощного консервного производства, является актуальным и эффективным биотехнологическим методом переработки с целью получения полезного продукта (кормовой добавки), повышения роли ресурсосбережения и снижения уровня экологической безопасности за счет уменьшения объема твердых отходов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Горобець О.В.* Перспективні напрями утилізації органічних відходів / О. В. Горобець, В. А. Галіцький // Наука. Молодь. Екологія – 2016 : зб. матеріалів XII Всеукр. наук.–практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених, 27 трав. 2016 р. – Житомир : ЖНАЕУ, 2016. – С. 97–102.
2. *Крусир Г.В.* Тверді відходи - екологічні аспекти виноробного підприємства [Текст] / Г.В. Крусір, І.Ф. Соколова // Екологічна безпека. – Кременчук. – 2012. № 2/2012(14). С.112-115.
3. *Howard A, Yeshwant D. W.* The Waste Products of Agriculture. 3d ed. London: Oxford University Press, 2011. – 138 p.
4. *Сагдєєва О.А., Крусір Г.В.* Біотехнологічні методи утилізації органічних відходів виробництва як невід'ємна складова управління сталим розвитком сучасного підприємства. Мат. Всеукр. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми енергетики та екології» (ОНАХТ, 29-30 вересня 2020 р.). Одеса, 2020. С. 255-260
5. *Городний Н.М., Мельник І.А., Повхан М.Ф.* Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве. Киев: Урожай, 1990. – С. 111–164.

## НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ТАБАЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

### DIRECTIONS FOR USE OF WASTE OF TOBACCO PRODUCTION IN THE REPUBLIC OF BELARUS

***A. A. Кухарева, В. М. Мисюченко***  
***A. A. Kukhareva, V. M. Misiuchenka***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ*  
*Минск, Республика Беларусь*  
*h.h.e.n.z.a.3@gmail.com*  
*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

На табачных фабриках Республики Беларусь образуются табачные отходы – табачная пыль, жилки, мелочь, которые в настоящее время не перерабатываются в нашей стране. В то же время анализ литературных и патентных данных показал возможности их переработки по различным направлениям – в составе смеси для изготовления горшочков для рассады, для приготовления инсектицидного водного экстракта, для получения биоорганического удобрения. На основе анализа предложены наиболее оптимальные и экономически обоснованные направления использования табачных отходов производства в Республике Беларусь, в частности, для изготовления других табачных изделий: некурительных табаков и табака для кальяна.

At the tobacco factories of the Republic of Belarus several types of tobacco waste are generated such as tobacco dust, stem and particles, which are currently not processed in the country. At the same time, the analysis of literature and patent data showed possibilities of their processing in various directions – as part of a mixture for making pots for seedlings, for preparing an insecticidal water extract and for obtaining bioorganic fertilizers. Based on the analysis, the most optimal and economically justified directions for the use of tobacco production waste in the Republic of Belarus are proposed. In particular, the manufacture of other tobacco products – smokeless tobacco and waterpipe tobacco – is suggested.

*Ключевые слова:* отходы табачного производства, табачная пыль, жилки табачного листа, табачная мелочь, патенты, образование отходов, использование отходов.

*Keywords:* tobacco production waste, tobacco dust, tobacco leaf veins, tobacco fines, patents, waste generation, waste recycling.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-188-191>

Табачная отрасль в Республике Беларусь представлена двумя предприятиями, производящими табачные изделия, одно из которых входит в состав концерна «Белгоспищепром» - ОАО «Гродненская табачная фабрика «Неман». Это предприятие является крупнейшим производителем табачных изделий в Республике Беларусь и обеспечивает не только внутренний рынок табачными изделиями, но и поставяет на экспорт. Второе предприятие – ОАО «Табак-Инвест» - одна из крупнейших розничных компаний, единственный частный производитель табачных изделий в Беларуси.

Технологический процесс производства курительных изделий сопровождается образованием перерабатываемых опасных отходов 3 и 4 классов опасности, т.е. остатков табачного сырья, частично или полностью утративших технологические свойства, количество которых зависит от используемого в производстве сырья, материалов и технологического оборудования. Основную долю (свыше 80%) в структуре отходов табачной промышленности занимает табачная пыль, собираемая в индивидуальных и централизованных пылесборниках при производстве курительных изделий. В составе табачной пыли содержатся минеральные примеси. Переработка таких отходов с целью получения нового продукта на предприятиях табачной отрасли не осуществляется. Отходы поступают на захоронение на полигоны, имеют повышенную взрывоопасность и при больших скоплениях размещение таких отходов ограничено. Таким образом, увеличивается загрязнение окружающей среды и создается дополнительная нагрузка на полигоны, что показывает необходимость разработки рекомендаций по использованию отходов табачного производства и объясняет актуальность данной работы.

Количество отходов зависит от различных факторов: объемов производства, эксплуатируемого оборудования, применяемых технологий, качества сырья, квалификации обслуживающего персонала и др. Проблема утилизации отходов на протяжении многих лет была и остается актуальной для табачной промышленности. Поэтому перед отраслью достаточно остро стоят вопросы захоронения или возможности использования их в основном производстве.

Решение этих вопросов можно сформулировать следующим образом:

- разработка методов уменьшения общего количества отходов;
- эффективное вовлечение отходов в хозяйственный оборот.

Таким образом, анализ возможных технологий по переработке отходов табачного производства весьма актуален, так как с помощью этих отходов можно повышать плодородие почв, используя их в составе удобрения, также использовать в составе смеси для горшочков для рассады, для приготовления инсектицидного водного экстракта и применять другие методы. Поэтому важно проанализировать все возможные технологии на основе международного опыта и предложить мероприятия по переработке отходов для предприятий Республики Беларусь.

Проведен анализ обращения с отходами табачного производства в Республике Беларусь на основе статистических данных [1]. По данным форм государственной статистической отчетности Республики Беларусь ежегодное поступление этих отходов в окружающую среду составляет порядка 900 тонн.

Были изучены и проанализированы данные госстатотчетности по образованию и движению отходов табачного производства в 2011, 2015, 2017, 2019 годах (рис. 1.1-1.2).

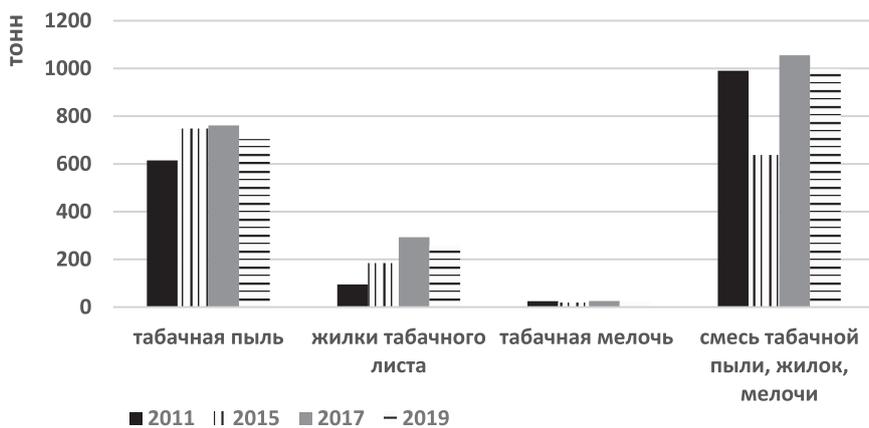


Рисунок 1.1 – Соотношение количества образования разных видов табачных отходов по годам, тонн



Рисунок 1.2 – Соотношение табачных отходов, отправленных на захоронение по годам, тонн

Можно сделать вывод, что в целом по Республике количество образованных отходов табачного производства с 2011 года по 2019 увеличилось на 254,4 т. Что касается захоронения, то общее процентное соотношение захоронения табачных отходов к их образованию достаточно велико, имеется тенденция к увеличению количества отправленных на захоронение смеси табачной пыли, жилок табачного листа и табачной мелочи. Отходы табачной пыли в последние годы поступают на переработку за пределы нашей страны.

Также нами проведен анализ патентной базы Российской Федерации по использованию табачной пыли. Наибольшее количество технических решений относится к применению этих отходов в составе смеси для изготовления горшочков для рассады; для приготовления инсектицидного водного экстракта; для получения биоорганического удобрения.

Табачная пыль богата азотом (2,35%), калием (1,95%) и фосфором (937 мкг/г), которые могут обеспечить почву и растения необходимыми питательными веществами. Она имеет большое количество органических веществ, которые повышают движение микро- и макроорганизмов в почве, что дополнительно увеличивает пористость почвы; увеличивает проникновение кислорода. Повышает pH почвы, поддерживает электропроводность, что не приводит к засолению почвы. Кроме того, она также увеличивает содержание азота в различных овощах и комнатных растениях. С использованием табачной пыли предлагается повышать плодородие почв. Метод описан в патенте N 2 646 053 C1 «Повышение плодородия почв с использованием табачной пыли» (авторы Плотникова Т.В., Саломатин В.А., Муранова И.И., Егорова Е.В.). Предполагаемое решение относится к области сельского хозяйства, к средствам, применяемым для повышения плодородия почв, и может быть использовано на различных почвах при выращивании любой сельскохозяйственной культуры [2].

В этом же изобретении предложен вариант биоорганического удобрения с табачной пылью, черноземной почвой и торфом. Данный способ получения удобрения подходит для использования в качестве субстрата в горшечной культуре и для защищенного грунта. Изобретение с использованием смеси табачной пыли, чернозема и торфа низинного обеспечивает безопасную утилизацию основного отхода табачной промышленности, повышает плодородие и улучшает состояние почвы за счет применения сбалансированного по основным питательным элементам и экологически безопасного органического удобрения.

Многими авторами предлагается повышать плодородие почв за счет использования смеси табачной пыли и птичьего помета, что значительно повышает содержание в почве основных форм подвижных питательных элементов, биологическую активность почвы, оздоравливает ее за счет снижения патогенных микромицетов, частично решает проблему безопасной утилизации табачной пыли и птичьего помета.

Также табачную пыль можно использовать в составе смеси для изготовления горшочков для рассады. Данное изобретение относится к растениеводству и может быть использовано для выращивания рассады различных растений в парниках или теплицах и высадки в открытый грунт. Изготовление горшочков для рассады из табачной пыли позволяет использовать табачные отходы, заменить дорогостоящее сырье - торф, снизить стоимость горшочков. Горшочки из табачной пыли имеют достаточный оптимальный для укоренения рассады период распада во влажной почве, при этом после распада в почве табачная пыль повышает ее микробиологическую активность. Горшочки позволяют сохранить корневую систему растений при пересадке, обеспечивают дополнительное питание рассады и защиту от вредителей. Изобретение описано в патенте N 2 520 730 C2 «Способ получения биоорганического удобрения» (авторы Филипчук О.Д. и Тонконог М.Д.) [3].

Применение табачной пыли в качестве удобрения сельскохозяйственных растений показывает хорошие результаты вследствие содержания в ее составе ряда ценных элементов: азота 2–5%, фосфора 1%, калия 1–3%. Она имеет большое количество органических веществ, которые повышают движение микро- и макроорганизмов в почве, что дополнительно увеличивает пористость почвы; увеличивает проникновение кислорода. Повышает pH почвы, поддерживает электропроводность, что не приводит к засолению почвы. Кроме того, табачная пыль также увеличивает содержание азота в различных овощах и комнатных растениях. Значительная часть азота представлена легкодоступными соединениями, что положительно сказывается на питании растений. Однако, согласно эколого-гигиеническим требованиям, не допускается использование табачной пыли в неизменном виде вследствие ее токсичности. Технология утилизации табачной пыли в качестве удобрения предполагает ее детоксикацию, что значительно повышает стоимость удобрения.

В частности, патент N 2 535 496 C2 «Способ приготовления инсектицидного водного из табачной пыли» (авторы Плотникова Т.В., Дон Т.А., Саломатин В.А., Миргородская А.Г.). Изобретение относится к области сельского хозяйства и используется для защиты овощных и технических культур от вредителей, обеспечивает высокую эффективность защиты растений и стимулирует их развитие, является экологически малоопасным, так как экстракт изготовлен на основе натурального ингредиента. Никотин, содержащийся в табачной пыли в небольшом количестве (0,3–0,7%), не оказывает токсического действия на человека, но является ядом для сосущих и листогрызущих вредителей. Приготовленный на основе табачной пыли экстракт служит некорневой подкормкой растений [4].

Смесь табачной мелочи, табачной пыли и табачных жилок наиболее часто используется в странах мира для изготовления других табачных изделий, таких как табак для кальяна и некурительный табак. В частности, вторичное использование отходов табачного производства в виде мелочи возможно и целесообразно для изготовления кальянных смесей и снюса, так как качество табачной продукции, изготовленной из табачных листьев и отходов производства, аналогично, а стоимость табачной мелочи гораздо ниже.

Табачные отходы могут служить сырьем для получения ряда ценных веществ. Например, разработана эффективная технология извлечения из табачных отходов никотиновой кислоты с помощью водного раствора  $H_2SO_4$

при рН 2. Полученный табачный пектин обладает слабой гидролизирующей и повышенной комплексно-образующей способностями. Поэтому он может найти основное применение в медицине как комплексно-образующее средство для выведения тяжелых металлов из организма человека, а также для производства продукции, альтернативной курению, например, таблеток с пектатом никотина. Делается вывод о технологической возможности получения из табачных отходов таких технически ценных продуктов, как никотин, пектин, органические кислоты и микробиологический корм, т.е. о создании практически безотходного производства. Однако, по мнению многих авторов, этот процесс дорогостоящий и вследствие этого малоприменимый.

Кроме этого, табачная пыль является отходом табачного производства и подлежит утилизации, использование ее для защиты растений частично решает эту проблему. Недостатком способа является слабый защитный эффект, требует многократной обработки, а также использования в качестве основы дорогостоящего табачного сырья (листьев).

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее экономически целесообразным является использование отходов сигаретного производства (табачная мелочь) без дополнительной обработки для изготовления табачных изделий: некурительных табаков и табака для кальяна [5].

Использование табачной мелочи (отделяемого табака от брака сигарет/штранга, табачной мелочи) для изготовления кальянной смеси и нюхательного табака является оптимальным решением, поскольку позволяет решить следующие задачи:

- получение табачного продукта с высокими дегустационными свойствами и постоянством потребительских характеристик;
- возможность получения изделий, обладающих естественным табачным ароматом;
- экономической эффективности, т. к. из технологического процесса изготовления исключены операции по подбору, обезжириванию и измельчению табачного сырья.

Однако наиболее перспективным для Республики Беларусь является использование табачной пыли в качестве удобрения сельскохозяйственных растений, так как данный способ показывает хорошие результаты вследствие содержания в составе табачной пыли ряда ценных элементов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Реестры объектов по использованию, обезвреживанию, захоронению и хранению отходов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecoinfo.by/content/2422.html> .- Дата доступа: 010.02.2021
2. Современные технологии использования табачных отходов: пат. RU 2710727 C1 / Миргородская А.Г., Шкидюк М.В., Матюхина Н.Н., Дон Т.А. – Оpubл. 27.06.2014
3. Способ получения биоорганического удобрения: пат. RU 2520730 C2 / авторы Филипчук О.Д., Тонконог М.Д.– Оpubл. 27.06.2014
4. Способ приготовления инсектицидного водного экстракта из табачной пыли: пат. RU 2535496 C2 / Плотникова Т.В., Дон Т.А., Саломатин В.А., Миргородская А.Г. – Оpubл. 10.12.2014
5. Шкидюк М.В., Бедрицкая О.К., Глухов С.Д., Матюхина Н.Н. К вопросу оценки качества кальянных смесей // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Краснодар, 2015. С. 407–410.

## CEREAL PRODUCT WASTES AND THEIR UTILIZATION IN VARIOUS INDUSTRIAL AREAS

## ОТХОДЫ ЗЕРНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИХ УТИЛИЗАЦИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОНАХ

*V. O. Lemiasheuski<sup>1</sup>, M. M. Özcan<sup>2</sup>*  
*V. O. Лемешевский<sup>1</sup>, М. М. Озджан<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
Минск, Республика Беларусь*

*<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>Department of Food Engineering, Faculty of Agriculture, Selcuk University, Konya, Turkey  
lemeshonak@mail.ru*

*<sup>2</sup>Кафедра пищевой инженерии, сельскохозяйственный факультет, Сельчукский университет,  
Конья, Турция*

In the food industry a large amount of solid and liquid waste is produced during production, preparation and consumption. When these wastes are given directly to the environment, they cause environmental pollution and

the loss of valuable biomass and nutrients. In food factories, large amounts of food wastes, called by-products, are formed as a result of the process, and many of these are immediately destroyed or used to produce products with low economic value (animal feed, fertilizer, etc.) using lower technologies.

В пищевой промышленности при производстве, приготовлении и потреблении продуктов образуется большое количество твердых и жидких отходов. Когда эти отходы попадают непосредственно в окружающую среду, они являются причиной ее загрязнения, потери ценной биомассы и питательных веществ. На пищевых предприятиях в результате технологического процесса образуются большие количества пищевых отходов, называемых побочными продуктами, многие из которых немедленно уничтожаются или используются для производства продуктов с низкой экономической ценностью (кормов для животных, удобрения и т. д.) с использованием простых технологий.

*Key words:* grain wastes, useful industrial using, rice husk, wheat bran, wheat embryo, composite production, bio-pellet production, raw material grinding stage waste, food products for humans.

*Key words:* зерновые отходы, полезные для промышленности, рисовая шелуха, пшеничные отруби, зародыши пшеницы, композитное производство, производство биопеллет, отходы стадии измельчения сырья, продукты питания для человека.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-191-195>

**Introduction.** Effective evaluation of waste generated during food processing is important not only in terms of preventing environmental pollution, but also in terms of creating added value and diversifying products. Considering that the number of factories processing food will continue to increase with the increasing population in the coming periods, it can be said that the amount of food waste and waste problems will increase in parallel. The utilization of food wastes will provide additional benefits in terms of health and nutrition, as well as providing added value in terms of economy and preventing environmental pollution, as well as enrichment of foods and the entry of valuable ingredients into human metabolism. Studies on this subject will shed light on industrial applications and contribute to the development of the food sector [4]. Cereal waste is generated as a result of agricultural practices and industrial processes. They are in the class of wastes with the highest biomass worldwide and contain rich nutritional elements [3]. In order to determine the grain processing industry wastes and alternative evaluation methods, it is necessary to know the grain products, the structure of the grain grains, the chemical composition of the grains and the wastes that occur in the production technology.

**The Importance of Cereals in Human Nutrition.** Most of its grains are made of starch, and flour and bran are obtained when milled; It also constitutes the product group cereals that require a certain temperature requirement for growing containing protein, oil and mineral substances. The development level of the countries, their socioeconomic structures and the nutritional habits of individuals are changing day by day, and cereal products constitute the most important food source of societies in the world and in our country. Almost all of its cereals are used in both human and animal nutrition. Grains are widely used in human nutrition because they are cheap, easy to supply, easy to store and transport, do not spoil prematurely, are a source of energy, have a satisfying feature, contain high protein with high biological values, and have a boring neutral taste and aroma. Cereal and cereal products, which have a large place in our diet, undoubtedly have important effects on our health. Cereal and cereal products are important foods for health, as they contain water, carbohydrates, proteins, lipids, minerals, vitamins and other nutrients. Their carbohydrate content is high. Therefore, grains are the main energy source of the body. Carbohydrates have a probiotic effect and give a feeling of satiety. Proteins have partially full biological value. Although the quality of grain proteins is low, they contain some. When consumed with foods such as meat, milk and eggs, protein quality can be increased. Lipids are a rich source of energy. Grain lipids are particularly rich in monounsaturated oleic and polyunsaturated linoleic acids. They show cholesterol dissolving effects and are essential for the usefulness of fat-soluble vitamins (A, D, E, K). They are rich in phosphorus (P), calcium (Ca), potassium (K) minerals. Vitamins are vital compounds for life. Cereals contain B group, A and E vitamins. Vitamins A and E show antioxidant properties. Vitamin E strengthens the immune system [2].

*Table 1 – Approximate chemical components of cereal grains [2]*

Components	Hard wheat	Rye	Corn	Hordeum	Rice	Oat
Moisture (%)	10.0	10.5	15.0	10.6	11.4	9.8
Protein (%)	14.3	13.4	10.2	13.0	9.2	12.0
Oil (%)	1.9	1.8	4.3	2.1	1.3	5.1
Sellulose (%)	3.4	2.2	2.3	5.6	2.2	12.4
Ash (%)	1.8	1.9	1.2	2.7	1.6	3.6
Tiamin (mg/kg)	5.5	4.4	4.6	5.7	3.2	7.0
Niacin (mg/kg)	63.6	1.3	26.6	64.5	40.0	17.8
Riboflavin (mg/kg)	1.3	1.8	1.3	2.2	0.7	1.8
Pentotenic acid (mg/kg)	13.6	7.7	5.9	7.3	7.0	14.5

**Cereal Product Wastes.** *Addition of wheat embryo to chicken sausages.* In recent years, consumers have turned to skimmed dairy products, low-fat red meat, low-fat fish and poultry meat, and various meat products with reduced fat in order to limit the amount of fat they consume in their diets. In order to improve the functional and sensory properties of foods, it will be possible to obtain products with high sensory quality and efficiency by using different additives such as lupine, tofu and wheat germ and applying various technological processes. In this way, it was aimed to increase the functionality of sausages, to improve their emulsion properties and to contribute to nutrition with higher fiber content. Since the protein content is determined higher than the unadulterated sausages, it can be recommended to add germ and tofu additives to the formulations of emulsion-type meat products, especially in order to increase the nutritional value and sensory quality.

*The use of paddy husk as a base for poultry.* Chicken farming as well as in the world meat production in Turkey is mostly done in order to set the litter. The litter material used in production is usually wood chips and paddy husk. Coarse wood shavings, straw, sawdust shavings, paper scraps, sunflower husk, paddy hull, fresh hazelnut slag, corn silage, sand, pine bark, crushed corn cob, diatomite and pumice can be used as litter material in the ground system.

*Inclusion of wheat bran in biscuits.* The most common source of dietary fiber in bakery products is wheat bran. The mechanism of action of dietary fiber is explained as reducing the absorption of triglycerides and cholesterol in the digestive system and lowering the glycemic index of food. Most of the fiber found in wheat bran is water-insoluble fiber. While water-soluble fibers are fermented in the large intestine, wheat bran can be partially degraded by colon bacteria, thus increasing stool volume and shortening the transit time through the intestine. In a study conducted by Leelavathi and Rao, it was determined that the biscuits obtained as a result of replacing flour with wheat bran at the rate of 30 % were of acceptable quality.

*Pigment from wheat bran.* Pigments are one of the most commonly used food additives in food products. The natural and healthy food consumption habit, which has been formed with the increasing awareness of food consumption in recent years, emphasizes the importance of natural pigments. A scientific field open to development is created by using pigments such as carotenes, anthocyanins, melanin and caramel from agricultural and industrial wastes such as oil seeds and wheat bran. Monascus pigment was produced from wheat bran by the microorganism *Monascus purpureus*.

*Razmol.* Razmol is actually a type of wheat bran. However, the main reason for giving the name razmol is that it contains more flour than wheat bran. At the point of nourishment, razmol has a more nourishing and strengthening structure than normal bran. Razmol flour is healthy, economical and has a high protein value. If wholegrain flour is desired, it can be mixed into white flour. It can also be given to razmol animals. It is a very popular product in the field of animal husbandry. It is used in feeding milk and livestock.

*Wheat germ oil.* The germ is separated as a by-product in the flour milling process to eliminate oxidation problems in the storage in the flour. Wheat germ is embryo and constitutes 2-3 % of germ. They contain high amounts of oil and vitamin E. The oil extraction process depends on the raw material quality, chemical composition and production technique. Wheat germ oil is obtained by various techniques [2].

*Adding bulgur bran and bulgur flour to tarhana.* Bulgur bran is the product obtained by boiling and drying the wheat in the production of bulgur and then grinding it in peeling machines. Bulgur flour is the product that is separated by passing through a 0.25 mm sieve in the classification process applied to the wheat after shelling and crushing. Tarhana samples were produced by adding bulgur factory wastes to the tarhana formulation. The produced tarhana samples were evaluated in terms of chemical properties, sensory properties and total nutritional fiber content, color properties of each sample were determined and the results were evaluated statistically. Wheat bran samples were the samples with the lowest scores for sensory properties, despite having the highest total nutritional fiber content. Wheat flour was determined to be a better source of fiber than wheat bran in the enrichment of tarhanas, as the samples containing wheat flour had the highest total nutritional fiber content after wheat bran and got the highest score by the panelists in terms of sensory properties and general acceptability.

*The use of paddy husk as a cucumber seedling growing medium.* In this study, the use of unmilled and ground rice husk and peat combinations of these media in the production of cucumber seedlings were investigated. As a seedling growing medium in the trial, 100 % unmilled rice husk, 100 % ground rice husk, 50 % unmilled rice hull + 50 % peat, 25 % unmilled rice hull + 75 % peat, 25 % ground rice hull + 75 % peat, 50 % ground paddy husk + 50 % peat and 25 % super coarse perlite + 75 % peat were used. Paddy husk is an organic waste that can be found easily in our country, does not cause pollution in the environment, is light, easy to transport, clean and cheap. Frequent irrigation and a more regular fertilization is required only because of its low water holding capacity. This negativity can be prevented by grinding the particle size to ideal and standard sizes. In many countries, it is used alone as a rooting medium in ornamental plant cultivation, and by mixing with peat instead of perlite in potted ornamental plants. It is mixed with peat and sold by commercial companies. In addition to these, considering the results obtained from the research, it can be said that it would be appropriate to consider rice hull as an organic waste that can be used in the composition of production environments for the future.

*The effect of paddy husk on erosion and dehydrogenase enzyme.* In this study, firstly, it was determined that soils were sensitive to erosion and had low enzyme activity values before the study. It was determined that if appropriate doses of tobacco processing waste, garbage compost and paddy husk compost were added to these soils, the soil properties improved, resistance to erosion and enzyme activity increased. By reducing the erosion rate values of the regulators added to the soils of Tepecik and Kampus regions below the limit value, the soils have been made resistant to erosion. But; It has been observed that the soil belonging to Tepecik region with alkaline reaction is not sufficient in this respect. While an increase in activity was observed in acid soil parallel to the regulator doses used; It was observed that a decrease in enzyme activity occurred in the third application doses of litter compost and paddy husk compost in neutral soil, and in the

third application doses in 27 soils with alkaline reaction. As a result of these findings, it is necessary to take into account the properties and quantities of the soils and the regulator used when choosing the regulator and dose in applications to be made to improve soil properties and increase enzyme activity.

*Evaluation of paddy husks in chipboard production.* The development of particle board production depends on various factors. Raw material costs have been reduced by utilizing various wastes. Different gluing methods were developed, saving glue, which is one of the most important costs. Paddy husk can be used in chipboard production by increasing the amount of glue or by not exceeding 10 % of the usage amount. Paddy stalk and husks contain a high percentage of silica. This makes the panels made of paddy and husk naturally fire-proof. Due to silica, it is necessary to use it as an alternative raw material in the production of fire-resistant boards with different glue and chemicals, to use appropriate supply ways and to pay attention to R & D studies.

*Production of insulation material from corn cob.* Buildings and settlements are responsible for 40 % of CO<sub>2</sub> emission, which is the main greenhouse gas that causes global warming. For this reason, various insulation systems and insulation materials are used to minimize the energy required for heating buildings. It is aimed to produce thermal insulation material with ground corn cobs and epoxy as a binder. The unit weight, water absorption, sound permeability and heat conduction coefficient of the produced insulation material were found. The thermal conductivity coefficient of corn cob-based insulation material has decreased to 0.075. In addition, insulation material was produced by using different proportions of gypsum and cement as binders. In these examples, insulation values are within acceptable limits.

*Biogas extraction from grain stalks.* Biomass is an environmentally friendly, renewable and local energy source that can meet economic needs. Many fuel types such as bioethanol, biogas and biodiesel are obtained from biomass. Biogas is basically producing usable gas from organic wastes. In other words, it is the conversion of organic matter into carbon dioxide and methane gas under the influence of microbiological flora in an oxygen-free environment. Although there is organic waste that can be utilized, biogas cannot be properly utilized. If the subject is evaluated, an economic input will be provided in terms of energy, and a sustainable quality environment will be created by reducing harmful wastes in terms of environment. In Turkey, which can be obtained from cereal straw waste methane value of about 1372.104 million m<sup>3</sup> of biogas, biogas energy value is 49.396 PJ/year [1].

Table 2 – Usable waste quantities of grain stalks [1]

Cereals	Kullanılabilir atık miktarı (kg/da)
Buğday	37
Arpa	36
Rye	37
Oat	32
Mısır	527
Pirinç	38

*Paper production from grain stalks.* Since agricultural wastes are fibrous like forest resources, they can be used in paper production. In our country, there is not enough wood raw material for paper production and therefore the utilization of agricultural wastes, especially wheat stalks, which are an important source of cellulose, in the pulp industry will play an important role in solving the raw material problem. Limited forest resources have made pulp production from agricultural wastes more important. The high potential of agricultural waste and its inadequate utilization are another factor that makes the use of agricultural waste attractive in paper production.

*The use of sap waste as organic matter in the soil.* It can also be utilized by spreading the grain stalks over the soil surface. It is important that the grain stalks are properly crushed and distributed over the field surface. The main purpose of this system is to prevent soil erosion and water loss by creating a mulch layer on the soil surface.

*Making straw from straw waste.* After the grain harvest, straw wastes on the field surface are collected by straw making machines and used to meet the feed need in animal production.

*Making panels from sap waste.* Panels were made from sunflower, crop and corn stalks, styrofoam, palm leaves and textile waste. The heat and sound insulation properties of these panels have been tested. According to the tested heat transfer coefficient values; It has been determined that the heat conduction coefficient of the grain stalk filled panels is lower than the panels made of other materials. Panels filled with wastes give better results in terms of thermal insulation than many materials used in wall construction. It is thought that the standard value will be achieved by squeezing the stems. It has been determined that the indoor spaces built with these panels absorb a significant amount of noise. Made works; It has shown that natural and artificial waste fiber materials will provide significant advantages especially if they are used in the production of wall panels. In rural settlements, with the support of public institutions, panel walls and floors made of waste fiber materials should be built and the public should be informed about this issue.

*Composite production from sap waste.* In this study, polymer composites were produced using corn stalk flour and recycled high density polyethylene. Mechanical properties of produced polymer composite materials such as tensile, bending and impact resistance were determined. Considering these properties, it has been determined that increasing the amount of corn stalk flour reduces the tensile, bending and impact resistance of the polymer composites produced, but increases the elasticity modulus. It has been determined that corn stalk flour and recycled high density polyethylene can be used in the production of polymer composites. In line with the results obtained; It is important to evaluate the potential

of agricultural wastes to be used as alternative raw materials for the forest industry. The burning of agricultural wastes that can be used in the production of polymer composites in the fields will be prevented from forest fires and environmental pollution caused by 2019. If composite is produced from agricultural wastes, the need for wood material used for the production of similar materials will decrease, so the reduction of our forest resources can be prevented to some extent.

*Bio-pellet production from sap waste.* It is of great importance to use agricultural wastes in the form of solid fuel as an energy source in the world and in our country. One of the easiest and most effective methods to generate energy from agricultural wastes is to use these wastes as solid fuel. The most important problem in the utilization of plant wastes as solid fuels is that these wastes have low density and high moisture content. Low density and high moisture content cause transportation and storage problems. For this reason, in order to be able to use plant wastes effectively and easily to generate energy, we need to turn these wastes into pellets after drying, grinding, pressing. Since it is easier to transport pelleted biomass (it reduces the transportation cost by compression), it becomes efficient to use it as a fuel.

*Raw material grinding stage waste.* The cleaned and tempered wheat is first fed to the crushing system and coarse bran from wheat in this first stage with the grooved rollers and sieve arrangements. Apart from this, the semolina obtained as the main product is cleansed from the shell particles remaining on them with auxiliary semolina cleaning devices, classified and sent to the reduction system. While the reduction system reduces the semolina that reaches it to flour, it also separates the obtained main flour from bran with sieve arrangements. The sieves work together with roller pairs in both crushing and reduction systems, forming the grinding units together. The job of the screens is to separate and classify the material crushed by the rolls. Sieves; They are made with fabrics woven from wire, synthetic, silk fiber. The sieving surface of the sieves is used to estimate the sieving capacity and is calculated as a percentage. The ground wheat coming to the sieves turns into four separate by-products, razmol, bonkalite, embryo and bran.

#### REFERENCES

1. Aybek, A., Üçok, S., İspir, M. A., Bilgili, M. E., 2015, Türkiye’de Kullanılabilir Hayvansal Gübre ve Tahıl Sap Atıklarının Biyogaz ve Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12 (03), 109-113.
2. Elgün, A., 2017, Tahıl İşleme Teknolojisi. Konya, 2-50.
3. Özlü, S., Shiranjang, R., Elibol, O., Karaca, A., Türkoğlu, M., 2017, Kâğıt Sanayi Atıklarının Altlık Materyali Olarak Kullanılmasının Etlik Piliç Performansı Üzerine Etkisi, *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 14 (2), 12-17.
4. Yaman, K., 2012, Bitkisel Atıkların Değerlendirilmesi ve Ekonomik Önemi, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12 (2), 342.

## МЕТОДИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА КАЧЕСТВА И ОТБОРА ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СИСТЕМОЙ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

### METHOD OF PRELIMINARY QUALITY ANALYSIS AND SELECTION OF MEASUREMENT DATA BY ATMOSPHERIC AIR MONITORING SYSTEM FOR FURTHER TREATMENT

**П. Н. Павленко<sup>1</sup>, Е. А. Мельник<sup>2</sup>, А. М. Людчик<sup>3</sup>**

***P. N. Paulenka, E. A. Melnik, A. M. Liudchik***

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
pavlenko\_pn@mail.ru*

<sup>2</sup>*Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения  
и мониторингу окружающей среды, г. Минск, Республика Беларусь  
kbb@rad.org.by*

<sup>3</sup>*Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы  
Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Республика Беларусь  
liudchikam@tut.by*

*Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus  
Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination  
and Environmental Monitoring, Minsk, Republic of Belarus  
National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus*

Разработана методика и компьютерная программа для предварительного анализа и отбора качественных данных наблюдений системы мониторинга атмосферного воздуха с целью формирования унифицированной

базы данных и дальнейшей более сложной обработки. Программа преобразует данные к единому заданному формату, анализирует полноту данных наблюдений в отдельные сроки наблюдений и возможные ошибки из-за некачественной работы измерительной техники, рассчитывает среднемесячные значения измеренных параметров и их дисперсии.

A methodology and a computer program have been developed for preliminary analysis and selection of qualitative observational data by the atmospheric air monitoring system in order to form a unified database and further more complex processing. The program converts the data to a single specified format, analyzes the completeness of observation data at individual observation periods and possible errors due to poor-quality measuring equipment, calculates the monthly average values of the measured parameters and their variances.

*Ключевые слова:* мониторинг атмосферного воздуха, приземный озон, антропогенные загрязнители воздуха, формат данных.

*Keywords:* ambient air monitoring, ground-level ozone, anthropogenic air pollutants, data format.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-195-198>

На протяжении ряда лет Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы (ННИЦ МО) Белгосуниверситета занимается изучением влияния малых газовых составляющих атмосферы на концентрацию приземного озона в Беларуси. Исследования базируются на данных Белгидромета.

Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха в Республике Беларусь ведутся с 1965 г. Длительный процесс формирования системы мониторинга атмосферного воздуха на основе классических принципов «союзной» Общегосударственной системы наблюдений и контроля был практически завершен в 90-е годы. Уже в тот период была создана стационарная сеть наблюдений, налажен регулярный отбор проб, сформирована совершенная на момент создания лабораторно-аналитическая база, обеспечено научное сопровождение мониторинга со стороны мощных научно-исследовательских институтов Госкомгидромета СССР. В последние десятилетия в связи с распадом Советского союза в Республике Беларусь возникла необходимость корректировки структуры и технологии ведения мониторинга атмосферного воздуха.

Несмотря на проблемы финансирования в период 1992-2002 гг., сеть мониторинга в Беларуси сохранилась, и наблюдения проводились с регулярной периодичностью практически на всех стационарных пунктах. В последнее десятилетие произошло существенное расширение сети. В городах Витебск, Могилев, Новополоцк и в районе Мозырского промузла открыты дополнительные стационарные пункты, организованы стационарные наблюдения за загрязнением воздуха и атмосферными осадками в городах Жлобин, Лида, Борисов и Барановичи. Начиная с 2007 г., сеть комплектуется автоматическими станциями наблюдений. Несмотря на существующие до сих пор проблемы поверки и калибровки измерительной аппаратуры, сеть мониторинга атмосферного воздуха в Беларуси развивается и совершенствуется.

Получаемые из Белгидромета данные наблюдений в ННИЦ МО вначале подвергаются визуальному контролю с целью проверки их полноты, предварительной оценки качества измерений и формирования исправленной базы данных. Эта работа с учетом большого объема данных наблюдений отнимает достаточно много времени, поэтому было принято решение максимально ее автоматизировать, разработав компьютерную программу. Исходными данными для программы являются месячные файлы наблюдений с отдельных пунктов в текстовом формате csv (comma separated values). Методика обработки включает следующие этапы.

Форматы файлов данных с различных пунктов наблюдений иногда различаются, а иногда формат файла с одного и того же пункта меняется со временем. Причина – в расширении списка контролируемых пунктов.

Форматы файлов данных с различных пунктов наблюдений иногда различаются, а иногда формат файла с одного и того же пункта меняется со временем. Причина – в количестве определяемых составляющих атмосферного воздуха на конкретном пункте наблюдений, которое может изменяться по ряду причин. Подобная ситуация показана на рис. 1 под номером 1: если в одном файле концентрация приземного озона записана в колонке I, то в другом файле она находится в колонке K.

Очевидно, такая проблема может быть легко автоматически исправлена, если идентификацию данных проводить не по порядковым номерам колонок, а по их именам. После этого формируется исправленный файл со «стандартным» порядком следования последних. Осуществляется также проверка правильности формата данных. В частности, на рис. 1 видно, что форматы даты в двух файлах различаются, и требуется коррекция.

#### **Анализ полноты данных наблюдений**

Существует целый ряд причин, по которым измерения концентраций отдельных загрязнителей атмосферы на пункте наблюдений в некоторые дни и сроки не проводятся, и соответствующие поля в месячном файле данных остаются незаполненными (рис. 1 случай 2). Очевидно, в такой ситуации наблюдения за заданный срок следует считать неполными и исключить их из списка качественных. Полнота данных проверяется для каждого срока наблюдений на основе заранее заданного списка веществ, концентрации которых планируется использовать в последующей обработке. Отобранные из месячного файла наблюдения предварительно размещаются в массивах для дальнейшего анализа и последующего сохранения в базе исправленных данных. Сведения о наблюдениях, исключенных по причине их неполноты, сохраняются в файле протокола работы.

### Анализ правильности формата данных и его исправление

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Дата	Город	Станция	Диоксид	Оксид угл	Диоксид	Оксид азс	Суммарн	Приземн	Бензол (н То
2	31.01.2019 23:00	Витебск	3	22,13667	380,4	14,18333	8,23	22,41667	24,06333	0,016667 0,
3	31.01.2019 22:00	Витебск	3	22,08	404,7333	14,84333	8,069667	22,91	23,71	0,01
4	31.01.2019 21:00	Витебск	3	21,99	442,5	16,51	8,343333	24,85667	24,63667	0,03 0,
5	31.01.2019 20:00	Витебск	3	21,86667	541,6667	18,50667	8,44	26,95	26,23	0,03
6	31.01.2019 19:00	Витебск	3	22,30333	653,3333	21,42	8,61	30,03	25,79333	0,043333 0,
7	31.01.2019 18:00	Витебск	3	22,53	735,3667	26,48333	8,643333	35,12667	20,07667	0,036667
8	31.01.2019 17:00	Витебск	3	22,27333	878,9	29,53	8,87	38,39667	17,93667	0,06 0,
9	31.01.2019 16:00	Витебск	3	22,52333	904,8	25,11	8,73	33,84	18,37	0,053333 0,
10	31.01.2019 15:00	Витебск	3	22,46	859,8333	24,77667	8,64	33,41667	18,55	0,063333
11	31.01.2019 14:00	Витебск	3	22,5	932,0333	25,92	8,74	34,66	18,33	0,063333 0,

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Дата	Город	Станция	ТЧ-10 (мк	ТЧ-2,5 (мг	Диоксид	Оксид угл	Диоксид	Оксид азс	Суммарн	Приземн	Бен
2	31.08.15 23:00	Минск	11			35,09333	212,4333				72,93333	
3	31.08.15 22:00	Минск	11			41,25667	326,5				41,57667	
4	31.08.15 21:00	Минск	11			35,43	478,2667				21,35333	2,7
5	31.08.15 20:00	Минск	11			32,55	453,3667				17,68667	1,7
6	31.08.15 19:00	Минск	11			32,67	339,4333				54,20333	
7	31.08.15 18:00	Минск	11			32,65667	230,4333				99,16	0,7
8	31.08.15 17:00	Минск	11			32,50333	227,1				108,3867	
9	31.08.15 16:00	Минск	11			32,37633	249,4667				107,3067	
10	31.08.15 15:00	Минск	11			32,43333	239,5333				99,55333	
11	31.08.15 14:00	Минск	11			32,76	223,9				99,8	0,6
12	31.08.15 13:00	Минск	11			32,98	228,6				98,71667	0,9
13	31.08.15 12:00	Минск	11			32,86667	289,3				81,43667	1,4
14	31.08.15 11:00	Минск	11			32,85667	396,9				49,75333	2,7
15	31.08.15 10:00	Минск	11			33,66	524,1997				20,75	3,9
16	31.08.15 09:00	Минск	11			34,81667	732,1667				9,676667	4,6

Рис. 1 – Примеры несоответствия форматов файлов данных (1) и отсутствия измерений одного или нескольких веществ (2)

### Анализ качества измерений отдельной наблюдаемой величины

Для всех измеряемых величин определяются минимальные и максимальные значения, средние значения за месяц и дисперсии. Среднемесячные значения и дисперсии рассчитываются, если полные данные представлены за более чем 20 дней месяца. Иначе расчет не проводится, об этом сообщается в протоколе работы, и дальнейшая работа со средними и дисперсиями отменяется.

Здесь следует заметить, что метеорологические условия оказывают сильное влияние на концентрацию загрязнений приземного воздуха. Они непосредственно учитываются при анализе суточного и сезонного хода концентраций загрязнений. Поскольку метеорологические наблюдения проводятся с периодом в три часа, рационально усреднять результаты более частых измерений загрязнений около метеорологических сроков. Это предоставляет возможность также исключать из рассмотрения группы данных измерений концентраций загрязнений около заданного метеорологического срока, характеризующиеся слишком высокой дисперсией. Возможно, это весьма спорное предложение, однако оно позволяет отвлечься от периодов быстрого изменения концентраций загрязнений с учетом относительно короткого времени установления химического равновесия. В частности, при обработке данных по приземному озону из рассмотрения исключаются данные, среднее квадратичное отклонение которых около текущего метеорологического срока превышает 20 ppb (в формируемой исправленной базе данных все концентрации выражаются в единицах ppb).

Данные о загрязнении воздуха представляются с периодичностью в 1 час. Усреднение около метеорологического срока проводится с данными за час до срока, в срок и через час после срока. Необходимым условием проведения расчета среднего значения и дисперсии является наличие хотя бы двух измерений из трех.

Рассчитанные минимальные и максимальные значения сравниваются с допустимыми границами изменения анализируемой концентрации. Если измеренные концентрации выходят за пределы границ, об этом делается запись в протоколе работы, и соответствующие наблюдения исключаются из списка, подготовленного для сохранения в базе данных.

Рассчитанные за месяц дисперсии концентраций загрязнений служат для оценки качества измерений: слишком большая дисперсия по сравнению с заранее заданными величинами может служить указанием на сбой в работе измерительного прибора. Если так, месячные измерения с пункта наблюдений исключаются из базы данных и об этом сообщается в протоколе.

### Графики измеренных концентраций

Графики измеренных концентраций загрязнений, приведенные к единому масштабу, выводятся на экран для дополнительного визуального анализа с возможностью внесения комментариев в протокол работы программы и принятия окончательного решения относительно возможности включения рассматриваемых месячных наблюдений в базу данных.

### Формирование исправленного месячного файла. Комментарии

После исключения «подозрительных» наблюдений (имеется в виду исключение всей совокупности измеренных концентраций загрязнителей атмосферы, учитываемых в заданном режиме работы программы) на заданные дату и время формируется и записывается добавка к файлу соответствующей базы данных. Дополнительные комментарии вносятся в протокол работы.

### Пересчет многолетних месячных средних значений контролируемых параметров

В случае, когда рассчитаны среднемесячные значения и дисперсии всех анализируемых величин, осуществляется пополнение многолетних рядов среднемесячных значений и коррекция их многолетних средних значений и дисперсии.

#### Исходные данные для программы

1. Начало и конец анализируемого периода

2. Список анализируемых данных, их наименования в исходных файлах с результатами измерений (колонка «Название») и наименования в формируемой «исправленной» базе данных (колонка «Переменная»), допустимые границы их изменений (колонки «Максимум» и «Минимум»), значения допустимых среднеквадратичных отклонений при усреднении около метеорологических сроков (колонка « $\sigma$ »), а также максимально возможные среднеквадратичные отклонения месячных значений каждой из анализируемых концентраций загрязнений (колонка « $\sigma_{\text{мес}}$ »). Пример приведен в таблице 1.

3. Пути к каталогу с данными отдельных пунктов наблюдений.

Таблица 1 – Пример входной информации об анализируемых загрязнителях

Переменная	Название	Минимум	Максимум	$\sigma$	$\sigma_{\text{мес}}$
SO <sub>2</sub>	Диоксид серы (мкг/м <sup>3</sup> )	0	100.	10.	200.
CO	Оксид углерода (мкг/м <sup>3</sup> )	50.	2000.	30.	200.
NO <sub>2</sub>	Диоксид азота (мкг/м <sup>3</sup> )	0.	100.	20.	200.
NO	Оксид азота (мкг/м <sup>3</sup> )	0.	100.	20.	200.
O <sub>3</sub>	Приземный озон (мкг/м <sup>3</sup> )	0.	200.	40.	100.
Бензол	Бензол (мкг/м <sup>3</sup> )	0.	2.	0.1	1.
Толуол	Толуол (мкг/м <sup>3</sup> )	0.	2.	0.1	1.
Ксилол	Ксилол (мкг/м <sup>3</sup> )	0.	2.	0.1	1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АТОМНОЙ СТАНЦИИ RESULTS OF THE RESEARCH ON HEAVY METAL CONTENT IN BOTTOM SEDIMENT IN THE SUPERVISED AREA OF THE BELARUSIAN NUCLEAR POWER PLANT

**А. И. Позднякова, М. Г. Герменчук**  
**A. I. Pozdnyakova, M. G. Germenchuk**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
anastacia.pozdnyakova@gmail.com  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В статье представлены результаты исследования донных отложений в зоне наблюдения Белорусской АЭС. На основе литературных данных были рассчитаны приблизительные коэффициенты содержания тяжелых металлов в донных отложениях и в водоеме в целом. На основании экспериментальных данных были оценены фоновый и критический уровни загрязнения рек в зоне наблюдения Белорусской АЭС.

The article presents the results of bottom sediment study in the supervised area of the Belarusian NPP. The approximate coefficients of heavy metal content in bottom sediment and in a water body as a whole are calculated on the basis of a literature review. According to the experimental data, both background and critical river pollution levels are estimated in the supervised area of the Belarusian NPP.

*Ключевые слова:* фоновый мониторинг, тяжелые металлы, загрязнение водоемов, донные отложения, АЭС.

*Keywords:* background monitoring, heavy metals, bottom sediment, NPP, water pollution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-195-201>

Донные отложения являются сложным для оценивания объектом окружающей среды. В результате внутри-водоемных физико-химических и биохимических процессов, происходящих с веществами как естественного, так и технического происхождения, донные отложения аккумулируют загрязнение и могут быть вторичным источником загрязнения для воды и гидробионтов [1].

Металлы в водоеме могут находиться в различных формах: растворенные, сорбированные и аккумулярованные фитопланктоном, удерживаемые донными отложениями в результате седиментации, адсорбированные на поверхности донных отложений, находящиеся в адсорбированной форме на частицах взвеси [2]. Исследования показывают, что содержание металлов в поверхностных водах не дает полной характеристики загрязнения водоема, так как основная часть загрязнителей скапливается в речных наносах. Таким образом, донные отложения являются важным объектом фонового мониторинга.

Как правило, при оценке экологической обстановки на окружающую среду вокруг атомной электростанции основное внимание уделяется воздействию радиоактивных выбросов и сбросов радиационно-опасного объекта. Однако, Белорусская атомная электростанция (далее – Белорусская АЭС), как любой промышленный объект, и во время строительства, и во время эксплуатации оказывает воздействие нерадиационного характера. В рамках системы комплексного мониторинга в зоне наблюдения Белорусской АЭС предусмотрен мониторинг загрязнения донных отложений в зоне рек Лоша, Полпе, Вилия и Гозовка. Донные отложения являются индикатором загрязнения водоемов, поэтому чрезвычайно важно получить фоновые концентрации тяжелых металлов в период строительства Белорусской АЭС, чтобы в дальнейшем оценивать величину антропогенной нагрузки на экосистемы данного объекта.

Фоновый мониторинг тяжелых металлов в донных отложениях в зоне наблюдения Белорусской АЭС является важнейшей частью экологического мониторинга и тесно связан с гидрологическим мониторингом.

Исследования проводились в 12,9 км зоне наблюдения Белорусской АЭС, которая утверждена постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям от 30 июня 2016 года № 29. Пробы донных отложений были отобраны согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. Точки отбора проб на реках Гозовка, Вилия, Полпе, Лоша показаны на Рисунке 1. Всего было отобрано 6 проб донных отложений.

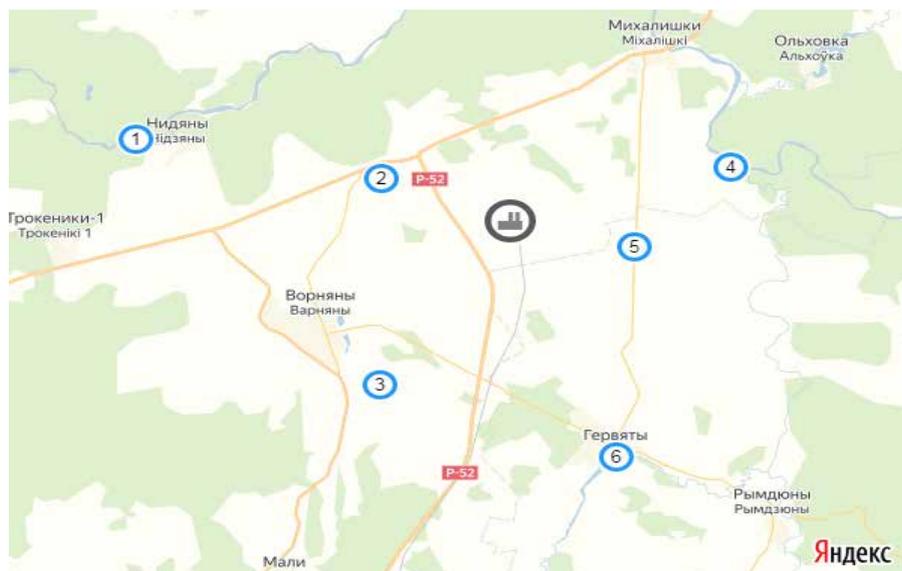


Рис. 1 – Карта отбора проб донных отложений в зоне наблюдения Белорусской АЭС

Исследования выполнялись на базе РУП «Научно-практический центр гигиены» в лаборатории аналитического и спектрального анализа. Пробы донных отложений были высушены до воздушно-сухого состояния согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. Подготовка проб к анализу осуществлялась согласно Инструкции 4.1.10-14-5-2006 с помощью многооперационных комплексов пробоподготовки МКП 04. Измерения проводились согласно МВИ. Мн 3280-2009 в пламени ацетилен-воздух на атомно-абсорбционном спектрометре ContrAA 700 с пламенной

и электротермической атомизацией (производство Analytik Jena, Германия). Усредненные результаты анализа донных отложений представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Статистический анализ удельной концентрации тяжелых металлов в донных отложениях рек Вилия, Полле, Лоша, Гозовка в зоне наблюдения Белорусской АЭС

Химический элемент	Min	Max	X	$\sigma$	m	Кларк	ПДК	Неопределенность измерения, мг/кг
Pb	1,07	8,39	4,0	2,73	1,12	12	32	0,41
Cd	0,33	2,50	1,60	0,68	0,28	0,05	0,5	1,16
Cr	1,25	6,96	3,16	2,13	0,87	36	100	0,73
Zn	6,63	27,92	17,50	7,59	3,10	35	55	3,98
Cu	0,92	4,19	2,69	1,27	0,52	13	33	0,18

Примечание: Min – минимальное значение элемента, мг/кг; Max – максимальное значение элемента, мг/кг; X – среднее значение, мг/кг;  $\sigma$  – стандартное отклонение; m – ошибка среднего; Кларк – данные по региональным кларкам [3], расширенная неопределенность измерений рассчитана при  $k=2$ ,  $P=95\%$ .

По представленным данным видно, что содержание тяжелых металлов сильно колеблется (минимальное и максимальное отличаются в 4-8 раз), средние значения металлов в целом ниже кларка, за исключением кадмия. И минимальное, и максимальное содержание кадмия значительно превышает кларк. Максимальное содержание кадмия (зафиксировано в реке Лоша) превышает ПДК в 5 раз.

Согласно исследованиям [2] кадмий почти полностью сорбируется донными отложениями. Он сопоставим по токсичности со свинцом, которая снижается в присутствии цинка. Содержание цинка в р. Лоша составляет 14,5 мг/кг – 42% от кларка.

Проблема оценки загрязнения донных отложений обусловлена тем, что в настоящее время не существует разработанных ПДК, регламентирующих опасный уровень загрязнения. Поэтому обычно показатели оцениваются либо относительно фоновых содержаний тяжелых металлов, либо относительно кларка в почве. Однако согласно сравнительной характеристике, приведенной авторами [4], эти нормативы близки к предельным содержаниям, принятым ВОЗ и Европейской комиссией.

Для оценки потенциального воздействия тяжелых металлов на бентос в Канаде были разработаны уровни начала воздействия (НВ) и уровни наиболее вероятного воздействия (НВВ), которые рассчитаны на основе токсикологических исследований по изучению воздействия тяжелых металлов на гидробионты. Сравнивая эти показатели (Таблица 2) с белорусскими нормативами, можно отметить, что отечественные ПДК являются более строгими, чем уровни начала воздействия (НВ).

Таблица 2 – Сравнение полученных данных для тяжелых металлов в донных отложениях с белорусскими и канадскими нормативами

Химический элемент	Канада		ПДК/ОДК для почв Беларуси, мг/кг	Полученные значения для донных отложений в зоне наблюдения БелАЭС, мг/кг
	Уровень начала воздействия (НВ), мг/кг	Уровень наиболее вероятного воздействия (НВВ), мг/кг		
Pb	35,0	91,3	32	4,0
Cd	0,6	3,5	0,5	1,6
Zn	123,0	315,0	55	17,5
Cu	35,7	197,0	33	2,7
Cr	37,3	90,0	100	3,2

Сравнивая полученные значения концентраций тяжелых металлов в донных отложениях с канадскими нормативами, можно заметить, что кадмий значительно превышает уровень начала воздействия, однако еще не достиг уровня наиболее вероятного воздействия. Это означает, что вероятность неблагоприятного воздействия на биоту составляет 12% [4]. Остальные металлы находятся в значительно меньших количествах по сравнению с нормативами. Следовательно, в данном случае вероятность неблагоприятного воздействия будет около 2-5%.

В литературе [5] представлены данные по максимальным и минимальным содержаниям тяжелых металлов в водах, донных отложениях и гидробионтах. Анализ этих данных можно использовать для расчета коэффициентов накопления тяжелых металлов в донных отложениях и гидробионтах. Полученные результаты приведены в таблице 3. Взаимодействие донных отложений с водой и миграция тяжелых металлов зависит от многих факторов (рН, гранулометрический состав, природа элемента (металла), минерализация воды и др.). Поэтому приведенные результаты являются лишь приближенными значениями, которые характеризуют поведение металлов в водоеме.

Из таблицы видно, что кадмий, как было указано выше, практически полностью сорбируется донными отложениями, в то время как половина свинца находится в растворенном состоянии. Хром, медь и цинк лишь частично находятся в растворенной форме, основная часть их соединений аккумулируется в донных отложениях.

Используя приведенные соотношения и результаты, полученные для донных отложений, отобранных в зоне наблюдения Белорусской АЭС, можно приблизительно вычислить фоновый уровень общего содержания металлов

в водоемах. Подставляя нормативы или уровни начала воздействия, можно получить критические уровни загрязнения водоемов. Результаты расчетов представлены в Таблице 4.

Таблица 3 – Одержание в воде и донных отложениях относительно общего уровня загрязнения некоторыми тяжелыми металлами

Химический элемент	Максимальный уровень загрязнения гидробионтов, мг/кг	Максимальный уровень загрязнения водоема, мг/кг	Вклад воды в общий максимальный уровень загрязнения	Вклад донных отложений в общий максимальный уровень загрязнения
Cr	2100	500	22%	78%
Pb	5032	10500	48%	52%
Cd	433	18043	0,3%	99,7%
Cu	1000	400	28%	72%
Zn	6705	33240	15%	85%

Таблица 4 – Фоновый и критический уровни общего содержания тяжелых металлов в реках в зоне наблюдения Белорусской АЭС

Химический элемент	Фоновый уровень общего содержания тяжелого металла в водоеме				Критический уровень общего загрязнения водоема (рассчитан из ПДК)
	Р. Вилия	Р. Гозовка	Р. Полпе	Р. Лоша	
Cr	3,04	5,25	5,51	2,19	128,09
Pb	9,38	4,74	6,82	10,75	61,09
Cd	1,65	0,97	1,94	2,51	0,50
Cu	2,71	3,56	5,14	4,80	45,94
Zn	20,77	20,22	23,70	17,26	64,37

Из таблицы видно, что во всех реках проявляется проблема повышенного содержания кадмия – критический уровень превышен в 2-5 раз. Содержание остальных металлов значительно ниже критического уровня, рассчитанного на основе ПДК.

Таким образом, используя полученные коэффициенты, данные фонового содержания тяжелых металлов в донных отложениях, есть возможность рассчитать критические уровни загрязнения водоема тяжелыми металлами. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования загрязнения и оптимизации системы мониторинга водоемов.

Выводы.

1. В результате анализа удельных концентраций тяжелых металлов в пробах донных отложений на 6 репрезентативных точках проведена оценка фонового состояния донных отложений в зоне наблюдения Белорусской АЭС. По результатам анализа установлено, что большинство металлов не превышает региональный кларк для почв, однако разница между максимальным и минимальным значениями составляет порядка 4-8 раз.

2. Содержание кадмия во всех пробах донных отложений значительно превышает региональный кларк для почв, в большинстве проб содержание кадмия превышает ПДК в 2-5 раз. Самое высокое содержания кадмия зафиксировано в р. Лоша.

3. По результатам сравнения полученных значений содержания тяжелых металлов в пробах донных отложений в зоне наблюдения Белорусской АЭС с белорусскими нормативами и канадскими уровнями воздействия отмечено, что кадмий превышает канадский уровень начала воздействия, однако уровень наиболее вероятного воздействия еще не превышен. Остальные металлы находятся в незначительных количествах по сравнению с нормативами обеих стран.

4. На основе литературных данных показана способность донных отложений аккумулировать различные тяжелые металлы. Так, кадмий практически полностью осаждается на дне водоема, так же как большая часть цинка, хрома и меди. А половина поступающего в водоем свинца остается в растворенном состоянии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов Д. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, И. Н. Лозановская. – Москва : Высш. Шк., 2002. – 334 с.
2. Будников, Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем / Г.К. Будников // Соросовский образовательный журнал, 1998. Вып. 5. – С. 23-29.
3. Петухова, Н. Н. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси / Н. Н. Петухова, В. А. Кузнецов // Докл. АН Беларуси. 1992. Т 36. № 5. – С.461–465
4. Овчарова, Е.П. Методические подходы к оценке загрязнения донных отложений реки тяжелыми металлами (на примере р. Свислочи) / Е.П. Овчарова [и др.] // Природопользование. 2016. Вып. 30. – С. 50-59.
5. Никаноров, А.М. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах. / А.М. Никаноров, А.В. Жулидов, А.Д. Покаржевский. -Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 44 с.

# РАЗРАБОТКА АКТА ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

## DEVELOPMENT OF THE INVENTORY ACT OF THE SOURCES OF EMISSIONS OF POLLUTING SUBSTANCES FOR THE ENTERPRISE FOR PRODUCTION OF CONSTRUCTION STEEL STRUCTURES

*Е. А. Ратынская, В. М. Мисюченко*  
*E. A. Ratynskaya, V. M. Misiuchenka*

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
Минск, Республика Беларусь  
catrat16999@gmail.com  
Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

Разработан акт инвентаризации источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух для предприятия по изготовлению строительных металлоконструкций. Проанализированы выбросы от участков отопления, металлообработки, проведения сварочных и окрасочных работ. Установлено, что производственная площадка предприятия относится к V категории в качестве объекта воздействия. Выделены отдельно нормируемые и ненормируемые источники выбросов. Рассчитанный валовый выброс загрязняющих веществ от нормируемых источников в атмосферу составляет 5,493 т/год, что в соответствии с законодательством Республики Беларусь требует получения разрешения на выбросы. Наибольшими объемами выбросов отличаются твердые частицы суммарно, ксилолы, органический углерод.

The inventory act of sources of emissions of pollutants into the atmospheric air for the enterprise for the production of building metal structures has been developed. The emissions from heating, metalworking, welding and painting works were analyzed. It is established that the production site of the enterprise belongs to the V category as an object of influence. The normalized and non-normalized sources of emissions are distinguished separately. The calculated gross emission of pollutants from regulated sources into the atmosphere is 5,493 tons / year, which, in accordance with the legislation of the Republic of Belarus, requires obtaining an emission permit. Small amounts of emissions are distinguished by solid particles, xylenes, organic carbon.

*Ключевые слова:* акт инвентаризации, источники выбросов, загрязняющие вещества, категория объекта воздействия, зона воздействия.

*Keywords:* inventory act, emission sources, pollutants, impact object category, impact zone.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-202-205>

В ходе проведения аналитического контроля, на предприятии по производству строительных металлоконструкций было выявлено превышение предельных значений концентраций выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе вследствие отсутствия газоочистного оборудования на момент проведения замеров на установке плазменной резки.

В соответствии с нормативными документами стационарные источники выбросов, выбрасывающих твердые частицы, должны оснащаться газоочистными установками со степенью улавливания твердых частиц не менее 95 процентов для обеспечения концентрации не более 50 мг/м<sup>3</sup>. На данном предприятии, на момент проведения измерения, 30 января 2020 года содержание твердых частиц достигло 119,74 мг/м<sup>3</sup>

Нами был проведен расчет размера возмещения вреда окружающей среде.

Расчет производился по ставкам расчета размера причинения вреда выбросами загрязняющего вещества в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов с превышением нормативов допустимых выбросов по одному показателю (мг/м<sup>3</sup>) одного загрязняющего вещества.

Размер возмещения вреда, причиненного окружающей среде, определяется в соответствии с таксами для определения размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде.

Размер возмещения вреда, причиненного окружающей среде, с применением одного коэффициента исчисляется по следующей формуле:

$$C = T \times K_u \times P_i \quad (1)$$

Предприятие относится к V категории, твердые частицы относятся к 3 классу опасности, следовательно такса равна 147.

Размер базовой величины, на момент проведение расчета, равен 29 руб.

Допускается применение к этим таксам повышающих или понижающих коэффициентов в зависимости от конкретных обстоятельств. Понижающий/ или повышающий коэффициент отсутствует, так как выбросы загрязняющих веществ поступают от стационарного источника.

Показатель равен 69,74 мг/м<sup>3</sup>. Именно на такую величину установлено превышение содержания твердых частиц.

Размер возмещения вреда, причиненного окружающей среде, по проведенным расчетам, составил 297301,62 руб.

В октябре 2020 года была введена в эксплуатацию газоочистная установка и концентрация твердых частиц не превысила 19 мг/м<sup>3</sup>.

В соответствии с нормативными требованиями, юридические лица, индивидуальные предприниматели, осуществляющие деятельность, связанную с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов, обязаны проводить инвентаризацию выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [1].

Нами была проведена инвентаризация выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от предприятия по производству строительных металлоконструкций. Инвентаризация была проведена в 4 этапа. На подготовительном этапе было определено расположение источников выбросов загрязняющих веществ, а также было изучен технологический процесс предприятия. Далее была проведена инвентаризация выбросов. Срок действия проекта по инвентаризации составляет пять лет с даты согласования.

По итогам инвентаризации составляется акт инвентаризации, который утверждается руководителем организации. На основании акта инвентаризации разрабатывается проект нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Для предприятия по изготовлению строительных металлоконструкций разработан акт инвентаризации источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Для этого были проанализированы выбросы от отопления, металлообработки, проведения сварочных и окрасочных работ.

**Отопление:** для обогрева в холодное время года на производстве используются нагреватели дизельные непрямого нагрева, работающие на дизельном топливе.

**Проведение сварочных работ:** в производственном помещении организовано 8 сварочных постов, где осуществляется сварка металлов с использованием сварочной проволоки Св-0,8Г2С (источник загрязнения атмосферы (далее – ИЗА) № 0005). При этом процессе образуются загрязняющие вещества - железо (II) оксид (в пересчете на железо) (0123), марганец и его соединения в пересчете на марганец (IV) оксид (0143), пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния выше 70% (2907).

Расчет выбросов загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при проведении работ по электросварке, проводился по удельным показателям выделения веществ, приведенных в нормативных документах. Валовое выделение j-того загрязняющего вещества, т/год, при использовании i-того типа сварочного материала на отдельном источнике выделения в процессах сварки, наплавки, напыления, металлизации, рассчитывается по формуле, указанной в нормативном документе [2].

В результате расчета выбросов загрязняющих веществ при проведении сварочных работ валовый выброс, т/год, составляет: FeO – 0,115; MnO – 0,028; пыль – 0,006.

В котельной производственного помещения для обогрева покрасочного цеха оборудована система подогрева воздуха на основе установки УВН-250 и УВН-275 М. В качестве топлива используется древесина смешанных пород. При сжигании топлива в данных установках в атмосферу через дымоход с естественной тягой происходит выброс загрязняющих веществ (ИЗА № 0001 и №0007). При этом процессе образуются загрязняющие вещества - азот (IV) оксид (азота диоксид) (0301), азот (II) оксид (азота оксид) (0304), сера диоксид (ангидрид сернистый, сера (IV) оксид, сернистый газ) (0330), углерод оксид (окись углерода, угарный газ) (0337), твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль) (2902).

Был проведен расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в процессе работы воздухонагревательной установки УВН 250 валовое выделение j-того загрязняющего вещества, т/год.

Таким образом, выбросы составят: азот диоксид – 1,406; азота оксид – 0,228; аэра диоксид – 0,18; углерод оксид – 5,083, твердые частицы – 0,889.

При работе воздухонагревательной установки УВН-275 М происходит валовое выделение j-того загрязняющего вещества, т/год, поэтому также был проведен расчет.

Таким образом, выбросы составят: азот диоксид – 0,925; азота оксид – 0,15; сера диоксид – 0,166; углерод оксид – 10,903; твердые частицы – 0,895.

**Проведение окрасочных работ:** в производственном помещении организован покрасочный цех, где при помощи пневматических пульверизаторов осуществляется нанесение ЛКМ на металлоконструкции. Выброс загрязняющих веществ в атмосферу осуществляется посредством двух выходов вентиляции: общеобменной в крыше здания и принудительной систем вентиляций (ИЗА № 0002-0003). При это процессе образуются загрязняющие вещества - твердые частицы суммарно (2902), ксилолы (смесь изомеров о-, м-, п-ксилол) (616), углеводороды предельные алифатического ряда C1-C10 (401), углеводороды ароматические (655), углеводороды алициклические (551), углеводороды непредельные алифатического ряда (550), пропан-2-он (ацетон) (1401), бутан-1-ол

(бутиловый спирт) (1042), этанол (этиловый спирт) (1061), бутилацетат (уксусной кислоты бутиловый эфир) (1210), 2-этоксиэтанол (этиловый эфир этиленгликоля, этилцеллозольв) (1119), толуол (метилбензол) (621), циклогексанон (1411).

Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при проведении окрасочных работ осуществлен в соответствии с методикой.

Таким образом, выбросы загрязняющих веществ от каждого источника, т/год, составляют: твердые частицы – 1,857; ксилолы – 0,697; углеводороды предельные алифатического ряда C1-C10 – 0,048; углеводороды ароматические – 0,075; углеводороды алициклические – 0,078; углеводороды непредельные алифатического ряда – 0,099; пропан-2-он – 0,842; бутан-1-ол – 0,267; этанол - 0; бутилацетат – 0,542; 2-этоксиэтанол - 0; толуол – 1,272; циклогексанон – 0,059.

**Металлообработка:** в производственном помещении производится металлообработка различными металлообрабатывающими станками. Источник выбросов – неорганизованный (ИЗА № 0006). Загрязняющее вещество, образующееся в процессе обработки металлов – пыль неорганическая с содержанием SiO<sub>2</sub> менее 70% (2908) и пыль неорганическая с содержанием SiO<sub>2</sub> более 70% (2907).

Расчет выбросов загрязняющих веществ от металлообрабатывающего оборудования произведен в соответствии с нормативными документами.

По результатам расчетов было установлено количество выбросов, т/год: Пыль неорган. (SiO<sub>2</sub> менее 70%) - 0,365328; Пыль неорган. (SiO<sub>2</sub> более 70%) – 0.

**Плазменная резка:** в производственном помещении находится установка плазменной резки автоматизированная, которая служит для обработки стали. Выброс загрязняющих веществ в атмосферу осуществляется посредством выхода принудительной системы вентиляции (ИЗА № 0004). При этом процессе образуются загрязняющие вещества - марганец и его соединения в пересчете на марганец (IV) оксид (0143), железо (II) оксид (в пересчете на железо) (0123), углерода оксид (окись углерода, угарный газ) (0337), азот (IV) оксид (азота диоксид) (0301), твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль) (2902).

Расчет выбросов ЗВ от металлообрабатывающего оборудования произведен согласно ТКП. В результате расчета выбросы загрязняющих веществ, т/год, составляют: марганец и его соединения в пересчете на марганец (IV) оксид – 0,002; железо (II) оксид – 0,055; азота диоксид – 0,824; азота оксид – 0,134; углерод оксид – 0,864; твердые частицы – 1,902.

При определении выбросов загрязняющих веществ в этом производстве использовались методики, согласованные с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [3].

Кроме того, на основе полученных результатов и имеющихся данных была определена категория объекта воздействия на атмосферный воздух [4].

Объекты воздействия на атмосферный воздух делятся на 5 категорий на основании количественного и качественного состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, вероятности наступления на объекте воздействия событий, имеющих неблагоприятные последствия для качества атмосферного воздуха, возникновения техногенной и экологической опасности, количества источников выбросов и размера зоны воздействия объекта в соответствии с Инструкцией о порядке отнесения объектов воздействия на атмосферный воздух к определенным категориям, утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 29 мая 2009 г. № 30.

От категории объекта воздействия зависит периодичность проведения, состав и содержание работ по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ, периодичность разработки нормативов допустимых выбросов в атмосферу и срок действия разрешения на выбросы.

Категория объектов воздействия определяется на основании суммы условных баллов K<sub>1</sub> и K<sub>2</sub>.

Условные баллы K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> рассчитываются по формулам:

$$K_1 = 2A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$$

$$K_2 = 2B_1 + B_2 + B_3,$$

где A<sub>1</sub> – число условных баллов, определяемое в зависимости от качественного и количественного состава загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух стационарными источниками природопользователя (критерий С);

A<sub>2</sub> – число условных баллов, определяемое в зависимости от значения относительного показателя опасности объекта воздействия (критерий ПО);

A<sub>3</sub> – число условных баллов, определяемое в зависимости от возможности возникновения техногенной и экологической опасности (критерий Z);

A<sub>4</sub> – число условных баллов, определяемое по количеству стационарных источников выбросов;

A<sub>5</sub> – число условных баллов, определяемое по количеству мобильных источников выбросов.

Значение коэффициентов A<sub>i</sub> для определения категории объектов воздействия на атмосферный воздух указываются в соответствии таблице 1 приложения 2 Инструкции о порядке отнесения объектов воздействия на атмосферный воздух к определенным категориям, утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 29 мая 2009 г. № 30

$V_1$  – количество загрязняющих веществ и (или) групп загрязняющих веществ, обладающих суммацией действия, по которым расчетная приземная концентрация превышает единицу;

$V_2$  – количество загрязняющих веществ и (или) групп загрязняющих веществ, обладающих суммацией действия, по которым расчетная приземная концентрация находится в диапазоне от 0,8 до 1;

$V_3$  – число условных баллов, определяемое в зависимости от размера зоны воздействия.

Значение коэффициента  $V_3$  в зависимости от размера зоны воздействия указываются согласно таблице 2 приложения 2 Инструкции о порядке отнесения объектов воздействия на атмосферный воздух к определенным категориям, утв. постановлением Минприроды № 30 от 29.05.2009 [4].

По анализируемому предприятию расчет критерия  $K_1$  равен 4, следовательно, значения расчетных приземных концентраций и значения  $K_2$  не рассчитываются и приравниваются к нулю.

Производственная площадка предприятия в качестве объекта воздействия относится к V категории.

Нет необходимости получать разрешение на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух или комплексное природоохранное разрешение, если в соответствии с актом инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух суммарные валовые выбросы составляют три или менее тонны в год или валовые выбросы загрязняющих веществ первого класса опасности составляют 10 или менее килограммов в год.

Разрешение на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух или комплексное природоохранное разрешение устанавливают нормативы допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и условия выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Согласно нормативным документам установки мощностью менее 100 кВт: газопоршневые, газотурбинные, когенерационные, котельные и иные топливосжигающие, отопительные и технологические печи, теплогенераторы не нормируются, а, следовательно, для ИЗА №№ 0001, 0005 и 0007 установление нормативов допустимых выбросов не требуется [5].

А в соответствии с нормативными документами оборудование, работающее на объектах строительства и ремонта, в том числе: резки и сварки металлов не нормируется, следовательно, для ИЗА № 0006 установление НДВ не требуется.

Остальные источники на предприятии (№№ 0002-0004) являются нормируемыми. Валовый выброс загрязняющих веществ от нормируемых источников в атмосферу составляет 5,493 т/год [5].

Рассчитаны выбросы по 35 загрязняющим веществам. Наибольшими объемами выбросов отличаются твердые частицы суммарно (2902) - 3,533865 т/год, ксилолы (смесь изомеров о-, м-, п-) (0616) - 1,433585 т/год, органический углерод - 1,329180 т/год.

По окончании проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, было получено разрешение сроком на 10 лет, так как объект воздействия относится к V категории.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Об охране атмосферного воздуха: Закон Республики Беларусь от 16 декабря 2008г. № 2-3 (с изм. и доп. внес. законом Республики Беларусь от 12 декабря 2012 г. № 6-3): с изменениями и дополнениями от 18 июня 2019 г. № 201-3, Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 26.06.2019, 2/2639;

2. ТКП 17.08-02-2006 (02120) «Правила расчета выбросов при сварке, резке, механической обработке металлов»: утвержден и введен в действие постановлением Минприроды Республики Беларусь от 28 февраля 2006 г. № 2/10

3. Инструкция о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух: утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 23 июня 2009 г. № 42;

4. Инструкция о порядке отнесения объектов воздействия на атмосферный воздух к определенным категориям: утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 29 мая 2009 г. № 30;

5. О нормативах допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 19 октября 2020 г. № 21 – Минск, 2020.

**ПЛАЗМОАКТИВИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ  
НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ  
И ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ**

**PLASMA-ASSISTED SYNTHESIS OF SEMICONDUCTOR-BASED  
PHOTOCATALYSTS FOR PHOTODEGRADATION OF ORGANIC POLLUTANTS  
AND PHARMACEUTICALS IN AN AQUATIC ENVIRONMENT**

***Н. А. Савастенко, А. А. Щербович, А. В. Медведский, С. А. Маскевич***  
***N. A. Savastenko, A. A. Scherbovich, A. V. Miadzvetski, S. A. Maskevich***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
nataliesavastenko@iseu.by*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В работе обобщены данные цикла исследований по синтезу и модификации в плазменных средах фотокатализаторов на основе полупроводниковых материалов для фотодеградации органических примесей и фармакологических отходов в водных средах.

This study summarizes the data on plasma-assisted synthesis and modification of semiconductor-based photocatalysts for photodegradation of organic pollutants and pharmaceuticals in an aquatic environment.

*Ключевые слова:* фармакологические отходы, плазма, фотокатализатор, ZnO, TiO<sub>2</sub>, фотодеградация, высокочастотный разряд, диэлектрический барьерный разряд, обработка в плазме, нетрадиционные загрязнители, загрязняющие вещества, вызывающие растущую озабоченность.

*Keywords:* pharmaceutical waste, plasma, photocatalyst, ZnO, TiO<sub>2</sub>, photodegradation, radio-frequency discharge, dielectric barrier discharge, plasma treatment, contaminants of emerging concern (CECs).

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-206-209>

Охрана и защита водных ресурсов, обезвреживание и очистка сточных вод, утилизация органических и биологических промышленных отходов являются одной из основных проблем урбанизированной экосистемы. Традиционно внимание уделяется концентрации загрязняющих веществ с хорошо изученным негативным влиянием на биоту, таких как пестициды, нефтепродукты, масла, нитраты, тяжелые металлы, некоторые твердые примеси, содержащиеся в промышленных отходах, и др. и содержанию микрофлоры. В последние годы значительно возрос интерес к исследованию нетрадиционных загрязнителей, так называемых загрязняющих веществ, вызывающих растущую озабоченность (contaminants of emerging concern, CECs) [1]. К этим веществам относят органические компоненты сточных вод различной природы, которые при попадании в поверхностные воды способны нанести существенный вред экосистеме [1]. Среди источников CECs наиболее значимыми являются фармакологические отходы [1].

Как правило, вещества, относимые к CECs, наблюдаются в поверхностных водах в следовых концентрациях: нг/л или мкг/л, тем не менее, вред, который они могут нанести здоровью человека или экосистеме, значителен, и их присутствие в поверхностных водах вызывает серьезные опасения [1]. Влияние загрязняющих веществ в следовых концентрациях, во-первых, носит долговременный, хронический, системный характер, во-вторых, подвержено эффекту аккумуляции. Присутствие в поверхностных водах загрязняющих веществ, имеющих фармакологическую природу, приводит к развитию устойчивости к антибиотикам, мутационным эффектам и т.д. Некоторые вещества, встречающиеся в отходах фармакологической промышленности, являются канцерогенами [1]. Загрязняющие вещества фармакологической природы могут передаваться по пищевым цепочкам и попадать в питьевую воду.

Загрязняющие вещества фармакологического происхождения находят в поверхностных водах повсеместно. Так, 80% проб, взятых на территории США, показали наличие фармакологических отходов [1]. Фармакологические вещества были найдены в грунтовых водах Италии и Испании, а также в питьевой воде в Берлине [1]. Всего обнаружено более 630 лекарственных средств, среди них примерно 130 метаболитов в 71 стране мира [2]. Данные по исследованию содержания фармакологических контаминантов на территории Республики Беларусь можно найти в [2]. Исследование было проведено в 2016 году. Для исследования были взяты пробы сточных вод до и после очистительных сооружений в Минске, Витебске, Гродно и Борисове, а также были исследованы озеро Еди Сорочанской группы озер и Свирь, входящее в состав национального парка «Нарочанский», и Осиповичское водохранилище.

Среди фармакологических контаминантов в водных средах преобладают нестероидные противовоспалительные препараты, антибиотики, статины, половые гормоны, противозепилептические препараты, бета-блокато-

ры, антидепрессанты, антигипертензивные препараты, ветеринарные медикаменты. В питьевой воде обнаруживают диклофенак, парацетомол, ацетилсалициловую кислоту и некоторые другие препараты [1, 2].

Наиболее опасными для окружающей среды вследствие их устойчивости, способности накапливаться и токсичности считаются

- антибактериальные вещества, способствующие развитию устойчивости микроорганизмов к антибиотикам;
- гормональные препараты, влияющие на репродуктивную функцию, в том числе, животных и рыб;
- нестероидные противовоспалительные препараты, оказывающие влияние на работу внутренних органов, в том числе, животных и рыб [2].

Главным источником попадания загрязняющих веществ, имеющих фармакологическую природу, являются сточные воды фармацевтических предприятий, неиспользованные и неутилизированные лекарственные препараты, а также продукты метаболизма лекарственных средств. Многие из загрязняющих веществ, имеющих фармакологическую природу, не подвержены биодеградации. Таким образом, удаление загрязняющих веществ фармакологической природы из водных сред является сложно реализуемой задачей. Широко применяется сжигание фармакологических отходов при температуре в диапазоне 850-1100°C. Однако такая утилизация фармакологических контаминантов может создать дополнительные косвенные риски для экологических систем в результате освобождения в окружающую среду токсичных загрязнителей: в результате сжигания происходит высвобождение в атмосферу загрязняющих веществ, если печи для утилизации отходов не обеспечивают определенный температурный режим, или не оснащены газоочистительным оборудованием.

В настоящее время активно разрабатываются альтернативные методы для утилизации МО, такие как микроволновая обработка, химическая обработка и некоторые другие. Проблема очистки водных сред от отходов фармакологической промышленности особенно сложна, так как определить, какие вещества и в каких количествах присутствуют в фармацевтических сточных водах, не представляется возможным. Прежде всего это связано с быстро меняющимся спросом на фармацевтическую продукцию.

В ряде исследований показана возможность и целесообразность применения биологических методов для очистки сточных вод фармацевтической промышленности, в частности, использование мембранных биореакторов с керамическими мембранными модулями. Мембранный реактор включает в себя традиционную биологическую очистку сточных вод и мембранное разделение. Биологическая очистка предполагает использование микроорганизмов для удаления органических загрязнений и биогенных веществ – фосфора и азота. Благодаря установленным мембранам достигается разделение частиц вещества во взвешенном состоянии и микроорганизмов. Однако, традиционные биологические методы не могут обеспечить селективного удаления лекарственных отходов и, во многих случаях, биологические методы не применимы для удаления антибиотиков, стероидов, гормональных препаратов.

Гетерогенный фотокатализ с использованием нанокатализаторов на основе оксида цинка и диоксида титана рассматривается как перспективный способ очистки водных сред от отходов фармакологической промышленности. Использование фотокатализаторов позволяет разложить органические примеси на простые нетоксичные соединения: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и некоторые неорганические кислоты.

Фотокатализаторы на основе оксида цинка (ZnO) или диоксида титана (TiO<sub>2</sub>) являются наиболее распространенными фотокаталитическими материалами. Как оксид цинка, так и диоксид титана являются устойчивыми и нетоксичными. Однако их промышленное применение для очистки воды от органических отходов методом фотодегradации ограничено рядом факторов, в том числе недостаточной эффективностью материалов в случае использования излучения в видимом диапазоне длин волн, в том числе, солнечного света. Поэтому исследования, направленные на повышение эффективности полупроводниковых фотокатализаторов, являются актуальными.

В цикле работ, выполненных на кафедре общей и медицинской физики Международного государственного экологического института им. А.Д.Сахарова Белорусского государственного университета, эффективность фотокатализаторов на основе оксида цинка и диоксида титана для фотодегradации органических отходов в водных средах, в том числе, фармакологических отходов, была повышена путем химической (импрегнированием каталитически активных материалов плазмонными наночастицами) и плазмохимической (обработкой фотокаталитически активных материалов неравновесными плазменными средами высокочастотного и диэлектрического барьерного разряда в инертных и химически активных атмосферах) модификациями [3-5]. Подробное описание методов синтеза и обработки дано в работах [3-5], а также в списке литературы в данных работах.

Было показано, что плазма диэлектрического барьерного разряда атмосферного давления является более эффективной средой для повышения фотокаталитической активности ZnO, чем плазма высокочастотного разряда пониженного давления. В обоих случаях плазма генерировалась в воздушной атмосфере. Более того, обработка наноразмерного TiO<sub>2</sub> (анатаз, Aldrich, < 25 nm, 99.7%) в плазме пониженного давления высокочастотного разряда в атмосфере аргона не приводит к усилению фотокаталитических свойств материала в реакциях фотодегradации органических примесей.

Еще одним направлением повышения фотокаталитической активности полупроводниковых материалов является введение допантов в объем или на поверхность фотокатализаторов. В предыдущих работах ([3-5], а также в работах, указанных в списке литературы [3-5]), было показано, что импрегнирование фотокатализаторов на основе оксида цинка плазмонными наночастицами (Ag) с последующей обработкой в плазме диэлектрического барьерного разряда приводит к увеличению значения константы скорости реакции фотодегradации в три раза. В качестве модельной реакции была выбрана реакция фотодегradации красителя метилового оранжевого

как реакции симулирующей фотодegradацию промышленных отходов текстильной промышленности в водных средах. Было также исследовано влияние плазменной обработки допированных плазмонными наночастицами серебра фотокатализаторов на основе оксида цинка на скорость реакции фотодegradации кофеина. Модельная реакция фотодegradации кофеина симулирует фотодegradацию фармакологических отходов. Было установлено влияние плазменной обработки на установление экситон-плазмонной связи в обрабатываемых фотокатализаторах.

На примере модельной реакции разложения кофеина под действием ультрафиолетового излучения показано, что допированный наночастицами катализатор на основе ZnO эффективен в реакциях фотодegradации фармакологических отходов. Установлено, что реакции фотодegradации кофеина и метилового оранжевого при начальных концентрациях, различающихся в 6 раз (300 мг/л и 50 мг/л) в присутствии допированного наночастицами серебра катализатора на основе ZnO, характеризуются одной и той же константой скорости реакции –  $k=3,6 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ .

Был также синтезирован, подвергнут плазменной или плазмохимической модификации и исследован ряд фотокатализаторов на основе наночастиц диоксида титана в модельных реакциях, симулирующих фотодegradацию органических примесей, в том числе, фармакологических отходов. Плазменная и плазмохимическая обработка включала обработку катализаторов в плазме высокочастотного разряда:

- в реактивной атмосфере (Ag + аллиловый спирт как прекурсор), мощность 300 Вт, давление в камере 15 Па, скорость потока газа 20 sccm: 1.5 сксм 15 мин, толщина пленки 100 нм;
- в реактивной атмосфере (Ag + аллиловый спирт как прекурсор), мощность 300 Вт, давление в камере 15 Па, скорость потока газа 20 sccm: 1.5 сксм 30 мин толщина пленки 200 нм;
- в инертной атмосфере Ar, мощность 300 Вт, давление в камере 15 Па, скорость потока газа 20 сксм, время обработки 15 мин,
- а также импрегнирование исходного материала красителем на основе Ru в качестве сенситайзера.

В результате проведенных исследований установлены механизмы изменения физико-химических свойств допированных наночастицами фотокатализаторов на основе полупроводниковых материалов в результате импульсного плазменного воздействия:

- Обработка в плазме приводит к изменению концентрации различных функциональных групп на поверхности фотокатализаторов.
- Обработка в плазме фотокатализаторов, допированных наночастицами Ag, влияет на установившуюся экситон-плазмонную связь.

Двойная плазменная обработка допированных наночастицами фотокатализаторов, включающая обработку фотокатализаторов в плазме до импрегнирования их наночастицами (активация) и после (фиксация), не приводит к повышению активности фотокатализаторов в реакциях фотодegradации.

На основании проведенных исследований разработан принцип управления физико-химическими свойствами допированных наночастицами полупроводниковых материалов при плазмоактивированном синтезе фотокатализаторов в неравновесных плазменных средах диэлектрического барьерного разряда в воздухе при нормальном давлении и высокочастотного разряда в инертной (Ar) или химически реактивной (Ag + аллиловый спирт как прекурсор) атмосфере пониженного давления (15 Па) на основании сравнения данных исследования кинетики модельных реакций фотодegradации метилового оранжевого (симулирующего отходы текстильной промышленности) и кофеина бензоната натрия (симулирующего фармакологические отходы) в присутствии плазмомодифицированных катализаторов на основе микродисперсного порошка ZnO (100 нм- 1 мкм) и нанодисперсного порошка TiO<sub>2</sub> (<25 нм), химически не модифицированных, модифицированных плазмонными наночастицами серебра (Ag) путем импрегнирования, модифицированных Ru-содержащим металло-органическим фотосенситайзером (C<sub>26</sub>H<sub>16</sub>N<sub>6</sub>O<sub>8</sub>RuS<sub>2</sub>) путем импрегнирования, плазмо-химически модифицированных путем нанесения полиаллиловой нанопленки 100 и 200 нм в плазме высокочастотного разряда в реактивной атмосфере пониженного давления.

Установлено принципиально различное влияние плазменной обработки на эффективность фотокатализаторов, не содержащих и содержащих плазмонные наночастицы: для фотокатализаторов, содержащих плазмонные наночастицы плазменная обработка, способствующая повышению каталитической активности, приводит к повышению поверхностной концентрации адсорбированного кислорода и гидроксильных функциональных групп, в том числе, гидроксильных ионов, участвующих в реакции фотодegradации; для катализаторов, не активированных плазмонными наночастицами, плазменная обработка при оптимальных параметрах, приводящая к максимальной активности в реакциях фотодegradации, приводит к уменьшению поверхностной концентрации гидроксильных групп, что может быть объяснено конкурирующими адсорбционными процессами на поверхности плазмоактивированных фотокатализаторов, при которых понижение поверхностной концентрации гидроксильных групп способствует повышению поверхностной концентрации адсорбированных молекул органических примесей, тем самым повышая вероятность реакции разложения молекул органических примесей.

Таким образом, при плазмоактивированном синтезе полупроводниковых катализаторов, допированных плазмонными наночастицами с использованием плазмы диэлектрического барьерного разряда, для повышения активности фотокатализаторов необходимо выбирать режимы плазменной обработки, приводящие к повышению поверхностной концентрации кислорода и гидроксильных функциональных групп, в том числе, гидроксильных ионов, и влияющие на экситон-плазмонную связь в обрабатываемом материале таким образом, чтобы значение коэффициента Парселла составляло 0,4-0,5 отн.ед. При этом рекомендуемое значение эффективной энергии, поглощенной катализатором за время обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда, составляет  $1,2 \cdot 10^4$  Дж.

Разработанный принцип повышения активности катализаторов при плазмоактивированном синтезе основан на целевой модификации физико-химических свойств их поверхностей и может быть использован как для создания фотокаталитически активных материалов в плазменных средах с указанными параметрами, так и для разработки новых методов и концепций повышения эффективности каталитически активных материалов, без использования плазменных сред с конкретными параметрами, но направленных на модификацию физико-химических свойств установленным образом.

*Работа выполнена в рамках проекта 2.2.02. «Создание научных основ плазмоактивированного взаимодействия наночастиц с поверхностью функциональных материалов с целью разработки новых методов направленного синтеза и модификации наноструктурированных каталитических материалов» Государственной программы научных исследований «Конвергенция-2025» и проекта 8.2 «Разработка физико-химических принципов плазмоактивированного синтеза и модификации микродисперсных полупроводниковых фотокатализаторов, допированных наночастицами» Государственной программы научных исследований «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» подпрограммы «Наноматериалы и нанотехнологии». Работа также частично финансировалась Министерством образования Республики Беларусь в рамках проекта «Плазмоиндуцированная модификация допированных плазмонными наночастицами катализаторов для фотодегradации фармакологических отходов».*

*Авторы благодарят д-ра Ф. Брюзера (Лейбниц-Институт физики и технологии плазмы г. Грайфсвальда, Германия), И.И. Филатову и В.И. Люшкевич (Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси) за обработку каталитически активных материалов в плазме.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Occurrence, distribution, and seasonality of emerging contaminants in urban watersheds / X. Bai [et al.] // Chemosphere. 2018. – V. 200. – P. 133-142.
2. Лекарственные средства в окружающей среде Республики Беларусь. Обзор ситуации [Электронный ресурс] / Сайт центра экологических решений. – 2021. – Режим доступа: <https://ecoidea.by/ru/download/file/fid/10551> / дата доступа: 25.03.2021.
3. Savastenko, N.A Plasma-Assisted Synthesis of Polymer-Capped Dye-Sensitized TiO<sub>2</sub>-Based Photocatalysts for Methyl Orange Photodecomposition / N.A. Savastenko, V. Brüser, S.A. Maskevich // Proceedings of the IX Intern. Confer. Plasma Physics and Plasma Technology (PPPT-9), Minsk, Belarus, Sept. 17-11, 2018. / – Eds.: N.V. Tarasenko, A.A. Nevar and N.N. Tarasenko. – Minsk: Kovcheg, 2018. P. 433–436.
4. Comparative Study on the Effect of RF and DBD Plasma Treatment on Photocatalytic Activity of ZnO-Based Catalysts / N.A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. – 2015. – Vol. 19, № 3-4. – P. 221-723/
5. A comparative study on photocatalytic activity of ZnO-based photocatalysts treated by dielectric barrier discharge plasma / N.A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. – 2020. – V. 24, № 4. – P. 275-291.

## АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОАО «БМЗ» ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM AT OJSC “BMZ”

***A. N. Савицкий<sup>1</sup>, К. М. Мукина<sup>2</sup>***  
***A. N. Savitsky<sup>1</sup>, K. M. Mukina<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>«Белорусский Металлургический Завод - управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания», г. Жлобин, Республика Беларусь  
gp-al\_sav@mail.ru*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*<sup>1</sup>“Belarusian Metallurgical Plant - the managing company of the holding” Belarusian Metallurgical Company “,  
Zhlobin, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В статье рассмотрена система управления окружающей средой. По данным предприятия проведен анализ охраны атмосферного воздуха, использования водных ресурсов, обращения с отходами производства экологических аспектов и методики оценки важности экологических аспектов.

The article discusses the environmental management system. Based on the data of the enterprise, an analysis of the protection of atmospheric air, the use of water resources, the management of industrial waste, environmental aspects and a methodology for assessing the importance of environmental aspects were carried out.

*Ключевые слова:* экологическая деятельность, охрана атмосферного воздуха, использование водных ресурсов, обращение с отходами производства, методика оценки значимости экологических аспектов, анализ экологических аспектов.

*Key words:* environmental activity, protection of atmospheric air, use of water resources, waste management, methods for assessing the significance of environmental aspects, analysis of environmental aspects.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-209-213>

Белорусский металлургический завод (БМЗ) – предприятие чёрной металлургии в городе Жлобине в Республике Беларусь. Является управляющей компанией холдинга «Белорусская металлургическая компания» (БМК). БМЗ является национальным достоянием Республики Беларусь и внесено в государственный реестр предприятий республики с высокотехнологичным производством. По объему товарной продукции БМЗ входит в число пяти крупнейших предприятий республики.

Предметом деятельности предприятия является: производство стали, сортового проката, бесшовных горячекатаных труб, металлокорда и различных видов проволоки [1].

Система управления окружающей среды является частью общей системы управления заводом, отвечающая за систематический подход к охране окружающей среды во всех сферах производственной деятельности завода и интегрирована в процессы системы менеджмента качества, управления охраной труда и социальной ответственности. Заводская Система управления окружающей средой сертифицирована на соответствие требованиям стандартов ISO 14001-2015 и СТБ ИСО 14001-2017 и распространяется на производство непрерывнолитой заготовки, сортового и фасонного проката, катанки, бесшовных труб, металлокорда, проволоки и стальной фибры [2].

По данным предприятия проведен анализ охраны атмосферного воздуха, обращения с отходами производства и анализ экологических аспектов ОАО БМЗ, также рассмотрена методика оценки значимости экологических аспектов, по которой оценивалась их значимость.

Охрана атмосферного воздуха. Основными источниками вредного воздействия на окружающую среду являются источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух БМЗ. На предприятии эксплуатируются 503 источника выбросов с разрешенным валовым выбросом 10794,99 тонн/год.

Характеристика выбросов загрязняющих веществ по данным «Проекта нормативов предельно-допустимых выбросов ОАО «БМЗ», управляющей компании холдинга «БМК», показана на рисунке 1.

В выбросах содержатся основные загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу: окись углерода (CO), азота диоксид (NO<sub>2</sub>), серы диоксид (SO<sub>2</sub>), твердые вещества (пыль неорганическая, MnO, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, пыль древесная, соединения кремния, стеарат натрия и др.), углеводороды, летучие органические соединения, прочие.

**доля основных загрязняющих веществ**

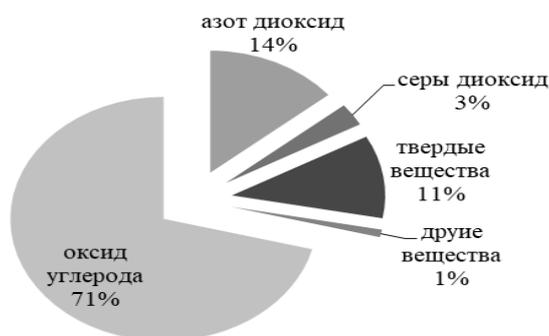


Рис. 1 – Доля основных загрязняющих веществ

Для минимизации вредного воздействия основные источники выбросов, дающие наибольший вклад, оснащены установками очистки газов, которых насчитывается 122 единицы.

Охрана водных ресурсов. ОАО БМЗ, управляющая компания холдинга «БМК», является крупнейшим потребителем воды. В основном вода используется для охлаждения технологического оборудования: дуговых электроплавильных печей, машин непрерывного литья заготовок, термических нагревательных печей, прокатных станов и др. Для обеспечения потребителей необходимым количеством воды на предприятии используются оборотные системы водоснабжения с общим расходом более 390млн. м<sup>3</sup> /год. Водоснабжение ОАО «БМЗ -управляющая компания холдинга «БМК» осуществляется на питьевые и хозяйственно-бытовые нужды; производственные нужды; противопожарные нужды.

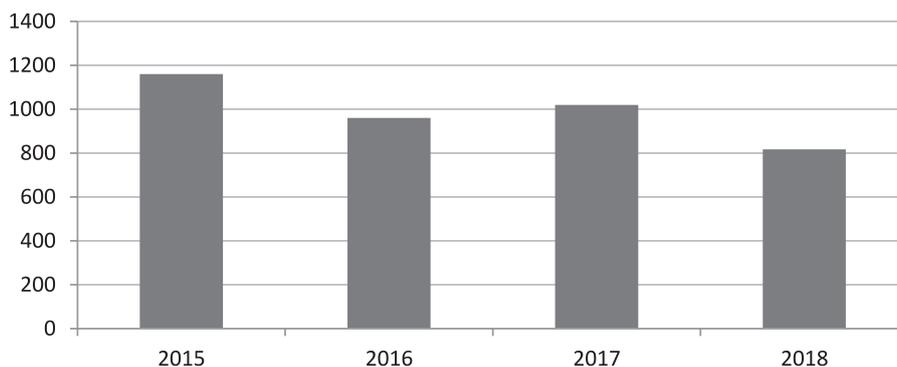
Завод, осуществляя свою деятельность в сфере экологии, обеспечивает экономное расходование энергии и воды для собственных нужд, и, насколько возможно, сокращает их потребление. Забор воды для технических нужд осуществляется из реки Днепр, которая является одной из главных рек на территории Республики Беларусь.

На предприятии реализована оборотная система водоснабжения основных потребителей – технологического оборудования. Вода из поверхностных источников (река Днепр) используется для возмещения безвозвратных потерь в системах охлаждения оборудования. На хозяйственно-питьевые нужды используется питьевая вода из артезианских скважин. Объем потребляемой воды составляет: 99% оборотная вода, 0,5% речная вода, 0,3% питьевая вода, 0,2% дождевая вода. Объем оборотной воды за 2014 – 2018 годы представлен на рисунке 2.



*Рис. 2 – Объем оборотной воды, м³*

Для уменьшения количества потребляемой из реки Днепр природной воды на предприятии используются дождевые воды, непосредственно собираемые и очищаемые на специализированных участках (рисунок 3).



*Рис 3 – Использование ливневой воды, тыс.м³*

#### Обращение с отходами производства

На предприятии образуются более 100 видов отходов производства. Удельное размещение отходов представлено на рисунке 4.

Накопление и хранение отходов производства на территории предприятия допускается временно:

- при использовании отходов в последующем технологическом цикле;
- при временном отсутствии полигонов для захоронения;
- при накоплении до транспортной единицы с целью вывоза отходов к месту размещения, передачи потребителю.

Характеристика полигонов и накопителей, предназначенных для захоронения (складирования) отходов, приведена в экологическом паспорте предприятия. Характеристика отходов и движение регламентированы инструкцией по обращению с отходами производства.

Существующая технология производства металлопродукции неизбежно связана с образованием отходов различных видов и классов опасности. Это один из самых значительных аспектов, приводящих к загрязнению окружающей среды. Предприятие строго соблюдает все требования, связанные с обращением с отходами производства и стремится к ограничению захоронения отходов и увеличению утилизации отходов. Размещение отходов производства за 2017 – 2018 представлено в таблице 1.

*Таблица 1 – Удельное размещение отходов производства*

	2017	2018	Прирост/снижение
Реализовано, т	537 873,3	1176 460	+638 586,7
Использовано, т	31 803	81 570	+49 767
Захоронено, т	8 426,3	6 253	-2 173,3



Рис. 4 – Характер обращения с отходами производства

В зависимости от степени опасности отходов, их физических свойств на предприятии определен строгий порядок на всех этапах обращения с отходами производства (образование, сбор, перевозка, хранение, использование), обеспечивающий наименьшее влияние на окружающую среду.

**Анализ экологических аспектов ОАО БМЗ**

Анализ значимости экологических аспектов проводится по данным реестра экологических аспектов и воздействий СтПЦ-2 с ПМК на 2020 год. Для определения значимости экологических аспектов используется Методика оценки значимости экологических аспектов и оценки рисков. М-840-КСМ-2019. По результатам анализа выявлено всего 64 экологических аспекта (таблица 2).

Таблица 2 – Важность экологических аспектов

Важность аспекта	Количество	Процентное отношение %
1	10	15
2	35	54
3	1	2
4	16	25
8	1	2
9	1	2

**Анализ методики оценки значимости экологических аспектов**

Значимость экологических аспектов оценивалась по методике (М 840-КСМ-2019) [3], в основу которой заложена методика Минприроды.

Значимость экологических аспектов оценивают с учетом следующих критериев.

- КРИТЕРИЙ 1: воздействие на окружающую среду;
- КРИТЕРИЙ 2: требования заинтересованных сторон;
- КРИТЕРИЙ 3: законодательные и другие требования.

Расчет значимости экологического аспекта определяется по формуле

$$\text{Значимость аспекта} = (M \cdot V_p \cdot O \cdot ZC) + Z$$

где M - масштаб воздействия экологического аспекта на окружающую среду;

V<sub>p</sub> - вероятность воздействия экологического аспекта на окружающую среду;

O – опасность (степень серьезности последствий или опасность для окружающей среды);

ZC - требования заинтересованных сторон;

Z - требования природоохранного законодательства.

В ходе работы дана характеристика производственной деятельности предприятия ОАО «БМЗ». Описаны общие сведения о предприятии, ассортимент выпускаемой продукции и технологические процессы. Проведен анализ системы управления окружающей среды, в том числе, охрана атмосферного воздуха, охрана водных ресурсов и обращение с отходами производства. Установлено, что на предприятии эксплуатируются 503 источника выбросов в атмосферный воздух с разрешенным валовым выбросом 10794,99 тонн/год. Рассмотрено потребление воды на предприятии: 99% оборотная вода, 0,5% речная вода, 0,3% питьевая вода, 0,2% дождевая вода. Установлена тенденция обращения с отходами. По ней в 2018 году в сравнении с 2017 реализовано, т +638 586, использовано, т +49 767, захоронено, т -2 173,3.

Проведен анализ экологической деятельности и экологических аспектов ОАО «БМЗ». Проведен анализ методики оценки значимости экологических аспектов. По результатам анализа выявлено всего 64 экологических аспекта. Аспекты распределены по важности: аспектов с важностью 1 - 15% (10), аспектов с важностью 2 - 54%

(35), аспектов с важностью 3 - 2% (1), аспектов с важностью 4 - 25% (16), аспектов с важностью 8 - 2% (1), аспектов с важностью 9 - 2% (1).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ассортимент выпускаемой продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://knowledge.allbest.ru/management/2c0a6535a2ac79b4d8421306c27\\_0.html](https://knowledge.allbest.ru/management/2c0a6535a2ac79b4d8421306c27_0.html). – Дата доступа: 12.10.2020.
2. Отчет о природоохранной деятельности. – ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», 2018. – 51 с.
3. Методика оценки значимости экологических аспектов и оценки рисков. М-840-КСМ-2019. – ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», 2019. – 9 с.

### **ЗАВИСИМОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФАТОВ В ВОДЕ ОТ ПОДВИЖНЫХ И ВАЛОВЫХ ФОРМ ФОСФОРА В ПОЧВЕ НА АГРАРНОЙ ТЕРРИТОРИИ ТЕРНОПОЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ (УКРАИНА)**

### **DEPENDENCE OF PHOSPHATE CONTENT IN WATER ON MOBILE AND TOTAL FORMS OF PHOSPHORUS IN SOIL IN AGRICULTURAL TERRITORY OF TERNOPIL REGION (UKRAINE)**

***Е. И. Скиба, Л. Я. Федонюк, О. М. Ярема, К. Лесняк-Мочук\****  
***O. I. Skyba, L. Ya. Fedonyuk, O. M. Yarema, K. Lesnyak-Mochuk\****

*Тернопольский национальный медицинский университет имени И. Я. Горбачевского МЗ Украины,  
г. Тернополь, Украина*

*\*Жешовский политехнический университет, г. Жешов, Польшая Республика  
[jaremaom@tdmu.edu.ua](mailto:jaremaom@tdmu.edu.ua)*

*I. Horbachevsky Ternopil National Medical University  
Ministry of Health of Ukraine, Ternopil, Ukraine*

*\*Rzeszow Polytechnic University, Rzeszow, Republic of Poland*

Определены и проанализированы показатели фосфатов в воде, содержание подвижной и валовой форм фосфора в донных отложениях и почвах в гидроэкосистеме аграрной территории, которая характеризуется активным земледелием и животноводством. Установлено, что наличие валовой формы фосфора в почве, воде и донных отложениях значительно отличается в разные месяцы, а подвижной формы наоборот совпадает. Последнее свидетельствует о значительной мобильности подвижных форм фосфора в системе почва↔вода↔донные отложения. Установлено, что весной большинство валового фосфора находится в почве, а летом и до начала осени растет его доля в донных отложениях. Выявлено, что содержание фосфатов в исследованной гидроэкосистеме определяется их миграцией в системе почва↔вода↔донные отложения и имеет сезонный характер.

The indicators of phosphates in water, the content of mobile and total forms of phosphorus in bottom sediments and soils in the hydroecosystem of the agrarian territory, which is characterized by active agriculture and animal husbandry, have been determined and analyzed. It was found that the presence of the total form of phosphorus in soil, water and bottom sediments differs significantly in different months, and the mobile form, on the contrary, is the same. It indicates a significant mobility of mobile forms of phosphorus in the “soil-water-bottom” sediments system. It was found that in spring most of the total phosphorus is in the soil, and in summer and until the beginning of autumn, its share in bottom sediments increases. It was revealed that the content of phosphates in the studied hydroecosystem is determined by their migration in the “soil-water-bottom” sediments system and has a seasonal character.

*Ключевые слова:* фосфаты, почва, донные отложения, вода, гидроэкосистема, подвижная форма фосфора, валовая форма фосфора, аграрная территория, антропогенное загрязнение.

*Keywords:* phosphates, soil, bottom sediments, water, hydroecosystem, mobile form of phosphorus, total form of phosphorus, agricultural territory, anthropogenic pollution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-213-217>

Поскольку почва является главным компонентом ландшафтов, который участвует в формировании водного баланса, на фоне глубокого нарушения экологического равновесия между природными и измененными

хозяйственной деятельностью угодьями, загрязнение сельскохозяйственных земель, его эрозионная, агрохимическая и агрофизическая деградация сказывается на водном балансе и качестве водной среды [1, 2].

Почва влияет на соотношение поверхностного и почвенного питания рек, а также на химический состав воды. Именно от почв зависит, какая часть атмосферных осадков поступит с водоразделов в реки в виде поверхностного стока, а какая – в виде почвенного, что в значительной степени определяет равномерность питания рек. В результате приноса из почвы соединений, водоемы получают значительное количество биофильных макро- и микроэлементов, а также гумуса.

Еще Д. Н. Прянишников отмечал, что для того, чтобы оживить почву необходимо добавить только один элемент - фосфор. Как известно, что фосфор занимает 13-е место (по массе); его содержание достигает в среднем 0,12%. Общее содержание фосфора (в пересчете на  $P_2O_5$ ) в почвах чаще всего находится в пределах 0,046 - 0,092%.

По своим химическим свойствам фосфор имеет сложную природу взаимодействия с различными компонентами почвы, определяет большое количество различных форм, реакций, соединений и комплексов, посредством которых он может быть в почве. Основные запасы фосфора находятся в горных породах земной коры, в водах и донных отложениях морей и океанов, в гумусовом горизонте наземных и подводных почв. Основные запасы фосфора находятся в горных породах земной коры, в водоемах и донных отложениях морей и океанов, в гумусовом горизонте наземных и подводных почв. Полученные научные данные свидетельствуют о том, что фосфор практически всегда находится в дефиците в почве и водоемах.

Фосфор почвенного раствора находится в состоянии равновесия с грунтовыми соединениями твердой фазы, и если какое-то количество фосфатов теряется из почвенного раствора, определенная часть такой потери пополняется за счет фосфатов твердой фазы. В результате этих реакций в почве поддерживается фосфатный потенциал на относительно постоянном уровне за счет увеличения или уменьшения общего запаса подвижных фосфатов [3-5].

На структуру и свойства почв существенно влияют донные гидробионты (бентос). Под влиянием бактерий, олигохет, хирономид и других бентосных организмов труднорастворимые в воде органические и минеральные соединения переходят в открытые формы азота, фосфора, железа и других биогенных элементов [3, 4].

Фосфор имеет сложную природу взаимодействия с различными компонентами почвы, определяет большое количество различных форм, реакций, соединений и комплексов, посредством которых он может быть в почве. Одна из наиболее важных особенностей фосфора - способность быстро поглощаться почвой и образовывать слабо-растворимые и кристаллизованные соединения за счет химического связывания и различных направлений физико-химической адсорбции [5]. Прибрежные почвы, в отличие от почв открытых местностей, прямо контактируют с водой и играют значительную роль в распределении соединений фосфора в системе почва↔вода↔донные отложения.

Донные отложения - это та составляющая экосистем, которая находится во взаимосвязи с толщей воды, и в которой отражаются главные физико-химические и биологические внутриводные процессы. Последние играют важную роль в круговороте химических элементов. Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях поверхностных водоемов является важным показателем их антропогенного загрязнения.

В толще воды постоянно находится определенное количество взвешенных частиц минерального и органического происхождения. Под действием силы тяжести они постепенно опускаются на дно. Кроме минеральных соединений в водоемах и водотоках происходит осаждение и органических соединений, которые образуются в процессе жизнедеятельности гидробионтов [1].

Между донными отложениями и толщей воды осуществляется постоянный обмен биогенными элементами, который обеспечивает функционирование водных экосистем в неразрывном единстве всех их компонентов. В частности, донные отложения являются источником вторичного загрязнения водных объектов, так как накопленные в них минеральные и органические вещества постепенно переходят в толщу воды. Этот процесс играет особую роль в поддержании высокого содержания биогенных элементов в природных водоемах [2].

В результате различных загрязняющих факторов (многократное возделывание почвы, применение высоких доз минеральных удобрений и химических средств защиты растений, накопление ядохимикатов в почве и грунтовых водах, загрязнения отработанными газами тракторов, комбайнов, автомобилей, маслами и бензином, которые вытекают из них во время работы на полях, а также техногенными выбросами промышленных предприятий), которые влияют на изменение химической структуры почвы, страдает и водоем, который непосредственно контактирует с источниками загрязнения. Поэтому качество воды малой реки является интегральным показателем экологического состояния всего водосборного бассейна и прилегающих к нему территорий [1-3].

Тернопольская область Украины имеет разветвленную гидрографическую сеть слабо защищенных водотоков. В результате даже незначительное локальное загрязнение реки или ручья может иметь катастрофические последствия для всего бассейна, а то и подземных горизонтов. Региональное загрязнение малых рек приводит к ухудшению качества воды в средних и больших реках, создает серьезную опасность для здоровья населения.

Целью работы было установление связи между содержанием фосфатов в воде, концентрацией подвижной и валовой форм фосфора в донных отложениях и прибрежных почвах на территории малой реки, которая протекает на территории с активным ведением аграрной деятельности.

Для проведения исследования были определены и проанализированы показатели фосфатов в воде, содержание подвижной и валовой форм фосфора в донных отложениях и почвах в гидроэкосистеме аграрной территории, которая характеризуется активным земледелием и животноводством.

Поскольку наиболее разорёнными районами Тернопольской области являются южные районы области (Чертковский, Борщевский, Залещицкий, частично Бучацкий), к объекту исследования была отнесена река, которая протекает в пределах Бучацкого района – река Стрыпа [3-5]. Выделение вышеназванной территории осуществлено согласно эколого-географического районирования Тернопольской области, разработанного на основе влияния хозяйственной деятельности человека на окружающую среду [1-3].

Стрыпа - третья по величине из левых притоков Днестра в пределах Тернопольской области. Площадь ее водосбора составляет 1610 км (почти 12% территории области). Длина реки - 147 км, ширина русла в среднем течении - 10-65 м, глубина - 0,5-1,0 м. Основными загрязнителями р. Стрыпа является КП «Зборовский водоканал» и КП «Бучацкий ККП», Бучацкий сырзавод [1].

Учитывая задачи исследования, мы исследовали оксид фосфора (V)  $P_4O_{10}$  в его упрощенном виде -  $P_2O_5$  и анион  $PO_4^{3-}$  ортофосфорной кислоты  $HPO_4$  в абиотических и биотических составляющих гидроэкосистемы.

Для определения в воде фосфатов использовали фотометрический метод с молибдатом аммония  $(NH_4)_2MoO_4$ . Вследствие взаимодействия ортофосфата с молибдатом аммония в кислой среде ( $pH \approx 1$ ) в присутствии аскорбиновой кислоты образуется интенсивно окрашенное в синий цвет соединение - «молибденовая синь». Эта реакция происходит при нагревании. Чувствительность определения составляет 0,02 мг  $PO_4^{3-}$  / дм<sup>3</sup>. Оптическую плотность растворов измеряли при  $\lambda = 690$  нм (красный светофильтр). Для пересчета полученных величин в концентрацию фосфора фосфатов, мг P / дм<sup>3</sup>, показатели умножали на 0,3263 [1].

Поскольку в Тернопольской области наибольшую площадь занимают черноземы оподзоленные лесостепные (около 72%), минеральные подвижные формы фосфора определяли по методике Чирикова, которая является стандартной для черноземов и серых лесных почв степной и лесостепной зон [ДСТУ 4115-2002. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по модифицированному методу Чирикова]. Метод основан на извлечении фосфора и калия из почвы 0,5 н. раствором уксусной кислоты ( $pH 2,5$ ) при соотношении почва: раствор = 1:25 и температуре 18-20 °С с последующим определением содержания фосфора в растворе методом Дениже, вариант Труога-Майера, на фотоэлектроколориметре [2]. Метод основан на способности фосфорной кислоты создавать голубую окраску с молибденово-кислым аммонием в присутствии хлористого олова.

Определение содержания валовых форм фосфора в донных отложениях и прибрежных почвах осуществляли согласно [ДСТУ ISO 14869-1: 2005. Качество почвы. Растворения для определения валового содержания элемента. Часть 1. Растворение плавиковой и хлорной кислотами]. Данный стандарт определяет метод полного растворения, с применением плавиковой и хлорной кислот для различных элементов в почве, среди которых есть и фосфор. Просушен и размолотый образец предварительно обрабатывают для разрушения органического материала, а затем травят смесью плавиковой и перхлоратной кислот. После испарения до почти сухого состояния остаток растворяют в хлоридной или нитратной кислотах. Содержание фосфора в растворе определяли методом Дениже, вариант Труога-Майера на фотоэлектроколориметре [1]. Содержание подвижных форм фосфора и его валового содержания выражали в мг  $P_2O_5$  на 1 кг почвы.

В результате проведенных исследований, установлено следующее содержание фосфатов в воде: низкие значения фосфат-ионов в воде зафиксировано в сентябре - 0,005 мг / дм<sup>3</sup>, а самые высокие - в мае 0,0165 мг / дм<sup>3</sup>.

Также установлено следующую динамику содержания фосфатов в воде исследуемой территории: незначительное повышение с апреля по май, снижение в июне и июле, рост в августе, минимальные концентрации - в сентябре и повышение - в октябре.

Пик фосфатов в мае обусловлен их поступлением с поверхностным стоком со всей водосборной площади бассейна реки, относительно невысоким уровнем развития потребления их водными организмами, за счет смыва во время сельскохозяйственной деятельности. Минимальные показатели фосфатов в сентябре связываем с большим количеством осадков и значительным поверхностным стоком. Кроме того, большое количество подвижной формы фосфора переходит в валовую (неподвижную) и оседает на дне водоемов.

При изучении содержания подвижных форм фосфора в донных отложениях установлено, что в водоеме концентрация фосфора колебалась от минимальных показателей в июне (24,8 мг / кг) до максимальных - в августе (117,3 мг / кг). С апреля по июнь концентрация подвижных форм фосфора снизилась в 3,31 раза, а к августу - увеличилась в 4,73 раза. С августа по октябрь концентрация фосфора снизилась в 2,13 раза.

Динамика содержания фосфатов в воде отражается на накоплении их подвижных форм в донных отложениях. Установлено уменьшение содержания последних в мае и июне, что связано с переходом фосфат-ионов в воду и привлечением их в биогеохимический круговорот за счет активизации вегетации биоты. Осенний минимум подвижных соединений фосфора в донных отложениях соотносится с общей закономерностью седиментации и образованием малорастворимых комплексов большинства неорганических соединений.

Между содержанием фосфатов в воде и подвижными формами фосфора в донных отложениях установлено обратную связь весной, а прямую - летом.

Содержание валовых форм фосфора в донных отложениях показало следующую картину: в водоеме минимальные показатели валового содержания фосфора были зафиксированы в апреле (190,0 мг / кг), а максимальные - в июле (279,1 мг / кг). С апреля по июль валовое содержание форм фосфора выросло в 1,47 раза, а к октябрю незначительно снизилось. Между содержанием фосфат-ионов в воде и валовым содержанием фосфора в донных отложениях установлено обратная связь весной, прямая - летом и осенью.

На основе выведенных зависимостей установлены следующие закономерности: весной и в начале лета между фосфат-ионами в воде, подвижными и валовыми формами фосфора в донных отложениях установлено обратную связь, что свидетельствует о высвобождении фосфатов из донных отложений и их переходом в воду, тем самым уменьшая их концентрацию в донных отложениях. В конце лета наблюдается прямая зависимость между выше-названными показателями, что объясняет уравнивание баланса фосфатов в системе вода↔донные отложения. Осенью содержимое фосфора в донных отложениях растет вследствие высвобождения фосфатов с отмершей органики с постепенными седиментационными процессами их осаждения в донных отложениях.

Данные исследований о содержании подвижных форм фосфора в почве указывают на то, что содержание подвижной формы фосфора в реке колебалось от минимальных значений в апреле (19,1 мг / кг) до максимальных - в августе (131,6 мг / кг). С апреля по июль содержание фосфора выросло в 9,74 раза, а с июля по октябрь - снизилось в 4,27 раза.

В прибрежных почвах исследуемой территории наблюдалась общая тенденция к росту содержания подвижных форм фосфора с ранней весны до середины июля и обратный механизм постепенного снижения к зиме, что связано с сезонностью вегетации растений и активностью почвенных организмов и закисление при этом почвы за счет выделения биотой экзометаболитов, которые имеют кислую реакцию. Эта закономерность с отдельными вариациями прослеживается, когда на динамику подвижных форм фосфора в отдельные месяцы накладываются антропогенные факторы (случайные загрязнения, смывные воды, засорение и т.д.).

В водоеме с аграрной территории минимальные показатели валового фосфора зафиксированы в октябре (132,8 мг / кг), а максимальные - в августе (194,6 мг / кг). С апреля по май наблюдался рост содержания фосфора в 1,30 раза, с мая по июнь незначительное снижение, до августа повышение, а к октябрю снижение в 1,46 раза.

Установлено также, что между содержанием фосфатов в воде и подвижными формами фосфора в почве весной существует значительная корреляция ( $r = -0,82$ ). Между содержанием фосфатов в воде и валовым содержанием фосфора в почве установлена прямая корреляционная связь:  $-r = 0,83$ .

Уменьшение концентрации подвижных форм фосфора в прибрежной почве весной объясняется поступлением последних с талыми водами, тем самым уменьшая их количество в воде. К концу лета концентрация фосфора в прибрежной почве растет вследствие аллохтонных поступлений из природных источников (эрозия, поверхностный сток, жизнедеятельность растительных и животных организмов и т.д.). Осенью содержимое подвижных форм фосфора в прибрежной почве снижается, скорее всего, за счет выноса последних из смывными дождевыми водами и использованием их для жизнедеятельности растений.

Для объяснения миграции фосфатов между абиотическими составляющими исследуемых гидроэкосистем было рассчитано соотношение их содержания в системе почва↔вода↔донные отложения. За единицу принято показатели для почвы, поскольку они характеризуются наиболее устойчивым содержанием соединений фосфора и являются основным источником поступления фосфора со смывными водами.

Установлено, что весной большинство валового фосфора находится в почве, а летом и к началу осени растет его доля в донных отложениях.

При этом, содержание фосфатов в воде остается относительно постоянным, что дает право утверждать о высокой буферной емкости прибрежных почв и донных отложений и их ведущую роль в поддержании гомеостатического уровня фосфатов в воде рек. В экосистеме реки, протекающей на исследуемой территории, наблюдается преобладание содержания фосфатов в донных отложениях над его уровнем в почвах и воде, что может быть связано со смывом с агрополей значительных количеств органических веществ, которые аккумулируют фосфаты и постепенно накапливают их в донных отложениях.

Проанализировав соотношение содержания фосфора между абиотическими составляющими гидроэкосистемы, видно, что наличие валовой формы фосфора в почве, воде и донных отложениях значительно отличается в разные месяцы, а подвижной формы - совпадает. Последнее свидетельствует о значительной мобильности подвижных форм фосфора в системе почва↔вода↔донные отложения [3, 4].

Итак, содержание фосфатов в исследованной воде определяется их миграцией в системе почва↔вода↔донные отложения и имеет сезонный характер. Весной фосфаты, прежде всего за счет развития фитопланктона и высшей водной растительности, поступают в воду из донных отложений и со смывными водами побережья из грунтов, в которых они образуются вследствие гниения органических веществ прибрежных территорий. Осенью, фосфаты, которые поступают из почв и растений (фитопланктон и высшие водные растения), оседают и накапливаются в донных отложениях, тем самым обеспечивая очистку воды [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dai, J.C.; Song, J.M.; Li, X.G Sediment record of phosphorus and the primary study of its bioavailability in Jiaozhou Bay sediments. Environ. Sci. Technol. 2007, 28 (5), pp 929 - 936
2. Chunye, L.; Zhigang, W.; Mengchang, H. Phosphorus sorption and fraction characteristics in the upper, middle and low reach sediments of the Daliao river systems, China. J. of Hazardous Materials 2009, 170 (1), pp 278-285
3. Прокопчук, А. И. Взаимосвязь между содержанием соединений фосфора в прибрежном грунте и воде реки в аграрной территории. Материалы II Международной конференции «Восстановление биотического потенциала агроэкосистем», Днепропетровск, 9 октября 2015; Днепропетровск, 2015; с 84-87;

4. *Прокопчук, А. И.* Оценка фосфатного статуса реки и прибрежного грунта в пределах природного заповедника «Медоборы». Сборник тезисов I Всеукраинской научно-практической интернет-конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития естественных наук и методик их викладання»; Глухов, 2016.
5. *Прокопчук, А. И.* Сезонные изменения содержания соединений фосфора в абиотических составляющих рек Тернопольщины с разным характером антропогенного воздействия. Научные записки Тернопольского национального педагогического университета им. В. Гнатюка. Сер. Биология 2017, 2 (69), с 105-112.

## **МЕНЕДЖМЕНТ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

### **MANAGEMENT OF WATER CONSUMPTION AND SANITATION OF FOOD INDUSTRY ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

***Е. А. Улащик, И. А. Ровенская***  
***E. A. Ulaschik, I. A. Rovenskaya***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь,  
ulasikekaterina@gmail.com  
rovenskayaia@rambler.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Объектом исследования работы является менеджмент водопотребления и водоотведения водных ресурсов предприятия молочной промышленности Республики Беларусь. Была проанализирована нормативная база в области разработки технологических нормативов, а также технологии производства молочной продукции. Подробно рассмотрены все этапы переработки молока и дальнейшего производства молочных изделий.

На основе исходных данных рассчитаны индивидуальные нормативы водопотребления и водоотведения водных ресурсов в соответствии с законодательством Республики Беларусь. Составлена нормативно-расчетная балансовая таблица объемов водопотребления и водоотведения с учетом объемов безвозвратных потерь воды. Результатом работы стала разработка балансовой схемы водопотребления и водоотведения предприятия молочной промышленности с рекомендациями для сокращения потерь и использования воды питьевого назначения для производственных нужд.

The object of the study is the management of water consumption and water disposal of the dairy industry enterprise of the Republic of Belarus. The regulatory framework for the development of technological standards, as well as the technology for the production of dairy products, was analyzed. All stages of milk processing and further production of dairy products are considered in detail.

Based on the initial data, individual standards for water consumption and water disposal of water resources were calculated in accordance with the legislation of the Republic of Belarus. A normative-design balance table of water consumption and water disposal volumes was compiled, taking into account the volumes of irretrievable water losses. The result of the work was the development of a balance diagram of water consumption and water disposal of a dairy industry enterprise with recommendations for reducing losses and using drinking water for industrial needs.

*Ключевые слова:* технологические нормативы водопотребления и водоотведения, водный баланс предприятия, расход воды, нормы расхода воды.

*Keywords:* technological standards of water consumption and sanitation, water balance of the enterprise, water consumption, water consumption standards.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-217-220>

Пищевая промышленность – одна из важных отраслей промышленности Республики Беларусь, в 2019 году занимавшая 23,6% в общем объеме промышленного производства [1]. По белорусской классификации, к пищевой промышленности относятся такие виды экономической деятельности, как производство продуктов питания, напитков (алкогольных и безалкогольных) и табачных изделий. Развито производство молочной, мясной, хлебобулочной, кондитерской продукции, сигарет, полностью обеспечиваются потребности республики в сахаре, алкогольных и безалкогольных напитках. В основном отрасль снабжается продукцией отечественного сельского хозяйства (за исключением производства сигарет, изделий из рыбы и, частично, хлебобулочных изделий и кондитерских изделий).

Производство молочных изделий (молочная промышленность) – важнейшая отрасль пищевой промышленности Республики Беларусь, составляющая 28,6% в объеме производства продуктов питания, напитков и табачных

изделий (данные за 2019 год) [1]. Отрасль отличается экспортной ориентированностью: в 2019 году более 83,5% произведённой молочной продукции экспортировалось [2].

Ёмкость внутреннего рынка молочных изделий оценивается в 900 - 1000 тыс. т. Розничные продажи сливочного масла в 2014 - 2019 годах составляли от 25 до 36 кг на человека в год, сыров – 39-45 кг. По статистике, 95,3% жителей Беларуси потребляют молоко, 66,2% – кефир, 63,7% – сметану, 55,6% – творог, 32% – йогурты, 23% – сырково-творожные изделия, 8,6% – ряженку, 5,8% – кисломолочные продукты, 3,9% – молочные десерты [2]. На рисунке 1 указаны данные по производству цельномолочной продукции в пересчёте на молоко (тыс. т в год) [1].

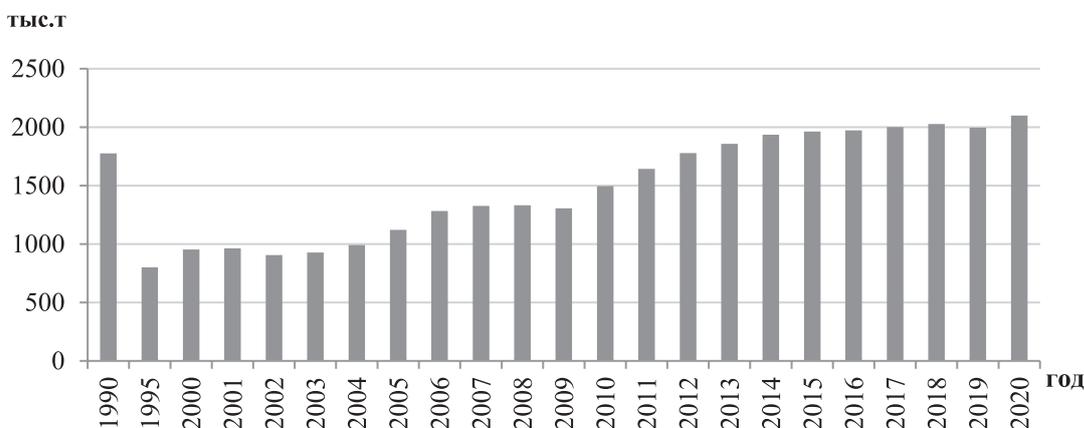


Рис. 1 – Производство цельномолочной продукции в пересчёте на молоко

Вода на предприятиях молочной промышленности играет важную роль в различных аспектах. Все технологические процессы производства молока и молочных продуктов постоянно связаны с поддержанием контролируемого микробиоценоза. Такой контроль возможно осуществить лишь при условии систематической обработки технологического оборудования (емкости для хранения молока (сливок), авто- и железнодорожные цистерны, аппараты для выработки творожного сгустка и т.п.). Вода используется при этом как один из реагентов, наряду с сильными окислителями, поверхностно-активными веществами, содой, едким натром. Холодная вода используется как растворитель моющих средств и, что очень важно, как средство для заключительного ополаскивания посуды, тары, оборудования. Горячую воду и пар применяют в качестве самостоятельных средств, не имеющих равноценной замены на определенных этапах обработки. Поэтому нарушение их подачи или изменение требуемой температуры неизбежно приводит либо к перебоям в работе предприятия, либо к некачественной подготовке оборудования и тары [3].

По расходу воды молочная промышленность занимает одно из ведущих мест среди пищевой и перерабатывающей отрасли (таблица 1) [4].

Таблица 1 – Среднегодовые удельные показатели расхода воды и сброса сточных вод в пищевой и перерабатывающей промышленности

Отрасль	Единица измерения	Среднегодовой расход воды	Объем сточных вод
Мясная	м <sup>3</sup> /т мяса	14,8-24,2	12,0-19,3
Молочная	м <sup>3</sup> /т молока	5,0	4,8
Сахарная	м <sup>3</sup> /т свеклы	2,49	1,7
Картофелекрахмальная	м <sup>3</sup> /т картофеля	10,62	9,57
Спиртовая	м <sup>3</sup> /т дал спирта	1,5-2,5	1,1-2,0
Хлебопекарная	м <sup>3</sup> /т хлеба	3,1-4,6	1,8-2,7

Поддержание чистоты в помещениях цехов и на территории предприятия может быть обеспечено также лишь при достаточном и надежном водоснабжении.

В ряде технологических процессов вода используется в качестве сырья, например при восстановлении сухого молока, или входит в непосредственный контакт с молочным продуктом (составление рассола для сыра, промывка масла, полученного способом сбивания).

Итак, нормальное протекание технологических процессов на предприятиях молочной промышленности во многом зависит от достаточного, бесперебойного водоснабжения [3]. При этом следует отметить, что дополнительные трудности в организации водоснабжения связаны с неравномерным периодическим режимом водопотребления, и перебой в подаче горячей, холодной воды и пара могут привести к порче продукции.

Технологическому нормированию водопотребления и водоотведения подлежат многие виды экономической деятельности, в отношении которых в обязательном порядке разрабатываются технологические нормативы в соответствии с ТКП 17.02-13/1-2015 (33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Технологические нормативы. Часть 1. Расчет технологических нормативов водопользования» [5]:

1. Производство пищевых продуктов, включая напитки;
2. Выделка и крашение меха;

3. Дубление и отделка кожи;
4. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них;
5. Производство кокса, нефтепродуктов и ядерных материалов;
6. Химическое производство и т.д.

Разработанные для данных видов экономической деятельности нормативы подлежат пересмотру каждые 5 лет. Для примера расчета индивидуального технологического норматива мы используем данные предприятия молокоперерабатывающей отрасли.

Данное предприятие является одним из передовых в молочной отрасли Республики Беларусь, базирующимся на производстве сыров и выпускающим более 150 наименований молочной продукции из натурального высококачественного отборного молока.

За 2019 год предприятие переработало 125000 тонн молока. Основным продуктом переработки молока на предприятии является сыр, творог и масло. Для каждого продукта установлено расчетное водопотребление и нормы расхода воды в зависимости от вида технологического процесса, для функционирования которого необходима регулярная подача воды.

С использованием исходных данных предприятия мы провели расчет индивидуальных технологических нормативов водопотребления и водоотведения для производственных нужд предприятия на единицу переработанного молока, расход для хозяйственно-бытовых нужд и безвозвратные потери воды (таблица 2).

*Таблица 2 – Расчет индивидуальных технологических нормативов водопотребления и водоотведения для производственных нужд предприятия на единицу основной продукции*

Виды объема полученной и отведенной воды	Проектное значение, м <sup>3</sup> /год	Индивидуальный технологический норматив, м <sup>3</sup> /т молока	
		Норматив водопотребления, м <sup>3</sup> /т молока	Норматив водоотведения, м <sup>3</sup> /т молока
1. Расход воды на нужды основного производства, м <sup>3</sup> /год:	809000	2,91	3,56
1.1. Водопотребление	363900		
1.2. Водоотведение	445100		
2. Расход воды на хозяйственно-бытовые нужды, м <sup>3</sup> /год:	44200		
2.1. Водопотребление	24200		
2.2. Водоотведение	20000		
3. Объем воды, независимой от производства продукции, м <sup>3</sup> /год:	317800		
3.1. Водопотребление	201100		
3.2. Водоотведение	116700		
4. Безвозвратные потери воды, м <sup>3</sup> /год	361700		

На основании результатов проведенных расчетов была составлена нормативно-расчетная балансовая таблица объемов водопотребления и водоотведения с учетом объемов безвозвратных потерь воды (таблица 3).

*Таблица 3 – Балансовая таблица водопотребления и водоотведения*

Назначение	Объем водопотребления		Объем водоотведения	
	м <sup>3</sup> /сутки	тыс. м <sup>3</sup> /год	м <sup>3</sup> /сутки	тыс. м <sup>3</sup> /год
Хозяйственно-бытовые нужды	66,7	24,2	60,7	22,0
Нужды основного производства	996,9	363,9	1219,6	445,1
Нужды, не зависящие от производства продукции	551,1	201,1	319,7	116,7
<b>Всего:</b>	<b>1614,7</b>	<b>589,2</b>	<b>1600,0</b>	<b>583,8</b>

Для анализа объемов водопотребления и водоотведения, а также эффективного управления водными ресурсами на предприятии разработали балансовую схему (рисунок 2).

По результатам составления балансовой схемы водопотребления и водоотведения видно, что предприятие молочной промышленности потребляет воду в больших количествах и для различных целей. Однако рассчитанные нами индивидуальные нормативы водопотребления и водоотведения оказались несколько ниже литературных данных, что можно объяснить использованием более совершенных технологий переработки молока, а также внедрением оборотных систем водоснабжения. Основной объем потребляемых вод используется для нужд основного производства (215 тыс. м<sup>3</sup> в год или 55,4%) и для подпитки системы оборотного водоснабжения (112,8 тыс. м<sup>3</sup> в год или 29,1%).

Около 27 % используемой воды от общего объема относятся к безвозвратным потерям. Для сокращения потерь воды и уменьшения потребления на производственные нужды, необходимо изучить причины потерь, а также рассмотреть возможности повторного использования воды. В частности, рассмотреть возможность очистки сточных вод и использование их для нужд, не связанных с производством продукции.

**Балансовая схема водопотребления и водоотведения на предприятии  
молочной промышленности**  
(тыс. куб. м в год)

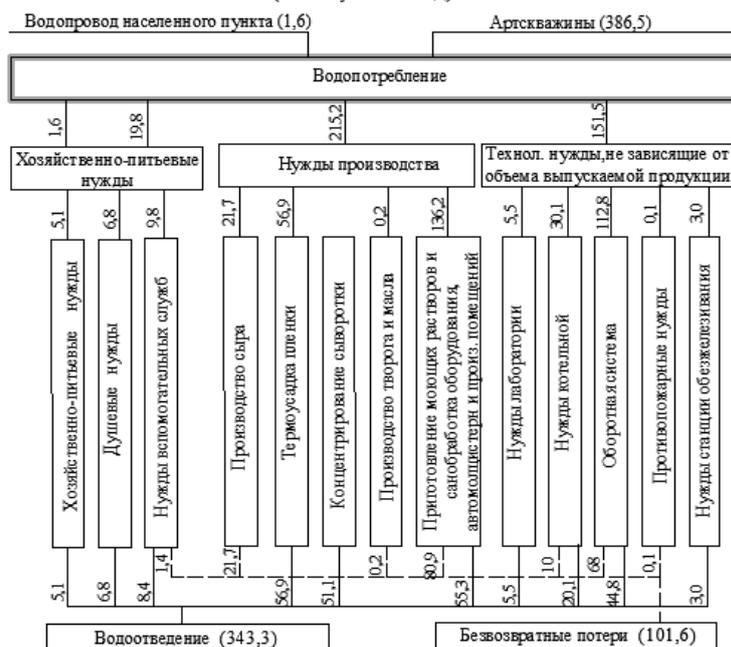


Рис. 2 – Балансовая схема водопотребления и водоотведения предприятия молочной промышленности (тыс. м³/год)

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Промышленность Республики Беларусь, 2020: статистический сборник. – Мн.: Белстат, 2020. – С. 22.
2. Молочная отрасль / Юнитер: [электронный ресурс]. – URL: [uniter.by/upload/Dairy\\_industry.pdf](http://uniter.by/upload/Dairy_industry.pdf) (дата обращения: 28.02.2021).
3. Вода в молочной промышленности / ООО «Роспайп»: [электронный ресурс]. – URL: [https://ros-pipe.ru/tekh\\_info/tekhnicheskie-stati/vodoprovodnye-sistemy-i-oborudovanie/otraslevye-resheniya/voda-v-molochnoy-promyshlennosti/](https://ros-pipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/vodoprovodnye-sistemy-i-oborudovanie/otraslevye-resheniya/voda-v-molochnoy-promyshlennosti/) (дата обращения: 28.02.2021).
4. Жмыхов, И. Н. Основы экологии / И. Н. Жмыхов, А. А. Челноков, Л. Ф. Ющенко. – Минск: Вышэйш. шк., 2012. – 700 с.
5. ТКП 17.02-13/1-2015 (33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Технологические нормативы. Часть 1. Расчет технологических нормативов водопользования».

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КАЧЕСТВА ВОДОЕМОВ  
В УСЛОВИЯХ ЭВТРОФИКАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ СЕРЕТ, УКРАИНА)  
ASSESSMENT OF THE STATE OF WATER QUALITY DUE TO EUTROPHICATION  
CONDITIONS (ON THE EXAMPLE OF THE SERET RIVER, UKRAINE)**

**Л. Я. Федонюк, Е. И. Скиба, О. М. Ярема, Е. Мочук\***  
**L. Ya. Fedonyuk, O. I. Skyba, O. M. Yarema, E. Mochuk\***

Тернопольский национальный медицинский университет  
имени И. Я. Горбачевского МЗ Украины, г. Тернополь, Украина  
\*Жешовский политехнический университет, г. Жешов, Польшая Республика  
[jaremaom@tdmu.edu.ua](mailto:jaremaom@tdmu.edu.ua)

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University  
Ministry of Health of Ukraine, Ternopil, Ukraine  
\*Rzeszow Polytechnic University, Rzeszow, Republic of Poland

Оценено экологическое состояние реки Серет с помощью изучения физико-химических показателей водоема (содержания растворенного кислорода, температуры воды), биогенных веществ (соединений фосфора)

и сопоставление их с литературными данными развития фитопланктона, в частности синезеленых водорослей водоемов. Показано, что увеличение концентрации фосфора в водоеме способствует увеличению биомассы фитопланктона, а при снижении содержания фосфатов численность фитопланктона снижается, что может быть следствием повышенного антропогенного воздействия на водоем. Зафиксировано развитие эвтрофикационных процессов в р. Серет, которые возможно предупредить уменьшением поступления загрязняющих веществ в реку и соблюдением санитарных правил на водозаборе.

The ecological state of the Seret River was assessed by studying the physicochemical parameters of the river reservoir (the content of dissolved oxygen, water temperature), biogenic substances (phosphorus compounds) and comparing them with the literature data on the development of phytoplankton, in particular, blue-green algae. It is analyzed that an increase in the concentration of phosphorus in the reservoir contributes to an increase in the biomass of phytoplankton, and with a decrease in the content of phosphates, the number of phytoplankton decreases, which may be a consequence of an increased anthropogenic impact on the reservoir. The development of eutrophication processes in the Seret River was established, which can be prevented by a decrease in the flow of pollutants into the river and compliance with sanitary rules at the water intake.

*Ключевые слова:* гидроэкосистема, растворенный кислород, температура воды, фосфаты, фитопланктон, синезеленые водоросли, антропогенное загрязнение.

*Keywords:* hydroecosystem, dissolved oxygen, water temperature, phosphates, phytoplankton, blue-green algae, anthropogenic pollution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-220-223>

В современных условиях экосистемы рек испытывают значительное влияние природных и антропогенных факторов, негативно влияющих на потенциал самоочищения природных вод. Русловые процессы и общее состояние средних и малых рек в настоящее время в меньшей степени зависят от природных факторов, а в большей – хозяйственной деятельности на площади водосбора. Особенно интенсивному воздействию подвергаются реки, протекающие через урбанизированные комплексы [1, 2].

В условиях антропогенной эвтрофикации в водоемах резко увеличивается концентрация биогенных элементов, среди которых наибольшее значение для гидробионтов имеют соединения фосфора. С одной стороны, фосфор является необходимым элементом, который определяет производительность водного объекта, а с другой – избыток соединений фосфора в водоемах приводит к повышению уровня трофности водоема и к последующей ее деградации вследствие бурного развития в нем растительных организмов. При этом активное размножение водорослей и цианобактерий вызывает цветение воды, что приводит к дефициту кислорода и заиливанию почв водоемов.

Эвтрофикация – это естественный процесс старения водоемов, который длится века. В водных объектах, подверженных антропогенному воздействию, процессы эвтрофирования стремительно ускоряются: существенно изменяются физико-химические свойства водной среды, повышается содержание биогенных и органических веществ, снижается уровень насыщения воды кислородом, в придонных слоях формируются анаэробные зоны, растет мутность и уменьшается прозрачность воды. Эвтрофикация свидетельствует о нарушении экологического равновесия и впоследствии приводит к деградации речных экосистем. Нарушается естественная способность рек к самоочищению, саморегуляции, формированию биотических связей, параметров качества воды, ухудшается состояние их экосистем [1-3].

Содержание фосфора в среде относится к числу важных факторов, определяющих количественные показатели развития фитопланктона и его видовой состав. Сезонные изменения численности и биомассы фитопланктона определяются влиянием на водоросли сложного комплекса внешних условий, прежде всего освещения, температуры, содержания в воде биогенных элементов, органических веществ и др. [2].

Поэтому, чтобы предупредить негативные изменения, вызванные урбанизационными процессами, в частности загрязнением, нужно исследовать взаимосвязи между фосфорными соединениями, основными гидрохимическими и гидрофизическими показателями водоема и развитием фитопланктона, в частности синезеленых водорослей.

Целью работы было оценить экологическое состояние реки Серет с помощью изучения физико-химических показателей водоема (содержания растворенного кислорода, температуры воды), биогенных веществ (соединений фосфора) и сопоставления их с литературными данными развития фитопланктона, в частности синезеленых водорослей водоемов.

Методы исследования: теоретические (обработка научной и научно-популярной литературы по исследуемому вопросу), математические методы обработки полученных результатов, методы анализа полученных результатов исследований лаборатории Тернопольского национального педагогического университета им. В. Гнатюка.

Концентрацию растворенного в воде кислорода считают индикатором экологического состояния водоемов, поскольку достаточное его количество или дефицит существенно влияет на жизнедеятельность многих групп гидробионтов, а также на интенсивность и направленность окислительно-восстановительных процессов. В поверхностных водах содержание растворенного кислорода меняется в широких пределах (от 0 до 14 мг / дм<sup>3</sup>) и имеет сезонные колебания, зависящие от интенсивности его выработки и потребления [3, 4].

Для определения в водоеме реки Серет содержания растворенного кислорода осуществляли отбор проб воды при устойчивых погодных условиях, после того, как получили представление о размерах, конфигурации, глубине и морфометрии водоема. Для отбора воды использовали пластиковые пробоотборники объемом 1 дм. Перед тем, как взять пробу, посуду несколько раз ополаскивали водой, которую должны отбирать. Каждую пробу фильтровали через плотный бумажный фильтр на месте ее отбора [5, 7]. После доставки проб в лабораторию ТНПУ им. В. Гнатюка в пробах воды определяли содержание растворенного кислорода с помощью кислотомера АЖА-101М.

Для реки характерна следующая динамика изменений концентраций растворенного кислорода: уменьшение с апреля по май, повышение в июне, снижение в летние месяцы и рост осенью. Максимальные значения растворенного кислорода в апреле свидетельствуют об интенсивности фотосинтеза, вызванного значительным прогревом воды и развитием фитопланктона в водоеме. Низкие концентрации кислорода в летние месяцы, обусловленные длительными дождями, когда с площади водосбора в реки поступает большое количество гуминовых веществ, на окисление которых необходимо значительное количество растворенного в воде кислорода. При длительном дефиците кислорода из ила в водную среду переходят органические вещества, количество которых увеличивается за счет отмирания фитопланктона осенью, в результате чего в воде возрастает количество растворенного кислорода [1-4].

Во время отбора проб воды из водоема температуру измеряли ртутным термометром с ценой деления 0,1-0,5 °С. Термометр закрепляли так, чтобы ртутный резервуар находился на глубине 0,3-0,5 м, выдерживали там 8-10 мин. и фиксировали температуру сразу же после его подъема.

Увеличение развития фитопланктона, в частности сине-зеленых водорослей, напрямую зависит от увеличения температуры воды и чаще всего прослеживается в июле (максимум развития цветения водорослей) и уменьшением в октябре (минимум развития сине-зеленых).

Для определения концентрации в воде фосфора фосфатов использовали фотометрический метод молибдата аммония ( $\text{NH}_4$ )  $2\text{MoO}_4$ , основанном на взаимодействии ортофосфата с молибдатом аммония в кислой среде (рН 0,80-0,95) в присутствии сурьмяновиннокислого калия с образованием фосфорно-молибденовой гетерополикислоты, которая при восстановлении образует «молибденовую синь». Как восстановитель использовали аскорбиновую кислоту. Оптическую плотность растворов измеряли при  $\lambda = 690$  нм (красный светофильтр) [2].

Прослежено повышение концентрации фосфатов с апреля по май, значительное снижение в июне, повышение в июле, значительный рост в августе, минимальные концентрации в сентябре и повышение в октябре.

Как известно [5] чаще всего вследствие «цветения» воды интенсивно развиваются синезеленые водоросли, которые занимают доминирующее положение в гидробиоценозах. Во-первых, синезеленые водоросли обладают колоссальным потенциалом размножения: за вегетационный период (примерно 70 дней) одна клетка может дать 1020 потомков, в то время как среди жителей фауны водоема практически нет животных (беспозвоночных, рыб), которые бы активно потребляли синезеленые водоросли и способствовали регулированию их численности. Во-вторых, клетки синезеленых водорослей выработали в течении многомиллионной эволюции высокую устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды - резких перепадов температуры и освещенности, обезвоживания, наличия различных химических соединений и т.д. Одной из адаптаций, защищающей клетки, является слизь, которая покрывает их чехлом и защищает от вредных воздействий. В-третьих, наиболее благоприятным условием для размножения сине-зеленых водорослей принадлежит низкое содержание кислорода. Не угнетает синезеленые водоросли и высокая концентрация в воде органических соединений. Они прекрасно себя чувствуют в этом «узваре», поскольку для них характерен миксотрофизм, или смешанный тип питания.

Минимальные показатели фосфатов в исследуемом водоеме зафиксированы в сентябре, что связано с большим количеством осадков и значительным в результате этого поверхностным стоком. Кроме того, большое количество подвижной формы фосфора переходит в валовую (неподвижную) и оседает на дне водоемов.

Осеннее повышение содержания фосфатов связано с высвобождением фосфора из отмершего фитопланктона.

Проанализировано также, что увеличение концентрации фосфора в водоеме способствует увеличению биомассы фитопланктона, а при снижении содержания фосфатов численность фитопланктона снижается, что может быть следствием повышенного антропогенного воздействия на водоем.

Водоем реки Серет находится в большой степени под влиянием антропогенной нагрузки, что проявляется в достаточно низкой концентрации растворенного кислорода. Изучение сезонной динамики содержания растворенного кислорода и фосфатов показало, что, несмотря на неоднородность климатических и гидрологических условий в гидроэкосистемах и их географическое расположение, со снижением концентрации кислорода увеличивается концентрация фосфатов и наоборот.

Установлено, что весной между содержанием растворенного кислорода и фосфатами в воде установлена прямая взаимосвязь, что обусловлено началом фотосинтетической активности высших водных растений и водорослей и прямым поступлением фосфатов в водоем из разных источников. Летом и осенью кислород расходуется на окисление гуминовых и других веществ, а содержание фосфатов увеличивается за счет их поступления из донных отложений.

Изменение показателей температуры влияет на изменение химических показателей воды, которые, в свою очередь, регулируют содержание фосфатов в воде. В частности, рост температуры весной и летом тесно связан с увеличением содержания фосфатов в воде вследствие роста количества растворенного кислорода и постепенного процесса окисления [2].

Динамика развития фитопланктона влияет на изменения концентрации фосфатов в воде. С началом вегетации водорослей весной содержание фосфатов несколько снижается, однако выравнивается за счет поступления их из внешних источников. В начале лета, когда происходит активная вегетация фитопланктона, содержание фосфатов снижается, однако до конца сезона выравнивается за счет поступления их из органического вещества. Осенью водоросли практически завершают свою жизнедеятельность, тем самым регулируя увеличение или уменьшение содержания фосфатов в водоеме.

Результаты исследований [3] позволяют утверждать, что фосфаты, попав в водную среду, негативно влияют как на отдельных представителей биоты, так и гидроэкосистемный уровень. Самым опасным явлением является эвтрофикация. Умеренная эвтрофикация в целом положительно влияет на биологические показатели водоемов, в частности на рыбопродуктивность. При загрязнении природных вод поверхностно-активными веществами и другими соединениями, в частности фосфатами, биологическая продуктивность водоемов, как правило, падает, снижается жизнедеятельность многих организмов, исчезают отдельные уровни трофических цепей, и в конечном итоге отмирают целые экосистемы.

Проанализировано, что на исследуемом участке р. Серет превосходящие значение эколого-санитарных показателей качества воды изменяются в диапазоне «предельно чистая» (разряд 1) – «грязная» (разряд 5а). По насыщенности кислородом, содержанием нитратного азота и окраской вода чаще всего бывает «предельно чистой» (разряд 1), «очень чистой» (разряд 2а) и «полностью чистой» (разряд 2б). Взвешенные вещества, содержание фосфатов и аммонийного азота колеблются в зависимости от сезонов от величин, характерных для «слабо загрязненных» (разряд 3б) до «в меру и сильно загрязненных» (разряд 4а и 4б), по значениям рН воды и БПК5 вода соответствует в большинстве случаев «по мере загрязненным» (разряд 4а) – «грязным» (разряд 5а) водам [4].

Согласно исследованиям [5] наибольшим видовым богатством и количественными показателями в р. Серет характеризовались отделы *Vacillariophyta* и *Chlorophyta*; не меньшую долю занимали и *Cyanophyta* (сине-зеленые водоросли), которые в наибольшей степени провоцируют развитие эвтрофикационных процессов в водоемах.

По значению индекса сапробности реку Серет отнесли к  $\beta$ -мезосапробной зоне (умеренно загрязненная вода) [5].

Итак, анализ полученных данных (содержания фосфатов и физико-химических показателей) и сопоставление их с литературными данными развития фитопланктона в водоеме свидетельствует о развитии эвтрофикационных процессов, который возможно предупредить уменьшением поступления загрязняющих веществ в реку и соблюдение санитарных правил на водозаборе.

Уровень антропогенной нагрузки влияет на основные физико-химические и гидрохимические показатели реки Серет (содержание растворенного кислорода, температура воды), что, в свою очередь, негативно сказывается на содержании фосфатов. Водоем характеризуются низкими концентрациями растворенного кислорода в воде, со снижением которого увеличивается концентрация фосфатов и наоборот.

Установлено, что с повышением температуры воды реки увеличивается концентрация фосфатов и наоборот, а увеличение развития фитопланктона, в частности синезеленых водорослей, напрямую зависит от увеличения температуры воды.

Установлено, что степень загрязненности соединениями фосфора водоемов Тернополя умеренно высокая. Это обусловлено значительными сбросами загрязненных сточных вод предприятиями жилищно-коммунального хозяйства и перерабатывающей промышленности, а также несовершенным функционированием очистных сооружений города и их устарелостью.

Показано, что увеличение концентрации фосфора в водоеме способствует увеличению биомассы фитопланктона, а при снижении содержания фосфатов численность фитопланктона снижается, что может быть следствием повышенного антропогенного воздействия на водоем.

Зафиксировано развитие эвтрофикационных процессов в р. Серет, которые возможно предупредить уменьшением поступления загрязняющих веществ в реку и соблюдение санитарных правил на водозаборе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильчук Т.А., Осипенко В.П., Евтух Т.В. Особенности миграции и распределения основных групп органических веществ в воде Киевского водохранилища в зависимости от кислородного режима / Т.А. Васильчук, В.П. Осипенко, Т.В. Евтух // Гидробиологических журнал. - 2010. - 46(6). С.105-115.
2. Методика выполнения измерений «Поверхностные и очищенные сточные воды. Методика выполнения измерений массовой концентрации растворенных ортофосфатов фотометрическим методом» //МВВ081/ 12-0005-01 от 16.11.2001. – 17 с.
3. Прокопчук А. И. Взаимосвязь содержания фосфатов с физико-химическими параметрами воды в реках Тернопольщины с разным типом антропогенного воздействия // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference «Innovative Technologies in Science». - 2017. - 3 (19). С.16-19.
4. Прокопчук А.И., Грубинко В.В. Фосфаты в водных экосистемах / А.И. Прокопчук, В.В. Грубинко // Научные записки Тернопольского национального педагогического университета имени Владимира Гнатюка. Сер. Биология. – 2013. – 3 (56). – С. 78-85.
5. Прокопчук Е. И. Фитопланктон малых рек Тернопольской области и связь его количественных показателей с содержанием фосфора в воде //Гидробиологических журнал. 2017. Т. 53, № 3. – С. 41-49.

# OPTIMIZATION OF AIR POLLUTION IN BEIJING FROM MOBILE SOURCES

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ПЕКИНЕ ОТ МОБИЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

*Zhang E, Gao Shuai, Zhao Xiaofeng, Xu Shiyi, Hu Xinyue, Fang Jun, Luo Lantianzi,  
Dong Wenwen, Pang Yuting, U. Kapitsa\**

*Чжан Э, Гао Шуай, Чжао Сюафен, Сюй Шиуи, Ху Синьюэ, Фан Цзюнь, Ло  
Ланьяньцзы, Дун Вэньвэнь, Пан Юйтин, В. Копиця\**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
\*v\_kapitsa@iseu.by*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

In recent years, due to active economic development, the growth in the number of vehicles, China has faced serious environmental pollution, especially the problem of air pollution in cities is becoming more and more serious. Air quality in many large cities has deteriorated due to emissions of NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and CO<sub>x</sub> from vehicle exhaust gases and the subsequent formation of photochemical smog. Urban air pollution affects urban health and urban development. With regard to air protection, the Chinese government is implementing many programs. Using the example of Beijing, this article proposes a method for optimizing urban air protection.

В последние годы в связи с активным экономическим развитием, ростом количества автотранспорта Китай столкнулся с серьезным загрязнением окружающей среды, особенно проблема загрязнения воздуха в городах становится все более серьезной. Качество воздуха во многих крупных городах ухудшилось из-за выбросов NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> и CO<sub>x</sub> из автомобильных выхлопных газов и последующим образованием фотохимического смога. Загрязнение воздуха в городах влияет на здоровье городских жителей и развитие городов. В отношении защиты воздушной среды правительство Китая реализует множество программ. На примере Пекина в этой статье предлагается метод оптимизации защиты городского воздуха.

*Key words:* China; city; urban air quality; air pollutants; mobile sources; air pollution; vehicle exhaust gases.

*Ключевые слова:* Китай; город; качество городского воздуха; загрязнители воздуха; мобильные источники загрязнения; загрязнение воздуха; автомобильные выхлопные газы.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-224-226>

### Introduction

China's rapid economic growth, industrialization, urbanization and development of China's annual GDP growth rate of 8 to 9% [1]. Since the reform and opening up, China has made rapid progress in urbanization. With the rapid increase of automobile consumption and the average annual increase of fuel consumption of 6%, the concentration of SO<sub>x</sub>, CO and related pollutants in urban air has increased [2]. Increasing energy consumption and motor vehicles have increased the burden of Beijing's atmospheric environment, and urban air pollution is rapidly emerging as a major environmental problem.

#### **Analysis environmental problems air pollution and protection for Beijing**

Beijing is the center of international exchanges of political and cultural interests, and also a famous historical and cultural city in the world. The environmental situation of Beijing is the focus of people at the China and abroad. The quality of Beijing urban environment directly reflects the importance of the state on urban environmental problems and the efforts to solve it. At present, the urban environmental problems in Beijing mainly exist in the following aspects: urban soil pollution, urban waste, air pollution, water pollution and other aspects. Among various environmental factors, the air pollution is particularly prominent.

The main causes of air pollution in Beijing are as follows:

#### **1. With the rapid development of economy and society, the total amount of air pollutants is increasing**

The important indicators of economic and social development, such as population, motor vehicles, energy consumption and construction, are closely related to air pollution.

In terms of population, Beijing has a large base and a rapid growth rate. To 2021, the permanent population of the city reached 21.54 million, and there were also 4 or 5 million floating population. So many people are mainly concentrated in the plain area of more than 6000 square kilometers, and the population density is too high. According to the outline of the Beijing Tianjin Hebei coordinated development plan, Beijing will strictly control the new population and drive population control with functional dissolution.

Beijing has a large number of vehicles and their quantity has grown rapidly. According to the statistical bulletin of national economic and social development in 2020, by the end of 2020, the number of motor vehicles in Beijing has exceeded 6.57 million, an increase of 25000 over the end of last year. The consumption of gasoline and diesel fuel also increased rapidly.

According to the analysis of PM<sub>2.5</sub> source in Beijing, the air pollution in Beijing is composed of 31.1% of motor vehicles, 22.4% of coal, 18.1% of industrial production, 14.3% of dust, 14.1% of catering, automobile maintenance, animal husbandry and architectural coating. The main source of air pollution in Beijing is the mobile source emission represented by motor vehicles, while in the mobile source emissions, heavy diesel vehicles are the highest.

## **2. Pollution transmission in surrounding areas has a great impact**

The surrounding areas of Beijing are in the period of accelerating industrialization and urbanization. Beijing, Tianjin and Hebei and its surrounding areas are highly concentrated in heavy chemical industry. The energy utilization mode mainly based on coal and the freight transportation mode mainly by road in the region lead to the high emission of main air pollutants in the region. The discharge of major pollutants per unit land area is 2-5 times of the national average level, and different pollutant discharge multiple is different. Except for sulfur dioxide, the emission of major pollutants in the region exceeds more than 50% of the environmental capacity, and in some cities, it even exceeds 80% - 150%. In addition, the main pollutants emissions in autumn and winter are increased by about 30% more than usual due to heating.

## **3. The geographical and meteorological conditions are not conducive to the diffusion of pollutants.**

Beijing is located in the northwest end of North China Plain, surrounded by mountains on three sides. Only in the southeast is plain, the terrain is typical “dustpan” and the air pollutants are not well distributed. At the same time, Beijing is an inland megacity, not coastal, semi humid and semi-arid climate, with less precipitation and annual average annual precipitation of less than 450 mm, which is not conducive to the settlement of air pollutants. The number of days of extreme adverse weather conditions such as high temperature, high humidity, static wind inversion and so on, accounts for about 20% of the total year. Especially in autumn and winter, it is easy to appear continuous static and stable fog weather. PM<sub>2.5</sub> in air accumulates rapidly, and the concentration rises sharply, which causes heavy air pollution. Beijing’s air pollution has a great impact on Beijing’s climate. The pollutants emitted by air pollution will have a certain impact on the local and global climate, especially on the global climate. In the long run, the consequences of this impact will be very serious.

The first is an increase in the amount of carbon dioxide in the atmosphere. Fuel contains all kinds of complex components, which produce all kinds of harmful substances after combustion. Even if the fuel without impurities is completely burned, it will also produce water and carbon dioxide. It is precisely because fuel combustion increases the concentration of carbon dioxide in the atmosphere, destroys the balance of carbon dioxide in nature, and may even lead to the “greenhouse effect”, causing the earth’s temperature to rise.

Harmful substances in the atmosphere can also invade the human body and cause harm, mainly through the following three ways: entering the human body through direct breathing; attaching to food or dissolving in water, making it invade the human body with diet; entering the human body through contacting or stimulating the skin. Among them, the main way is to invade the human body through breathing, and the harm is also the biggest. The harm of air pollution to people can be roughly divided into acute poisoning, chronic poisoning and carcinogenesis.

In the past 2020, Beijing has achieved good results in air pollution control. In 2020, PM<sub>2.5</sub> and other four major pollutants in Beijing’s atmospheric environment were significantly improved over the same period of the previous year. The average annual concentration of PM<sub>2.5</sub> was 38  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , reaching the “30 +” level for the first time, with a year-on-year decrease of 9.5%; the inhalable particulate matter (PM<sub>10</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) reached the national secondary standard for two consecutive years; the average annual concentration of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) reached the national standard and maintained single digit water level Flat.

The improvement of air quality in Beijing has made a landmark and historic breakthrough. The average annual concentration of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in the atmospheric environment has achieved “30 +” for the first time, reaching 38  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , achieving the goal of the 13th five year plan, and the three-year action plan of the blue sky battle has been successfully concluded. Beijing’s air pollution control experience has been included in the “practice case” of the United Nations Environment Program, which provides reference for other cities in the world, especially for cities in developing countries.

## **Propose methods for optimization air protection in the city (industrial, transport, city planning optimization)**

Through multiple analyses, it is concluded that the main factors affecting Beijing’s air quality are excessive emissions from coal burning, motor vehicles, industry and dust. In 2013, the coal is an important part of Beijing’s energy, accounts for 23.3% of the total primary energy consumption, such as power generation is given priority to with coal, there are a lots of coal-fired boiler outer suburbs, residents generally used coal heating, sulfide, nitrogen oxides and particulate matter from the burning of coal soot pollution had a great influence on air quality. Motor vehicle emissions are the main source of primary pollutants such as CO and NO<sub>2</sub> and secondary pollutants such as PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub>. In 2013, the number of motor vehicles in the city was 5.437 million, and there were tens of millions of vehicles (sub-vehicles) outside the city. In the face of a large number of fuel vehicles, there is also the problem of insufficient regulation of vehicle pollution emissions. In terms of industrial structure, the output value of the secondary industry in Beijing accounted for 21.7% of the total GDP in 2013.

Since 2013, Beijing has implemented the Clean Air Action Plan, and the air pollution control strategy has gradually shifted from terminal control to whole-process control. From concentration control to concentration and total. Turn from paying attention to enterprise management to pay equal attention to enterprise management and area and industry management. The focus has shifted from government control to social co-governance, sticking to the problem-oriented approach, focusing on reducing coal burning, controlling vehicles and reducing fuel, reducing pollution, cleaning and dust. Through systematic planning, regional coordinated governance, energy and industrial restructuring, and public participation, we have taken extraordinary measures to promote air pollution prevention and control. As a result, the pace of air pollution control has been accelerated, and remarkable results have been achieved in improving air quality.

#### **The methods for optimization air protection in the city transport**

The principles “Control cars and reduce fuel” leads the country to strategy of improving vehicle, oil, road as the guide. Using “public transport the first, strict standards, control the total amount, structural adjustment” as the principle, optimize the city’s vehicle structure. The Beijing has the leader position in the country in implementation vehicle emissions standards, innovating to control the total number of motor vehicles, accelerating the promotion and use of new-energy vehicles. In the 12th Five-Year Plan period, a total of 1.832 million old motor vehicles were eliminated and taking the lead in phasing out yellow-label vehicles.

Starting Feb. 15, 2017, Beijing has begun restricted light gasoline vehicles with China I and II emission standards from the city and other cities from driving within the Fifth Ring Road on weekdays, a move that will effectively reduce emissions of nitrogen oxides and volatile organic compounds (VOCs) from vehicles, in another step in the capital’s efforts to clean up air pollution. Beijing has also introduced subsidies to encourage car owners to replace old, high-emission vehicles [4].

#### **REFERENCES**

1. National Bureau of Statistics, China Statistical Yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2000, - 425 p.
2. National Bureau of Statistics, China Energy Statistical Yearbook (1991-1996) .Beijing: China Statistics Press, 1997. – 395 p.
3. *Xu Jing*. Statistical analysis on the differences and causes of air pollution in different districts of Beijing/ Jing Xu, Yuan Ly. - Coal economy in Inner Mongolia, 2016, V 10, P 70-71.
4. *Cui Yujing*. Development trend and Countermeasures of environmental conditions in Beijing/ Yujing Cui, Xuhong Zhang. - Journal of Beijing City University, 2019, V. 6, P. 34-41.
5. *Hui Li*. Characteristics and influencing factors of “2 + 26” urban air quality in Beijing Tianjin Hebei and its surrounding areas/ Li Hui, Wang Shulan, Zhang Wenjie, et al. - . Environmental science research, 2021, V 34 (01): P. 172-184.

### **МОНИТОРИНГ ГЕЛЬМИНТОФАУНЫ МЕЛКИХ ГРЫЗУНОВ, НАСЕЛЯЮЩИХ БЕРЕГА МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ В СМЕШАННЫХ ЛЕСАХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ**

### **MONITORING OF HELMINTH FAUNA OF SMALL RODENTS LIVING ON THE BANKS OF MELIORATIVE CHANNELS IN MIXED FOREST OF BELORUSSIAN POLESIE**

***В. В. Шумалов***

***V. V. Shimalov***

*Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина,*

*г. Брест, Республика Беларусь*

*Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,*

*г. Брест, Республика Беларусь*

*shimalov@rambler.ru*

*Brest State University named after A.S. Pushkin, Brest, the Republic of Belarus,*

*The Polesie Agrarian Ecological Institute of the NAS of Belarus, Brest, the Republic of Belarus*

Представлены результаты проведенного в 2015–2016 гг. мониторинга гельминтофауны мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов в смешанных лесах западной части Белорусского Полесья (Брестское Полесье). Было поймано 117 экземпляров зверьков 3-х видов. Заражены гельминтами 72,3 % рыжих полевок и 60,0 % желтогорлых мышей. Всего обнаружено 17 видов гельминтов (2 вида трематод, 7 видов цестод, 8 видов нематод). У рыжих полевок было найдено 12 видов гельминтов, у желтогорлых мышей – 9 видов гельминтов. В заражении первых доминировала нематода *Heligmosomum mixtum* Schulz, 1954, а в заражении вторых – цестода *Skrjabinotaenia lobata* (Baer, 1925) и нематода *Syphacia frederici* Roman, 1945. У мелких грызунов выявлено 4 вида гельминтов, имеющих медико-ветеринарное значение.

The monitoring results of the helminth fauna of small rodents living on meliorative channel banks in the mixed forests of Western Belarusian Polesie (Brest Polesie) in 2015–2016 are presented. One hundred and seventeen specimens of three rodent species are caught. 72.3 % of red-backed voles and 60.0 % of yellow-necked mice are found infected by helminths. Seventeen helminth species (2 species of trematodes, 7 species of cestodes, 8 species of nematodes) are found. Twelve species of helminths are localized in red-backed voles, and nine species of helminths in yellow-necked mice. The nematode *Heligmosomum mixtum* Schulz, 1954 dominates in the infestation of red-backed voles, while the cestode *Skrjabinotaenia lobata* (Baer, 1925) and the nematode *Syphacia frederici* Roman, 1945 dominates in the infestation of yellow-necked mice. Four species of helminths identified in rodents are of medical and veterinary significance.

*Ключевые слова:* мониторинг, гельминты, мелкие грызуны, мелиоративные каналы, смешанный лес, Брестское Полесье.

*Keywords:* monitoring, helminths, small rodents, meliorative channels, mixed forest, Brest Polesie.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-226-230>

Проведенная в Белорусском Полесье в 60–80-х годах XX века крупномасштабная осушительная мелиорация привела к трансформации многих природных экосистем. Появившиеся мелиоративные системы с открытыми каналами до сих пор занимают значительную часть ландшафтов Полесской низменности. Они заселяются и посещаются многими животными, включая грызунов, за счет которых создаются и функционируют очаги гельминтозов, в том числе имеющие медико-ветеринарное значение.

С 1996 года нами на мелиоративных системах, расположенных в западной части Белорусского Полесья на территории Брестского, Жабинковского и Малоритского районов Брестской области (Брестское Полесье), проводится периодическое гельминтологическое исследование мелких грызунов, населяющих берега открытых каналов. Осуществлено 2 периода исследований: 1996–1999 гг. [1] и 2005–2010 гг. [2]. На берегах мелиоративных каналов, проходящих в смешанных лесах, на пахотных землях, выгонах и вдоль дорог, было отработано 15500 ловушко-суток (л-с), установлено обитание 13 видов мелких грызунов, у которых обнаружено 47 видов гельминтов. В первый период общая зараженность гельминтами этих зверьков (11 видов) составила 64,7 % [1], а во второй (10 видов) – 56,0 % [2]. Доминировали обыкновенные полевки и полевые мыши. На берегах каналов в смешанных лесах фоновыми видами были рыжие полевки (1 и 2 периоды) и желтогорлые мыши (1 период), на пахотных землях – обыкновенные полевки (1 период) и полевые мыши (1 и 2 периоды), на выгонах и у дорог – обыкновенные полевки (1 и 2 периоды). В заражении каждого вида грызунов преобладал свой специфический вид гельминтов. Так, например, у рыжих полевок – это нематода *Heligmosomum mixtum* Schulz, 1954, у обыкновенных полевок – цестода *Paranoplocephala omphalodes* (Hermann, 1783) и нематода *Syphacia nigeriana* Baylis, 1928, у полевых мышей – нематода *Heligmosomoides polygyrus* (Dujardin, 1845), у желтогорлых мышей – нематоды *H. polygyrus*, *Syphacia frederici* Roman, 1945 и *S. stroma* (Linstow, 1884), у лесных мышей – нематода *S. stroma*. Также установлено, что зараженность мелких грызунов гельминтами, имеющими медицинское значение, может достигать до 9,4 % [2]. Кроме этого, выявлено 6 видов гельминтов, имеющих ветеринарное значение, инвазирующих на различной стадии развития домашних собак, кошек и свиней [1, 2]. После первого периода исследований было предложено рассматривать каналы на мелиорированных территориях как одни из потенциальных очагов паразитозов, имеющих медико-ветеринарное значение, и организовать там постоянный эколого-паразитологический мониторинг за гельминтофауной мелких грызунов [1].

С 2015 года нами проводится третий период исследований гельминтофауны мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов. За два года (2015 и 2016) на модельных мелиоративных системах в Брестском и Малоритском районах Брестской области (Брестское Полесье) по берегам открытых каналов, проходящих в смешанных лесах, отработано 1000 л-с и поймано 117 мелких грызунов, относящихся к 3-м видам. Зверьков отлавливали давилками «Геро», выставленными в линию по 25 штук через 1,5–2 м друг от друга. Для привлечения животных использовали кусочки ржаного хлеба, нарезанные кубиками и обжаренные на подсолнечном масле. Численность зверьков определяли с помощью л-с. В местах исследований антропогенный фактор был снижен, так как берега и склоны каналов не обкашивались, древесная и кустарниковая растительность не вырубалась.

Для исследования грызунов на наличие гельминтов был применен метод полного гельминтологического вскрытия, включающий также компрессирование тканей и органов.

Для обработки материала применяли общепринятые в паразитологии показатели: экстенсивность инвазии – ЭИ (% зараженных животных), интенсивность инвазии – ИИ (количество экземпляров паразитов в одном зараженном животном), индекс обилия – ИО (среднее количество экземпляров паразитов в обследованных животных).

Сведения о видовом составе грызунов, их численности на 100 л-с, количестве исследованных и зараженных гельминтами представлены в таблице 1.

Общая численность мелких грызунов на берегах мелиоративных каналов, проходящих в смешанных лесах, составила 11,7 особей на 100 л-с. Как и в предыдущие периоды исследований [1, 2] фоновыми видами были рыжая полевка (6,6 особей на 100 л-с) и желтогорлая мышь (5 особей на 100 л-с).

Таблица 1 – Видовой состав, численность, количество исследованных и зараженных гельминтами мелких грызунов, отловленных на берегах мелиоративных каналов в смешанных лесах

Вид животного	Количество											
	исследованных				на 100 л-с	зараженных						
	♂♂	♀♀	П	НП		♂♂	♀♀	П	НП	Т	Ц	Н
Соня орешниковая – <i>Muscardinus avellanarius</i> Linnaeus, 1758	1	–	–	1	0,1	1	–	–	1	–	–	–
Полевка рыжая – <i>Myodes glareolus</i> (Schreber, 1780)	32	34	51	15	6,6	23	25	41	7	2	25	41
Мышь желтогорлая – <i>Apodemus flavicollis</i> Melchior, 1884	28	22	40	10	5,0	18	12	25	5	–	20	14

Примечание. ♂♂ – самцы, ♀♀ – самки, П – половозрелые особи, НП – неполовозрелые особи, л-с – ловушко-сутки, Т – трематоды, Ц – цестоды, Н – нематоды.

Общая зараженность мелких грызунов гельминтами равнялась 66,7 %. Рыжие полевки инвазированы на 72,3 %, желтогорлые мыши – на 60,0 %. Попавший 15.07.2026 г. в давилку «Геро» на берегу открытого канала мелиоративной системы, расположенной на границе Брестского и Малоритского районов (20-й км автодороги Брест–Ковель), неполовозрелый самец орешниковой сони оказался незараженным гельминтами. Вероятно, в биоценозе, прилегающем к этому каналу, имеется стойкая популяция орешниковой сони, так как здесь аналогичный случай имел место в первый период исследований, только тогда 21.08.1997 г. в давилку попала неполовозрелая самка, также оказавшаяся незараженной гельминтами [1]. Этот вид грызунов включен в 4-е издание Красной книги Беларуси и отнесен к IV категории национального природоохранного значения, как потенциально уязвимый вид [3].

Самцы и самки рыжей полевки были заражены гельминтами примерно одинаково (на 71,9 и 73,5 % соответственно), а вот самцы желтогорлой мыши более интенсивно заражены, чем самки (на 64,3 % против 54,6 %). Зараженность половозрелых особей была выше (у рыжей полевки 80,4 %, у желтогорлой мыши 62,5 %), чем неполовозрелых (46,7 и 50,0 % соответственно). У рыжей полевки преобладали в заражении нематоды (62,1 %), чем трематоды (3,0 %) и цестоды (37,9 %). Желтогорлые мыши чаще были инвазированы цестодами (40,0 %), чем нематодами (28,0 %), а трематоды у этих зверьков отсутствовали. Чаще грызуны заражены одним видом гельминтов: рыжие полевки на 40,9 %, желтогорлые мыши на 40,0 %. У 31,8 % популяции рыжей полевки паразитировало 2–3 вида гельминтов, а у 29,0 % популяции желтогорлой мыши – 2–4 вида гельминтов.

Всего у мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов в смешанных лесах, было обнаружено 17 видов гельминтов: 2 вида трематод, 7 видов цестод и 8 видов нематод (таблица 2). У рыжих полевок было найдено 12 видов гельминтов (2 вида трематод, по 5 видов цестод и нематод), у желтогорлых мышей – 9 видов гельминтов (4 вида цестод, 5 видов нематод).

В заражении рыжих полевок доминировала нематода *H mixtum* (ЭИ 60,6; ИИ 1–11; ИО 2,09), хотя показатель ИО был немного выше у нематоды *Syphacia petrusewiczii* Bernard, 1966 (2,73), но значительно ниже ЭИ (7,6). В заражении желтогорлых мышей выделялись по всем показателям зараженности 2 вида гельминтов – цестода *Skrjabinotaenia lobata* (Ваг, 1925) (ЭИ 32,0; ИИ 1–32; ИО 2,24) и нематода *S. frederici* (ЭИ 20,0; ИИ 1–450; ИО 13,1).

Все обнаруженные у мелких грызунов гельминты являются типичными паразитами этой группы млекопитающих и отмечались нами у этих животных в предыдущие периоды исследований. Подавляющее их большинство достигает в организме грызунов половой зрелости и локализуется в кишечнике, и только нематоды *Trichuris muris* (Schrank, 1788) и *S. frederici* были найдены в слепой кишке, а нематода *Mastophorus muris* (Gmelin, 1790) – в желудке.

Рыжие полевки и желтогорлые мыши вовлекаются в жизненные циклы 5 видов гельминтов (1 вид трематод и 4 вида цестод), дефинитивными хозяевами которых являются птицы (1 вид гельминта) и хищные млекопитающие (4 вида гельминтов) (таблица 2). Личинки трематоды *Alaria alata* (Goeze, 1782) локализовались у грызунов в жировой ткани в области шеи, цестоды *Taenia martis* (Zeder, 1803) – в грудной и брюшной полостях, а личинки остальных видов цестод – в печени.

Четыре вида гельминтов имеют медицинское значение (таблица 2). Ими заражено 13,6 % рыжих полевок и 14,0 % желтогорлых мышей. Из этих видов гельминтов только цестода *Hymenolepis diminuta* (Rudolphi, 1819) выявлялась медицинскими работниками у жителей Белорусского Полесья [4]. Она найдена нами у 10,6 % исследованных рыжих полевок и у 2,0 % желтогорлых мышей с невысоким количеством экземпляров (1 и 2), локализовавшихся в кишечниках только половозрелых грызунов: 6 самцов и 1 самки рыжей полевки и одной самки желтогорлой мыши. Остальные 3 вида гельминтов являются потенциальными паразитами жителей этого региона Беларуси.

Кроме этого, 2 вида гельминтов, обнаруженных у рыжей полевки (1 вид трематоды) и желтогорлой мыши (1 вид цестоды), имеют ветеринарное значение (таблица 2). Они на различной стадии развития (личинка, половозрелая особь) могут паразитировать в организме домашних собак, кошек (оба вида гельминтов) и свиней (только личинки трематоды). Ими заражено 1,5 % рыжих полевок и 12,0 % желтогорлых мышей.

Таблица 2 – Зараженность гельминтами мелких грызунов, отловленных на берегах мелиоративных каналов в смешанных лесах

Виды гельминтов	Хозяин	ЭИ	ИИ	ИО
Трематоды				
<i>Skrjabinoplagiorchis polonicus</i> (Softys, 1957)	Полевка рыжая	1,5	1	0,02
<i>Alaria alata</i> (Goeze, 1782), larvae <sup>1,2</sup>	Полевка рыжая	1,5	4	0,06
Цестоды				
<i>Catenotaenia cricetorum</i> Kirschenblatt, 1949	Полевка рыжая	16,7	1–4	0,26
<i>Skrjabinotaenia lobata</i> (Baer, 1925)	Мышь желтогорлая	32,0	1–32	2,24
<i>Hymenolepis diminuta</i> (Rudolphi, 1819) <sup>1</sup>	Полевка рыжая	10,6	1–2	0,14
	Мышь желтогорлая	2,0	2	0,04
<i>Cladotaenia globifera</i> (Batsch, 1786), larvae <sup>3</sup>	Полевка рыжая	7,6	2–60	1,09
<i>Taenia martis</i> (Zeder, 1803), larvae <sup>1,4</sup>	Полевка рыжая	1,5	3	0,05
<i>T. mustelae</i> Gmelin, 1790, larvae <sup>4</sup>	Полевка рыжая	1,5	1	0,02
	Мышь желтогорлая	2,0	4	0,08
<i>T. taeniaeformis</i> (Batsch, 1786), larvae <sup>1,2,4</sup>	Мышь желтогорлая	12,0	1–2	0,14
Нематоды				
<i>Pterothominx sadovskoi</i> (Morosov, 1956)	Полевка рыжая	3,0	4–14	0,27
	Мышь желтогорлая	2,0	1	0,02
<i>Trichuris muris</i> (Schrank, 1788)	Полевка рыжая	1,5	1	0,02
<i>Syphacia frederici</i> Roman, 1945	Мышь желтогорлая	20,0	1–450	13,1
<i>S. petruszewiczi</i> Bernard, 1966	Полевка рыжая	7,6	2–82	2,73
<i>S. stroma</i> (Linstow, 1884)	Мышь желтогорлая	2,0	2	0,04
<i>Mastophorus muris</i> (Gmelin, 1790)	Полевка рыжая	1,5	2	0,03
	Мышь желтогорлая	2,0	6	0,12
<i>Heligmosomoides polygyrus</i> (Dujardin, 1845)	Мышь желтогорлая	14,0	1–12	0,64
<i>Heligmosomum mixtum</i> Schulz, 1954	Полевка рыжая	60,6	1–11	2,09

Примечание. Индексом <sup>1</sup> обозначены гельминты, известные в мире как паразиты человека; индексом <sup>2</sup> – имеющие ветеринарное значение; индексом <sup>3</sup> – дефинитивными хозяевами которых являются птицы; индексом <sup>4</sup> – дефинитивными хозяевами которых являются хищные млекопитающие.

Из гельминтов, имеющих медико-ветеринарное значение, дефинитивным хозяином одного вида цестод (*H. diminuta*) являются грызуны, а для остальных видов – хищные млекопитающие. Здесь велика роль хищных млекопитающих (псовых и куньих), посещающих мелиоративные каналы и загрязняющих их берега, склоны и русла экскрементами, содержащими яйца гельминтов. Так, во второй половине 90-х годов XX века в Брестской области на 100 м береговой полосы канала приходилось 11,7 г экскрементов этих животных, содержащих до 3890 яиц и личинок гельминтов, среди которых были яйца трематоды *A. alata* и цестод рода *Taenia* Linnaeus, 1758 [5]. Именно эти гельминты могут паразитировать в организме человека и некоторых видов домашних животных.

Таким образом, исследованиями, проведенными в 2015 и 2016 годах, было установлено, что из 3-х видов мелких грызунов, пойманных на берегах мелиоративных каналов, проходящих в смешанных лесах Брестского Полесья, доминируют по численности 2 вида (рыжая полевка и желтогорлая мышь), которые являются фоновыми видами грызунов, встречающихся на берегах открытых каналов в смешанных лесах. Это подтверждается нашими предыдущими исследованиями, проведенными в 1996–1999 гг. и 2005–2010 гг. У этих двух видов грызунов паразитирует 17 видов гельминтов: 2 вида трематод, 7 видов цестод и 8 видов нематод. В заражении рыжих полевок доминирует нематода *H. mixtum*, а в заражении желтогорлых мышей – цестода *S. lobata* и нематода *S. frederici*. Для 12 видов гельминтов мелкие грызуны являются дефинитивными хозяевами. Эти грызуны поддерживают жизненные циклы 5 видов гельминтов, дефинитивные хозяева которых птицы и хищные млекопитающие. Четыре вида гельминтов имеет медико-ветеринарное значение.

Постоянный эколого-паразитологический мониторинг открытых каналов на мелиорированных территориях, включающий слежение за зараженностью грызунов гельминтами, имеющими медико-ветеринарное значение, поможет прогнозировать риски заражения человека и домашних млекопитающих паразитическими червями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шималов, В.В. Гельминтофауна мелких грызунов (Mammalia: Rodentia) берегов каналов на мелиорированных территориях / В.В. Шималов // Паразитология. – 2002. – Вып. 3. – С. 247–252.
2. Шималов, В.В. Мониторинг гельминтофауны мелких грызунов берегов мелиоративных каналов Белорусского Полесья / В.В. Шималов // Паразитология. – 2013. – Вып. 1. – С. 38–46.

3. Красная книга Республики Беларусь. Животные: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / гл. редкл.: И.М. Качановский (предс.), М.Е. Никифоров, В.И. Парфенов [и др.]. – 4-е изд. – Минск: БелЭн, 2015. – С. 12–13.

4. Шевченко, Н.И. О случаях инвазированности крысиным цепнем в Речицком районе / Н.И. Шевченко, А.Е. Целуйко // Материалы IX с-да работников профилактич. медицины Республики Беларусь (70 лет сан.-эпидемиол. службе). – Минск, 1996. – Т. 3. – Ч. 2. – С. 108–109.

5. Шималов, В.В. Загрязненность мелиорированных территорий экскрементами хищных млекопитающих, содержащими яйца и личинки гельминтов / В.В. Шималов // Паразитология. – 2007. – Вып. 2. – С. 137–144.

## **АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ КОНДИТЕРСКОЙ ОТРАСЛИ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «КРАСНЫЙ ПИЩЕВИК»**

### **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ENTERPRISES OF THE CONFECTIONERY INDUSTRY OF THE FOOD INDUSTRY ON ATMOSPHERIC AIR ON THE EXAMPLE OF THE COMPANY PC «KRASNY PISHCHEVIK»**

***Н. С. Шугаева, Е. С. Лён***  
***N. Shugaeva, E. Len***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
naty\_shugaeva@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Рассматривается полный цикл производства зефира, включающий подготовку производственных партий, обработку и переработку сырья, непосредственно изготовление кондитерских изделий. Эти и другие технологические процессы, осуществляемые на данном предприятии, являются источниками загрязнения атмосферного воздуха. На предприятии имеется 58 источников выбросов загрязняющих веществ, из них 52 организованных и 6 неорганизованных, 3 стационарных источника выбросов оснащены газоочистными установками. Основными загрязняющими веществами являются: диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, пыль сахара. Более 90% выбрасываемой пыли сахара, обладающей взрывоопасными свойствами, образуется в технологических процессах, не оборудованных газоочистными устройствами, в связи с чем рекомендуется их установка.

The full cycle of marshmallow production is considered including the preparation of production batches, processing and processing of raw materials, as well as the production of confectionery directly. These and other processes taking place at the plant are sources of air pollution. The plant has 58 sources of pollutant emissions of which 52 organized and 6 unorganized, 3 stationary sources of emissions are equipped with gas-fired gas. The main pollutants are: nitrogen dioxide, sulphur dioxide, carbon monoxide, sugar dust. More than 90% of the dust emitted by sugar, which has explosive properties, is formed in processes not equipped with gas-explosives so it is recommended to install them.

*Ключевые слова:* пищевое производство, стационарные источники выбросов, газоочистные установки, загрязняющие вещества, пыль сахара, пудромольные установки.

*Keywords:* food production, stationary sources of emissions, gas treatment plants, pollutants, sugar dust, powder mills.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-230-233>

В составе пищевой промышленности Республики Беларусь насчитывается более двух десятков отраслей с многочисленными специализированными производствами. Наиболее крупными являются мясная, молочная, кондитерская, сахарная, пивная, безалкогольная.

Предприятие ОАО «Красный пищевик» выпускает свыше 250 наименований продукции 40 торговых марок объемом 20 000 тонн выпускаемой продукции ежегодно. Региональные отделы прямых продаж расположены по всей Беларуси, имеется 100 фирменных магазинов. В 2019 г. на территории предприятия был открыт логистический центр, полностью автоматизированная система и онлайн калькулятор для подсчета единиц товара. Теперь одновременно в центре может храниться свыше полутора тысяч тонн кондитерских изделий. Модернизируются и ремонтируются основные производственные участки фабрики: цех ручной глазировки зефира, участок розлива меда и производства халвичной пасты. Установлено новое оборудование: машины для глазировки зефира и отсадки зефира с начинкой, оборудование для мойки деревянных досок, линии розлива меда, производства халвичной и арахисовой пасты и др.

Основными видами выпускаемой продукции предприятия ОАО «Красный пищевик» являются: драже, зефир, ирис, мармелад, халва, козинаки, конфеты, пастила [1].

Основное производство предприятия включает цех по производству зефира, цех по производству мармелада, цех по производству халвы, паточная станция. К вспомогательному производству относятся: котельная, градирня, литография, мехмастерская, столярная мастерская, электроучасток, участок технического обслуживания и ремонта [2].

Производство глазированного зефира включает следующие основные технологические операции:

- загрузка исходных компонентов;
- приготовление и уваривание сахаро-пектино-пюрейного сиропа до содержания сухих веществ  $55\pm 1\%$ );
- уваривание сиропа (содержание сухих веществ 80-87%);
- приготовление зефирной массы;
- формование зефирной массы;
- охлаждение корпусов зефира;
- структурообразование корпусов зефира;
- подсушка корпусов зефира;
- акклиматизация корпусов зефира;
- декорирование и глазирование корпусов зефира;
- охлаждение корпусов зефира;
- расфасовка и упаковка зефира;
- временное хранение и транспортировка зефира;
- контроль качества [3].

Загрузка компонентов производится автоматическим и ручным способом. Яблочное пюре и патока поступает по трубопроводам из смежных отделений цеха и дозируется автоматически в расходные ёмкости. Сахар-песок поступает по шнековому питателю от существующей норрии в приёмный бункер модуля, дозируется автоматически. Все остальные компоненты загружаются вручную в расходные ёмкости соответствующих модулей [3].

Процесс приготовления и уваривания сахаро-пектино-пюрейного сиропа проходит на автоматизированном модульном участке. В расходную ёмкость для пюре загружается яблочное пюре (предварительно дисульфитированное и уплотнённое до 13-14 % сухого вещества) [4].

В пектинорастворитель насос-дозатором дозируется необходимое количество пюре согласно рецептуре, одновременно через расходомер происходит дозирование технологической воды. Через откидывающуюся крышку пектинорастворителя загружается необходимое количество пектина. Цитрат натрия загружается насосом, установленным на ёмкости для цитрата натрия. Растворение пектина и получение пюрейно-пектиновой смеси происходит при постоянном перемешивании и температуре в рубашке пектинорастворителя  $75\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ . По окончании процесса приготовления смесь насосом перекачивают в варочный котёл, предназначенный для частичного уваривания пектино-пюрейной смеси и растворения сахаро-пектино-пюрейной смеси. Сироп уваривается при давлении греющего пара 0,6 МПа. Уваренный сироп с массовой долей сухих веществ  $55\pm 1\%$  поступает в расходную ёмкость для приема сахаро-пектино-пюрейного сиропа (далее - СПП).

Уваривание СПП сиропа производят на автоматизированном модульном варочном участке. Сироп из накопительной ёмкости насос-дозатором непрерывно дозируют в змеевиковую варочную колонку, где происходит уваривание сиропа до содержания сухих веществ 80-81%. Давление греющего пара составляет 0,6 МПа, температура воды в рубашке  $90\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ . Уваренный сироп, пройдя через паротделитель, подаётся в расходную обогреваемую ёмкость с насосной установкой, которая перекачивает сироп в расходную ёмкость участка приготовления зефирной массы.

Приготовление зефирной массы происходит следующим образом. В камеру аэрационного комплекса автоматизированного модульного участка непрерывного приготовления зефирной массы насос-дозаторами подаётся из расходных ёмкостей сироп, патока, белок, кислота. В камере непрерывно происходит взбивание смеси (насыщение воздухом) до получения на выходе зефирной массы с заданной плотностью  $450\pm 20\text{ кг/м}^3$ , рН  $3,3\pm 0,1$ . Полученная зефирная смесь на выходе из аэратора разделяется на два равномерных потока и поступает в статический «твистовый» смеситель, где в разделенные потоки зефирной массы подают различные ароматизаторы и красители. Далее по гибким шлангам масса подаётся в бункера зефиrootсадочной машины.

Формование зефирной массы производится на зефиrootсадочной машине методом отсадки на непрерывно движущуюся транспортёрную ленту. После отсадки производится посыпка дроблёным орехом. Далее корпуса зефира поступают в сеть туннелей, где происходит их охлаждение, структурообразование, подсушка, и акклиматизация.

Затем полуфабрикаты зефира подаются на сетчатый транспортёр глазировочной машины, где попадают под систему распределения глазури на поверхность изделий. Далее по мере продвижения продукции система обдува удаляет с изделий излишки глазури. Глазированные корпуса зефира поступают на ленточный транспортер машины охлаждения, где происходит процесс застывания и кристаллизации глазури, после чего зефир подаётся на ленточный транспортёр фасовочно-упаковочной линии для дальнейшего упаковывания и временного размещения.

В цехе функционирует 18 организованных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, из которых 1 оснащен ГОУ. Загрязняющими веществами в составе выбросов являются пыль сахара, диоксид серы и твердые частицы [5].

Выброс пыли сахара происходит на участке накопления сахара при транспортировке сырья; в отделении приготовления сахаро-паточного сиропа, сахаро-паточной и яблочно-пектиновой смесей на установке приготовления

зефирной массы, автоматизированной модульной установке приготовления и уваривания сахаро-пектино-пюревого сиропа; в отделении приготовления зефирной массы на линии производства зефира; на участке приготовления сахарной пудры: нория транспортировки сахара, пудромольная установка. Источник выбросов оснащен аспирационной установкой сухой очистки газовой смеси от пыли сахара – карманным фильтром FKR-40-20, смонтированным непосредственно на вентиляционном канале.

Выброс диоксида серы осуществляется на сырьевом участке, где имеются открытые емкости хранения сульфитированного пюре, функционируют линия по шпарке яблок, установки протирки пюре; в отделении приготовления зефирной массы на линии производства зефира и в отделении подготовки яблочного пюре.

На участке сушки арахиса происходит образование твердых частиц при функционировании автоматической установки сушки и жарки арахиса.

На промышленной территории природопользователя выявлены 58 источников выбросов, из них:

- организованных - 52;
- неорганизованных - 6;
- оснащенных газоочистными установками – 3.

Предприятие относится к III категории объекта воздействия на атмосферный воздух.

Количественные характеристики валовых выбросов, т/год источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух природопользователя:

<4,6% валовых выбросов загрязняющих веществ поступает в атмосферный воздух от неорганизованных источников выбросов производства;

>95,4% валовых выбросов загрязняющих веществ поступает в атмосферный воздух от организованных источников выбросов производства.

Валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух с учетом всех источников выбросов предприятия составляет 33,017213 т/год.

Структурные единицы предприятия, где имеются организованные источники выбросов загрязняющих веществ, рассмотрены ниже.

В котельной источниками выделения загрязняющих веществ являются паровые котлы, предназначенные для технологических нужд, теплоснабжения. Загрязняющими веществами являются диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, CO<sub>2</sub>, ртуть и ее соединения, диоксид серы, углерод черный (сажа), тяжелые металлы. Хранение и закачка в горизонтальные резервуары пропан-бутановой технической смеси являются источниками поступления в атмосферный воздух предельных углеводородов алифатического ряда C<sub>3</sub> - C<sub>11</sub>.

На халвичном участке источниками выделения загрязняющих веществ являются огневые жаровни и технологическая печь для сжигания древесных отходов. В атмосферный воздух в составе выбросов поступают диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, диоксид серы, твердые частицы суммарно.

В цехе по производству мармелада источниками выделения загрязняющих веществ является сахаропектиновая станция, оснащенная аспирационной установкой сухой очистки газо-воздушной смеси от пыли сахара - циклоном УЦ-38-650, также в цехе функционирует в составе поточно-механизированной линии барабан обвалки мармелада, технологическая линия по производству мармелада «Апельсиновые и лимонные дольки» и технологическая линия по производству мармелада «Балтика», в процессе работы которых выделяется пыль сахара.

В механической мастерской предприятия работает обдирочно-шлифовальный станок, оснащенный аспирационной установкой сухой очистки газо-воздушной смеси от пыли - вентиляционным пылеулавливающим агрегатом ЗИЛ-900М, заточной станок, сварочный пост, консольно-фрезерный станок, токарно-винторезный станок, вертикально-сверлильный станок, автоматический ленточнопильный станок. В атмосферный воздух поступают пыль неорганическая с содержанием SiO<sub>2</sub> <70%, азота диоксид, алюминий оксид, железа (II) оксид (в пересчете на железо), магний оксид, марганец и его соединения, меди (II) оксид, никель оксид (в пересчете на никель), озон, углерода оксид, фтористые газообразные соединения, хром (VI).

Перечень загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от организованных и неорганизованных источников выбросов предприятия, насчитывает 28 наименований. Анализ результатов инвентаризации показал, что концентрации загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух от стационарных источников, не превышают нормативы допустимых выбросов. По результатам инвентаризации в выбросах не обнаружено содержание мышьяка, бензо(к)флюоратена, индено(1,2,3-сд)пирена, гексахлорбензола, диоксида, образование которых происходит при сжигании топлива на котельной, относящейся к вспомогательному производству.

К загрязняющим веществам, которые выделяются в большем количестве, чем остальные на предприятии относятся: азот (IV) оксид, сера диоксид, углерод оксид, пыль сахара, выброс которых соответственно составляет: 0,155 т/год, 14,031 т/год, 0,155 т/год, 0,285 т/год.

Неорганизованные источники выбросов расположены на вспомогательных производствах предприятия. К ним относятся пост покраски автотранспорта перед техническим обслуживанием, транспортным ремонтом, где выделяются: бутилацетат, бутан-1-ол, толуол, алкены, углеводороды предельные алифатического ряда C<sub>3</sub>-C<sub>10</sub>; пост газовой резки металла в механической мастерской: углерод оксид, железо (II) оксид, азот (IV) оксид, марганец и его соединения; деревообрабатывающие станки, от которых в атмосферный воздух поступает пыль древесная; сажа, углерод оксид, углеводороды предельные алифатического ряда C<sub>3</sub>-C<sub>10</sub>, сера диоксид, азот (IV) оксид выделяются при работе автотранспорта.

Одной из значимых проблем кондитерских предприятий и сахарных комбинатов является накопление пыли сахара в производственных помещениях. Пыль сахара взрывоопасна, относится к веществам первого класса по взрывоопасности, крайне опасным. Сахарная пыль, содержащаяся в воздухе, может взорваться от малейшей искры, например искрение электропроводки, нижний предел взрываемости достигается при накоплении в кубометре воздуха 10 г сахарной пыли. Наибольшую опасность представляет сахарная пыль с размером частиц 0,03 мм (сахарная пудра), которую используют для посыпки кондитерских изделий. На производствах, где в воздухе может скапливаться сахарная пыль, устанавливается особо строгая техника безопасности. Молекулы сахарозы сгорают в воздухе, образуя углекислый газ и воду и выделяя при этом большое количество теплоты. Частицы размером менее 0,1 мм легко соединяются с кислородом воздуха, горят с огромной скоростью, детонируют. Содержащиеся в воздухе взвешенные частицы иного происхождения также возгораются, что приводит к взрыву большой мощности. Поэтому на предприятиях, где есть подобные выбросы, необходимо установка газоочистных устройств, улавливающих пыль сахара.

На предприятии газоочистные устройства функционируют в цехах по производству мармелада и зефира, а также в механической мастерской. Причем пыль сахара выделяется на 18 технологических процессах, из которых только два оснащены газоочистными установками. В цехе по производству зефира функционирует одно ГОУ, между тем более 90% выбрасываемой пыли сахара образуется в отделении приготовления сахаро-паточного сиропа, сахаро-паточной и яблочно-пектиновой смесей на установке приготовления зефирной массы, автоматизированной модульной установке приготовления и уваривания сахаро-пектиново-порейного сиропа и в отделении приготовления зефирной массы на линии производства зефира не имеющих газоочистных устройств. Значительные количества пыли сахара выделяются при работе пудромольной установки на участке приготовления сахарной пудры, где также отсутствуют газоочистные устройства. Вышеуказанные свойства пыли сахара являются веским основанием для оборудования данных технологических процессов газоочистными установками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет-портал Красный пищевик [Электронный ресурс] – 2020. – Режим доступа: <https://www.zefir.by/company/history/>– Дата доступа: 05.10.2020.
2. Акт инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух ОАО «Красный пищевик» от 15.04.2019.
3. *Тасполтаева А.Р.* Технология пищевых производств. Описание технологии производства зефира. ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2010. – 10 с.
4. *Зубченко А.В.* Технология кондитерского производства. – Воронеж: Воронежская государственная технологическая академия, 1999. – 432 с.
5. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 23 июня 2009 года №42 «Об утверждении инструкции о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух». Зарегистрировано в Национальном реестре - № 8/34641 от 24.09.2019 г.

## УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ) SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE FORESTRY COMPLEX IN A CIRCULAR ECONOMY (ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND THE RUSSIAN FEDERATION)

**Г. Н. Ярыгина<sup>1</sup>, И. И. Шанин<sup>2</sup>**  
**H. Yarygina, I. Shanin**

<sup>1</sup>Полоцкий государственный университет, Беларусь, Витебская обл., г. Новополоцк,  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова».  
Воронеж, Россия.

*Polotsk State University, Novopolotsk, Belarus, g.yarygina@psu.by*  
*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia,*  
*kingoao@mail.ru*

В Республике Беларусь и в Российской Федерации леса являются одним из основных возобновляемых природных ресурсов и важнейших национальных богатств. Леса и лесные ресурсы имеют большое значение для устойчивого социально-экономического развития страны, обеспечения ее экономической, энергетической, экологической и продовольственной безопасности. Целью данного исследования является определение

направлений устойчивого развития лесного комплекса в направлении эффективного управления лесными ресурсами в условиях циркулярной экономики.

In the Republic of Belarus and the Russian Federation, forests are one of the main renewable natural resources and the most important national wealth. Forests and forest resources are of great importance for the sustainable social and economic development of the country, they ensure its economic, energy, environmental and food security. The purpose of this study is to determine the directions of sustainable development of the forestry complex in terms of effective management of forest resources in a circular economy.

*Ключевые слова:* лесовосстановление, циркулярная экономика, леса, цифровизация, устойчивое развитие, экология.

*Keywords:* reforestation, circular economy, forests, digitalization, sustainable development, ecology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-233-237>

Экологические вопросы носят глобальный, планетарный характер, ведь не может быть хорошей экологической обстановки в отдельно взятом государстве – атмосфера одна на всех. Глобальная задача всех стран сегодня в том, чтобы следующее поколение увидело нашу планету не хуже, чем она есть сегодня. Пан Ги Мун сказал когда-то: «У нас не может быть плана Б, потому что у нас нет планеты Б».

Изменение климата может оказывать значительное влияние на продуктивность лесных экосистем, породный состав и биоразнообразие, риски возникновения лесных пожаров, риски массового размножения вредителей и распространения болезней леса, риски проявления ветровалов и буреломов в лесах и в целом на экономические условия и социальные аспекты ведения лесного хозяйства.

В данном исследовании авторы рассматривают сбалансированное развитие экономической системы (совокупность целей, принципов, методов и инструментов) через циркулярную экономику с точки зрения управления лесными ресурсами. Сбалансированное развитие лесного сектора предполагает поступательное качественное и количественное повышение показателей, характеризующих функционирование ключевых компонентов лесной сферы экономики для удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений на основе гармонизации интересов государства, общества и природы. При этом важная роль отводится комплексному освоению лесных ресурсов: промышленность (потребление лесных ресурсов в сельском хозяйстве и промышленности), рекреационность (парковая полоса - мощный резерв чистого воздуха для города) и экология (водоохранная, санитарно-лечебная, полевая и почвозащитная).

Циркулярная экономика развивается во всем мире как источник новых инноваций и несет в себе экономические, социальные и экологические выгоды: улучшение состояния окружающей среды (контроль за вредными выбросами и загрязнением); рациональное и эффективное использование ресурсов (более замкнутый материальный цикл с минимальным образованием отходов, в котором отход превращается в новый ресурс); новые знания и навыки (осведомленность людей о положительном воздействии циркулярной экономики); спрос создает предложение устойчивых (циркулярных) товаров и услуг, а это означает ответственность производителя за свои товары и услуги; занятость (создание новых рабочих мест); увеличение конкурентоспособности предприятий на рынках сбыта (использование первичного сырья сводится к минимуму, увеличение жизненного цикла и возможность повторного использования первичных материалов).

В последнее время в мировой практике наблюдается значительное ухудшение экологической обстановки, вызванной лесными пожарами и гибелью миллионов гектар лесных угодий. Эта проблема также затронула и территорию РФ, где ежегодно огнем охватывается несколько миллионов гектаров лесных площадей. На рисунке 1 представлена площадь, пострадавшая от лесного пожара.



Рис. 1 – Пример площади, пострадавшей от лесного пожара

На территории РФ в рамках исполнения национального проекта «Экология» в текущем 2021 году запланировано осуществить лесовосстановительные работы на площади 1,2 млн га лесов, что на 2% больше, чем в 2020 году.

В целом, в условиях реализации федерального проекта «Сохранение лесов», в рамках нацпроекта «Экология», анализируя динамику выделения финансирования на лесовосстановительные работы, можно отметить тот факт, что на текущий год выделено порядка 2,4 млрд. рублей на все лесовосстановительные работы. Лесовосстановительные работы будут проходить в основном в регионах, где причинен значительный ущерб ресурсам от лесных пожаров в таких, как Красноярский край, Архангельская область, Хабаровский край, Вологодская область. Сеянцами различных пород в целях лесовосстановления, преимущественно ценными хвойными породами, будут восстановлены площади порядка 240 тыс. га, этот показатель на 23% больше, чем в предыдущем 2020 году, где было засажено сеянцами около 193 тыс. га. На рисунке 2 представлены образцы сеянцев с закрытой корневой системой, наиболее распространенных и экономически выгодных на сегодняшний день для посадки в борозды.



Рис. 2 – Образцы сеянцев с закрытой корневой системой, предназначенных для лесовосстановительных работ

На рисунке 2 представлены образцы сеянцев с закрытой корневой системой, более устойчивых к различным факторам и экономически целесообразными к засеву утраченных площадей, пострадавших от лесных пожаров.

В целях более качественного и эффективного лесовосстановления на основе регулятивной гильотины Минприроды РФ разработан свод правил лесовосстановления на 2021 год, согласно приказу от 04.12.2020 года №1014.

Согласно данному приказу утверждено определение понятия «лесовосстановление», которое подразумевает комплекс природно-антропогенных процессов, в том числе, вызванных совокупностью технологических и организационных лесных мероприятий, в целях образования молодняков (молодые сомкнутые лесные насаждения), представленных главными лесными древесными породами на земельном фонде, предназначенном для лесовосстановительных работ. Также в данном приказе отмечено, что главные лесные древесные породы представлены древесными породами, которые в большей степени могут отвечать условиям произрастания, более устойчивых к вредителям и болезням, а также соответствовать экосистемным и эколого-экономическим целям восстановления лесов. Здесь же определен исчерпывающий перечень работ при лесовосстановлении, а именно, работы по планированию, работы, связанные с обследованием, проектировочные работы, непосредственное осуществление работ, приемочные правила, порядок проведения инвентаризации. Обобщены методы по обследованию лесных земельных участков.

В условиях эффективного лесовосстановления утраченных лесных площадей, изменено содержание регулирующей статьи, в которой было отражено, что объем искусственного или комбинированного лесовосстановления должен быть не менее 45% площади, преимущественно посадкой сеянцев, саженцев. По новым правилам данный объем не должен превышать 30%.

Ключевой особенностью данного нормативно-правового акта является то, что уделено внимание требованию о проведении обследований лесных участков, с учетом национальных и межгосударственных стандартов. В этом направлении прослеживается вектор, направленный на продолжение работы над нормативной документацией, регламентирующей лесное хозяйство в странах союзниках, в рамках СНГ. Данные дополнения позволят уточнить принятый 15 ноября 2003 года «Модельный лесной кодекс для стран – членов СНГ» и определить порядок взаимодействия союзных государств в области лесных отношений [2].

В целом, можно отметить, что без эффективных методов, направленных на лесовосстановление, невозможно получение качественной деловой древесины в необходимом количестве. Только при грамотном подходе при лесовосстановительных работах, возможно в дальнейшем снабжение деревообрабатывающих производств качественным древесным сырьем.

В настоящее время в Беларуси действует более 2,5 тысяч деревообрабатывающих предприятий, а объемы переработки деловой древесины в стране выросли на 10 млн. куб. м. - с 5,7 млн. куб. м. в 2006 году до 15,7 млн. куб. м. в 2019 году, то есть в 2,7 раза. Экспорт лесного комплекса вырос в 2,7 раза до 2,3 млрд. долларов, а его доля в общем объеме экспорта Республики Беларусь увеличилась в 1,9 раза (с 3,7% до 6,9%). Про-

дукция деревообрабатывающих, мебельных и целлюлозно-бумажных производств лесопромышленного комплекса вносит вклад в формирование валового внутреннего национального продукта на 5,2 %. Стратегическая цель отрасли – рационально переработать имеющийся запас сырья и обеспечить реализацию продукции с высокой добавленной стоимостью. На современном этапе достичь этого можно только путем внедрения прогрессивных технологий, новых видов продукции на основе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов, за счет увеличения выпуска продукции из древесины с более высоким объемом добавленной стоимости.

Стратегическими целями развития отрасли на период до 2025 года являются создание устойчивого, экономически эффективного, конкурентоспособного, инновационного целлюлозно-бумажного, деревообрабатывающего и мебельного комплекса, ориентированного на рост производства продукции, соответствующей по качественным параметрам мировым стандартам, наращивание экспортного потенциала, создание высокопроизводительных рабочих мест.

В целях реализации задач, поставленных Президентом и Правительством Республики Беларусь перед лесным комплексом по повышению эффективности работы лесной, деревообрабатывающей, мебельной, целлюлозно-бумажной и лесохимической отраслей, внедрению современных технологий, использованию лесных ресурсов с учетом передового опыта Финляндской Республики и других стран с высокоразвитым лесным хозяйством и лесопромышленным комплексом разработана Государственная программа «Белорусский лес» на 2021–2025 годы. Также разработан Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 годы. Основные положения указанных документов включают мероприятия по содействию сохранения биологического и генетического разнообразия лесов, усилению их роли в сохранении биосферы, повышению устойчивости насаждений на фоне изменения климата [1].

Циркулярная экономика - это модель экономики, в которой создаются альтернативные линейной экономике замкнутые циклы, где ресурсы находятся в постоянном круговом движении в системе производства и потребления с целью оптимизации использования первичных ресурсов, а также сокращения отходов на каждом этапе. Одним из условий для внедрения концепции циркулярной экономики является реорганизация бизнес-процессов, связанных с управлением материальными ресурсами, а это означает необходимость переосмысления цепочки создания стоимости товаров [3]. Сопоставление стоимости первичных и вторичных ресурсов формирует не только устойчивый спрос на вторичное сырье, но и ценовое соотношение между первичными и вторичными материалами на рынке. По мнению авторов один из инструментов, который способствует переходу к циркулярной экономике в деревообрабатывающей отрасли - усовершенствованный дизайн и конструкция изделий из древесины, чтобы в дальнейшем была возможность ремонта, замены изношенных деталей, проведения модернизации, что приведет к увеличению срока службы изделия, а также снижения количества образования отходов. Усовершенствованный дизайн будет помогать предприятиям в переработке изделий с целью возврата его первичных материалов и таким образом появляется возможность экономии первичных ресурсов.

На потребителей возлагаются большие надежды, так как новые бизнес-модели циркулярной экономики смогут успешно реализовываться только в том случае, если потребители изменят свои привычки или, например, осознают преимущества использования, а не владения. [4]. В Беларуси существует сформированная система экологических знаков, с помощью которых происходит информирование потребителей о безопасности продукции, которую им предоставляют. Экологическая маркировка становится средством рекламы и конкурентной борьбы, способствуя обеспечению экологической безопасности общества. Именно поэтому проблемы экологической маркировки должны занять свое место среди первоочередных задач современной экономики.

Цифровизация может ускорить переход к более устойчивой экономике замкнутого цикла, закрывая цепочку материалов и предоставлять точную информацию о наличии, местонахождении и состоянии товаров. В циркулярной экономике решающее значение имеет координация материальных и информационных потоков. Информацию о количестве и качестве продуктов и составе их сырья необходимо собирать и хранить. Цифровые технологии позволяют хранить данные вместе с материалами в цикле и позволяют использовать отходы как ресурс [5]. Например, электронный паспорт товара может содержать информацию о его происхождении, составе, возможностях ремонта и демонтажа, а также о правилах обращения с ним в конце срока службы. Цифровизация позволит повысить эффективность процессов на предприятиях, способствуя минимизации отходов, продлевая срок службы товаров, сокращая транзакционные издержки. Таким образом, цифровизация - это стимул для бизнес-моделей циркулярной экономики, которая помогает замкнуть цикл, замедлить материальный цикл и сузить цикл за счет повышения эффективности использования ресурсов [6].

По результатам проведенного исследования авторами установлено, что концептуальные основы по эффективному управлению лесными ресурсами состоят в следующем: «Управление ресурсами как категория устойчивого развития это основа циркулярной экономики, потому что целью устойчивого развития является, как человек своими действиями влияет на окружающую среду, которая удовлетворяет его потребности, не ставя под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности (Всемирная комиссия по окружающей среде и развитию, 1987). Это является конечной целью, а циркулярная экономика предлагает повышение ресурсоэффективности, более экологичное ресурсопользование, отделение благосостояния от потребления ресурсов, повторное использование и переработку.

Таким образом, можно предположить, что циркулярная экономика несет в себе огромный экономический потенциал. Она способствует более независимой промышленности от дорогостоящего импорта, способствует увеличению конкурентоспособности отрасли, за счет снижения себестоимости продукции. Новые бизнес-модели,

товары и услуги, которые появятся в будущем, смогут обеспечить существующие рабочие места, а также позволят создать новые квалифицированные рабочие места, что принесет пользу всем потребителям с экологическими выгодами и преимуществами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа «Белорусский лес» на 2021-2025 годы / Постановление Советов Мин. РБ от 28.01.21 г. № 52 / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 04.02.2021, 5/48741 / [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100052>. Дата доступа: 10.03.2021.

2. *Drapalyuk M.V.* Methodology of probabilistic modelling of the current activity of industrial enterprises / M.V. Drapalyuk, T. L. Bezrukova, I.I. Shanin, B. A. Bezrukov // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference “Information Technologies in Business and Industry”. 2019. IOP Publishing Ltd. p. 072022.

3. *Donati F.* Modeling the circular economy in environmentally extended input-output tables: Methods, software and case study/ F. Donati, A. Glenn Aguilar-Hernandez, C. P. Sigüenza-Sánchez, A. Koning, João F.D.Rodrigues, A. Tukker / Journal Resources, Conservation and Recycling - January 2020. - Volume 152 -p. 104508.

4. *Wilts H.* Germany on the road to a circular economy?/H. Wilts/ Wiso Diskus/ Friedrich-Ebert-Stiftung Economic and social policy - 2016 - p. 6./Publisher: Division for Economic and Social Policy Godesberger Allee 149 / D-53175 Bonn. ISBN: 978-3-95861-515-1

5. *Makkonen M.* Stakeholder Perspectives on the Business Potential of Digitalization in the Wood Products Industry / M. Makkonen/ VTT Technical Research Centre of Finland L td., Vuorimiehentie 3, FI-02044 VTT, [Электронный ресурс]. - Режим доступа <https://biobus.swst.org/bpbj/index.php/bpbj/article/viewFile/43/23>. Дата доступа: 28.02.21

6. *Antikainen M.* Digitalisation as an Enabler of Circular Economy /, M. Antikainen, T. Uusitalo, P. Kivikyto-Reponena/ 10th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, IPS2 2018, 29-31 May 2018, Linköping, Sweden



**ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.  
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ: К 35-ЛЕТИЮ  
КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**



# ЧЕРНОБЫЛЬСКИЕ ПРОГРАММЫ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА: ОСНОВНЫЕ ИТОГИ

## THE UNION STATE PROGRAMS ON THE CHERNOBYL SUBJECT: THE MAIN RESULTS

**Н. Я. Борисевич**  
**М. Ya. Barysevich**

*Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь  
rbic@tut.by*

*The Scientific Research Institute of Fire Safety and Emergencies (RIFSE-Belarus)  
of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

Представлен обзор результатов выполнения программ совместной деятельности Беларуси и России по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства. Приведена информация о целях, задачах, основных реализованных мероприятиях.

The article presents the overview of the results of the implementation of the programs of the joint activity of Belarus and Russia in overcoming the consequences of the Chernobyl disaster within the Union State. The information that concerns the goals, objectivities, and main implemented activities is provided.

*Ключевые слова:* чернобыльская катастрофа, чернобыльские программы, Союзное государство.

*Keywords:* Chernobyl disaster, programs on the Chernobyl subject, Union State.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-241-244>

До распада СССР для ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС были мобилизованы огромные материальные и человеческие ресурсы Советского Союза. После 1991 г. мероприятия по ликвидации и преодолению последствий чернобыльской катастрофы проводились уже в рамках государственных программ Беларуси и России. Однако как общность, так и сложность порожденных чернобыльской катастрофой проблем диктовали необходимость объединения финансовых возможностей, научно-практического потенциала двух стран с целью их решения. Возможность тесного сотрудничества белорусских и российских специалистов по чернобыльской проблематике появилась после подписания 2 апреля 1997 г. Договора о Союзе Беларуси и России. В соответствии с Договором о создании Союзного государства от 8 декабря 1999 г. предусматривается осуществление совместной политики в области предупреждения и ликвидации последствий природных и техногенных катастроф, в том числе последствий аварии на Чернобыльской АЭС, а также формирование общего информационного пространства.

Начиная с 1998 г. выполнено четыре Союзные чернобыльские программы, с 2019 г. выполняется пятая.

Источник финансирования мероприятий программ – бюджет Союзного государства. Государственным заказчиком-координатором программы от Российской Федерации является МЧС России, государственным заказчиком в Республике Беларусь выступает МЧС Республики Беларусь в лице Департамента по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС (по реализованным программам). В действующей 5-й программе государственным заказчиком также выступает Национальная академия наук Беларуси.

**Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союза Беларуси и России на 1998–2000 годы.** Утверждена постановлением Исполнительного Комитета Союза Беларуси и России от 10.06.1998 № 1, продлена на 2001 г. постановлением Совета Министров Союзного государства от 21.12.2000 № 34. Бюджет для Беларуси: 172,4 млн росс. рублей (8,5 млн долл. США).

Приоритет программы – создание материально-технической базы системы специализированной помощи гражданам Беларуси и России, строительство и оснащение специализированных учреждений здравоохранения. На эти цели направлено около 90 % объема финансовых средств программы.

Основные результаты:

- введено в эксплуатацию опытное производство высокоочищенных аминокислот медицинского назначения на Гродненском заводе медицинских препаратов в г. Скиделе;
- оснащен медицинским оборудованием специализированный радиологический диспансер в г. Гомеле;
- созданы основные компоненты Единого чернобыльского регистра России и Беларуси по заболеваемости раком щитовидной железы, лейкозами и популяционный канцер-регистр;
- сформирован объединенный банк медико-дозиметрических данных национальных регистров Беларуси и России;

- проведен радиационно-эпидемиологический анализ сердечно-сосудистой заболеваемости участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, проживающих в Беларуси;
- разработан пакет единых нормативно-методических документов, включающий методики мониторинга загрязненных радионуклидами почв, поверхностных вод и атмосферы;
- оценен трансграничный перенос радионуклидов с территории России на территорию Беларуси водным путем (р. Ипуть).

**Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2002–2005 годы.** Утверждена постановлением Совета Министров Союзного государства от 09.04.2002 № 17. Бюджет для Беларуси: 490 млн росс. рублей (16 млн долл. США).

Основные приоритеты – обеспечение функционирования системы оказания специализированной медицинской помощи гражданам Беларуси и России, пострадавшим от чернобыльской катастрофы; разработка и внедрение наиболее эффективных технологий; научное, информационно-аналитическое и организационно-техническое обеспечение совместных действий по преодолению последствий чернобыльской катастрофы.

В результате выполнения:

- завершено строительство и оснащение оборудованием Гомельского специализированного радиологического диспансера, на базе которого с 2003 г. начал действовать Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека;
- разработаны и внедрены новейшие технологии ранней диагностики, лечения и реабилитации с применением которых в 2002–2004 гг. оказана медицинская помощь более чем 69 тыс. гражданам, проживающим на территориях радиоактивного загрязнения, и участникам ликвидации последствий аварии на ЧАЭС;
- разработано «Положение о Едином чернобыльском регистре России и Беларуси», в ходе работ над которым созданы персонализированные регистры (канцер-регистр России и Беларуси по ликвидаторам, по раку щитовидной железы, молочной железы, лейкозам у населения загрязненных территорий), которые функционируют на постоянно действующей основе на базе Медицинского радиологического научного центра Российской академии медицинских наук (г. Обнинск, Россия) и Республиканского научно-практического центра радиационной медицины и экологии человека (г. Гомель);
- оснащены оборудованием научно-практические учреждения в сфере радиационного мониторинга и контроля, агропромышленного комплекса, лесного хозяйства;
- разработаны и внедрены современные методы и технологии, обеспечивающие снижение содержания радионуклидов в пищевой продукции;
- разработана нормативно-техническая документация на производство пищевой продукции, обогащенной йодированным белком, с использованием пищевой биологически активной добавки «Допинат-йод»; на 29 предприятиях пищевой промышленности республики в 2003–2004 гг. выпущено более 15 тыс. тонн молочной продукции;
- разработано единое руководство по ведению сельскохозяйственного производства на радиоактивно загрязненных территориях России и Беларуси;
- разработаны методики мониторинга радиоактивного загрязнения почвы, поверхностных вод, атмосферы, методические рекомендации по организации и ведению радиационного мониторинга в лесах;
- с 2003 г. в Москве на базе Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук начал функционировать Российско-белорусский информационный центр.

**Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2006–2010 годы.** Утверждена постановлением Совета Министров Союзного государства от 26.09.2006 № 33. Бюджет для Беларуси: 600 млн росс. рублей (21 млн долл. США).

Основная цель – формирование и совершенствование согласованных элементов и механизмов совместной деятельности в области преодоления последствий чернобыльской катастрофы. Работы велись по трем направлениям.

По направлению *«Система мер адресной специализированной медицинской помощи гражданам России и Беларуси, пострадавшим вследствие чернобыльской катастрофы»:*

- обеспечены разработка и внедрение новых медицинских технологий на базе национальных медицинских центров для оказания специализированной медицинской помощи гражданам России и Беларуси;
- разработаны единые методические основы и программное обеспечение оценки индивидуализированных накопленных эффективных доз облучения пострадавшего населения;
- обеспечено функционирование Единого чернобыльского регистра России и Беларуси, на его основе определены группы повышенного риска развития радиационно-индуцированной патологии для оптимизации оказания адресной медицинской помощи пострадавшему населению.

По направлению *«Формирование единых требований и элементов нормативного и технического регулирования работ по приведению в безопасное состояние и возврат в хозяйственный оборот сельскохозяйственных угодий и земель лесного фонда России и Беларуси»:*

- созданы унифицированные элементы системы радиационного мониторинга и контроля в агропромышленном производстве;
- применен наилучший опыт по ликвидации последствий радиоактивного загрязнения и проведена работа по приведению в безопасное состояние сельскохозяйственных земель территорий радиоактивного загрязнения;

- в 13 пострадавших районах республики выполнено 19 пилотных проектов, направленных на реабилитацию временно выведенных из оборота земель и производство нормативно чистой сельскохозяйственной продукции; переработку сельскохозяйственной продукции и организацию производства новых видов продуктов питания лечебно-профилактического назначения; комплексную реабилитацию сельских населенных пунктов на загрязненных территориях;

- созданы основные элементы единой системы нормативно-методического регулирования радиационно-гигиенического мониторинга на загрязненных территориях России и Беларуси, условий безопасного использования лесного фонда.

По направлению *«Реализация общей информационной политики по проблемам преодоления последствий чернобыльской катастрофы на единой организационно-технической основе»* решен широкий спектр задач:

- создано и оснащено Белорусское отделение Российско-Белорусского информационного центра по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в Минске;

- в пострадавших районах создана сеть из 19 информационно-методических кабинетов «Радиационная безопасность и основы безопасной жизнедеятельности»;

- разработан комплексный электронный информационный ресурс по чернобыльской тематике;

- обеспечено совершенствование механизмов взаимодействия и координации совместной деятельности по реализации единой информационной и социально-реабилитационной политики для граждан, пострадавших в результате чернобыльской катастрофы, разработана и реализована долгосрочная программа информационной и социально-реабилитационной политики на основе единого информационного банка данных;

- издан «Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси» – фундаментальное научно-справочное издание с картографической и справочно-аналитической информацией, включающее прогнозные (на 2056 г.) карты загрязнения областей Республики Беларусь цезием-137, Полесского государственного радиационно-экологического заповедника – америцием-241.

***Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на период до 2016 года.*** Принята постановлением Совета Министров Союзного государства от 13.12.2013 № 21. Бюджет для Республики Беларусь: 521,1 млн росс. рублей (15,9 млн долл. США).

Основной целью являлось совершенствование общей политики по обеспечению безопасной жизнедеятельности граждан Беларуси и России, подвергшихся радиационному воздействию вследствие катастрофы на ЧАЭС и повышению качества жизни проживающих на загрязненных территориях граждан, обеспечению взаимодействия России и Беларуси при ликвидации чрезвычайных ситуаций на радиоактивно загрязненных территориях.

В рамках раздела *«Обеспечение развития и эффективного применения передовых технологий медицинской помощи и реабилитации граждан Беларуси и России, подвергшихся радиационному воздействию вследствие чернобыльской катастрофы»:*

- обеспечено развитие системы комплексного мониторинга состояния здоровья граждан России и Беларуси, подвергшихся радиационному воздействию, с оценкой радиационных рисков на основе Единого чернобыльского регистра России и Беларуси;

- созданы условия для повышения качества и эффективности оказания адресной специализированной медицинской помощи, реабилитации и оздоровления граждан России и Беларуси, подвергшихся радиационному воздействию вследствие чернобыльской катастрофы.

- В рамках раздела *«Совершенствование единой системы радиационной защиты на территориях радиоактивно загрязнения»:*

- обеспечено развитие единой системы обеспечения защищенности населения загрязненных радионуклидами территорий на основе совершенствования взаимодействия и повышения готовности сил и средств к реагированию на чрезвычайные ситуации.

В рамках раздела *«Выработка и реализация стратегии управления территориями с высокими уровнями загрязнения и выведенными из хозяйственного оборота по радиационному фактору»:*

- обеспечено совершенствование методического и нормативно-технического регулирования и управления территориями России и Беларуси с высокими уровнями радиоактивного загрязнения;

- обеспечено создание и развитие единой системы контроля за соблюдением безопасного режима хозяйственного использования земель на территориях с высокими уровнями радиоактивного загрязнения и выведенными из хозяйственного оборота по радиационному фактору.

В рамках раздела *«Реализация общей информационной, просветительской и социально-реабилитационной политики по проблемам радиационной безопасности, реабилитации и устойчивого развития территорий»:*

- организовано взаимодействие при работе с детьми и молодежью, направленной на развитие у них навыков безопасного проживания на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, а также в развитии их знаний о чернобыльской трагедии;

- проведен ряд совместных мероприятий в рамках системы дистанционного консультирования и информирования с участием экспертов, представителей информационно-методических кабинетов «Радиационная безопасность и основы безопасной жизнедеятельности» (Беларусь), центров социально-психологической реабилитации населения (Российская Федерация);

- реализован ряд совместных инновационных интерактивных образовательных проектов (брейн-ринги среди молодежи пострадавших территорий России и Беларуси по тематике радиационной безопасности, тематические экскурсии для студентов медицинских и сельскохозяйственных учебных заведений);

- разработан ряд методических рекомендаций по организации системы дистанционного консультирования и информирования населения, рекомендаций по организации деятельности информационно-методических кабинетов по проблемам радиационной безопасности и основам безопасной жизнедеятельности населения;

- обеспечено развитие и взаимодействие МЧС России и МЧС Республики Беларусь по вопросам оказания психологической помощи на различных этапах чрезвычайных ситуаций радиационного характера.

Белорусскими исполнителями программы подготовлено около 130 основных итоговых документов, включая 17 совместных с российской стороной.

***Программа совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС.*** Утверждена постановлением Совета Министров Союзного государства от 29.08.2019 № 8. Срок реализации – 4 года (с 2019 по 2022 г.). Бюджет: 992,4 млн росс. рублей (14,9 млн долл. США), в том числе для Республики Беларусь – 347,4 млн росс. рублей (5,2 млн долл. США) или 35 % общего объема финансирования.

Цель программы – создание условий безопасной жизнедеятельности населения на радиоактивно загрязненных территориях государств-участников Союзного государства, пострадавших вследствие чернобыльской катастрофы. Основные задачи:

- совершенствование систем радиационной безопасности населения и аграрного производства в условиях радиоактивного загрязнения территорий государств-участников Союзного государства для обеспечения возвращения к нормальной жизнедеятельности;

- создание условий по возврату радиоактивно загрязненных территорий государств-участников Союзного государства к нормальной жизнедеятельности.

- На выполнение первой задачи направлены мероприятия:

- разработка новых подходов к технологиям снижения накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, в том числе разработка единых рекомендаций по ведению растениеводства на загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных землях, обеспечивающих производство продукции, отвечающей допустимым уровням по содержанию цезия-137 и стронция-90;

- оценка рисков получения продукции растениеводства и животноводства, не соответствующей нормативным требованиям по содержанию радионуклидов;

- снижение рисков трансграничного переноса радионуклидов при чрезвычайных ситуациях на радиоактивно загрязненных территориях государств-участников Союзного государства и повышение оперативности при их ликвидации (проведение лесоохранных мероприятий по расширению действующих и созданию новых минерализованных полос, противопожарных разрывов и барьеров на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника; создание специализированного маневренного высокопроходимого пожарного комплекса для ликвидации пожаров на территории с высокими уровнями радиоактивного загрязнения, предусматривающего оперативное прибытие на место пожара, защиту экипажа от воздействия ионизирующего излучения).

В рамках выполнения второй задачи предусмотрено:

- проведение обследования отселенных (отчужденных) территорий Беларуси и России с целью определения возможности их возврата в хозяйственный оборот;

- проведение совместных мероприятий по комплексному радиэкологическому мониторингу территорий Беларуси и России, подвергшихся радиоактивному загрязнению (создание Единого каталога доз облучения населения, включающего средние годовые эффективные дозы облучения жителей населенных пунктов России и Беларуси, находящихся на приграничных территориях радиоактивного загрязнения, с прогнозом доз облучения до 2036 г.).

Таким образом, программы совместной деятельности стали эффективным инструментом, позволившим объединить материальные и информационные ресурсы, научный потенциал и опыт двух государств в осуществлении мер по радиационной, медицинской, социальной, информационно-психологической защите населения, созданию предпосылок для устойчивого социально-экономического развития пострадавших регионов в условиях ограничений, связанных с радиационным фактором.

# ИСТОЧНИКИ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОТРОНА CYCLONE 18/9HC

## SOURCES OF GAMMA-EMITTING RADIONUCLIDES IN THE PRODUCTION OF RADIOPHARMACEUTICALS USING THE CYCLONE 18/9 HC CYCLOTRON

**Д. И. Бринкевич<sup>1</sup>, С. Д. Бринкевич<sup>1</sup>, А. И. Киевицкая<sup>2</sup>, А. Н. Куйко<sup>3</sup>**

**D. I. Brinkevich<sup>1</sup>, S. D. Brinkevich<sup>1</sup>, H. I. Kiyavitskaya<sup>2</sup>, A. N. Kiyko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Белорусский государственный институт метрологии, Минск, Республика Беларусь  
[alex\\_1211@mail.ru](mailto:alex_1211@mail.ru)

<sup>1</sup>Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup> ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup> Belarusian state institute of metrology, Minsk, Republic of Belarus Беларусь  
[alex\\_1211@mail.ru](mailto:alex_1211@mail.ru)

Исследовано накопление побочных радионуклидов (ПРН) в воде [<sup>18</sup>O]H<sub>2</sub>O при облучении на циклотроне Cyclone 18/9 HC с ниобиевой мишенью и входным окном из сплава Havar. Показано, что активность ПРН определяется в основном накопленной мишенью дозой. Доминирующим источником ПРН является входное окно из сплава Havar. Ниобиевая мишень является источником только одного радионуклида – <sup>92m</sup>Nb с низкой активностью. В процессе активации воды образуются радиоизотопы <sup>7</sup>Be и, вероятно, <sup>65</sup>Zn. Облученная на циклотроне вода [<sup>18</sup>O]H<sub>2</sub>O представляет собой дисперсную систему. До 30 % активности кобальта и марганца, а также ~7 % хрома находятся в составе твердых частиц размерами >5 мкм, вымытых из входной фольги мишени циклотрона вследствие межкристаллитной коррозии.

The accumulation of secondary radionuclides (PRN) in water [<sup>18</sup>O]H<sub>2</sub>O under irradiation on a Cyclone 18/9 HC cyclotron with a niobium target and an entrance window made of Havar alloy was studied. It is shown that the activity of PRN is mainly determined by the accumulated dose of the target. The dominant source of PRN is the entrance window made of Havar alloy. The niobium target is the source of only one radionuclide, <sup>92m</sup>Nb, whose activity is low. In the process of water activation, radioisotopes <sup>7</sup>Be and probably <sup>65</sup>Zn are formed. The water [<sup>18</sup>O]H<sub>2</sub>O irradiated on the cyclotron is a dispersed system. Up to 30 % of the activity of cobalt and manganese, as well as ~7% of chromium, are in the composition of solid particles >5 microns in size, washed out of the input foil of the cyclotron target due to intergranular corrosion.

**Ключевые слова:** Циклотрон Cyclone 18/9 HC, ниобиевая мишень, [<sup>18</sup>O]H<sub>2</sub>O, активация, радионуклиды.

**Key words:** Cyclone 18/9 HC cyclotron, niobium target, [<sup>18</sup>O] H<sub>2</sub>O, activation, radionuclides.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-245-248>

Циклотроны Cyclone 18/9 HC получили широкое применение при производстве радиофармпрепаратов (РФП). Наиболее распространенными РФП являются препараты на основе <sup>18</sup>F, который получают облучением обогащенной по кислороду <sup>18</sup>O (>95 %) воды протонами с энергией от 9 до 18 МэВ [1]. Помимо наработки целевого радионуклида <sup>18</sup>F в результате протонной и нейтронной активации мишени циклотрона происходит накопление в облучаемой воде [<sup>18</sup>O]H<sub>2</sub>O побочных радиоактивных продуктов с достаточно высокими уровнями активности. Состав и уровни активности побочных радионуклидов сильно зависят от конструкционных параметров используемого циклотрона [2,3].

Побочные радионуклиды (ПРН) провоцируют целый ряд нежелательных последствий. Так, попадая с облученной водой непосредственно в реактор, они снижают выход РФП [2]. С другой стороны, накопление ПРН в расходных материалах радиохимического синтеза (флаконы с регенерированной водой [<sup>18</sup>O]H<sub>2</sub>O, одноразовые кассеты, картриджи твердофазной экстракции и стерилизующие фильтры), а также в незаменимых элементах модуля синтеза, существенно увеличивает дозовые нагрузки на радиохимический персонал при выполнении ежедневного обслуживания, дезинфекционной обработки и подготовки горячих камер к производству. Так, мощности эквивалентной дозы (МЭД) на расстоянии 10 см от флакона с регенерированной водой [<sup>18</sup>O]H<sub>2</sub>O (объемом 10-12 мл) после трех дней выдержки по мере активации мишени возрастали с 5 до 250 мкЗв/час. При этом внутри горячей камеры с установленными в ней модулями Synthera (IBA, Бельгия) МЭД через сутки после синтеза превышала 80 мкЗв/час и мало изменялась после поверхностной дезактивации оборудования.

Кроме того, загрязнение расходных материалов радиохимического синтеза ПРН приводит к увеличению номенклатуры и объемов жидких и твердых РАО, требующих выдержки до достижения необходимых МЗА в течение нескольких лет [2-5], и, соответственно, обуславливает увеличение дозовых нагрузок для персонала, ответственного за дозиметрию, учет и контроль РАО. При интенсивном ежедневном производстве РФП (до 3 синтезов в день) в ПЭТ-центре накапливается большое количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО), которые в основном представляют собой регенерированную воду [ $^{18}\text{O}$ ] $\text{H}_2\text{O}$  и, в меньшей степени, растворы для дезактивации оборудования.

Интерес к исследованию накопления ПРН при производстве РФП резко возрос в последние десятилетия. Установлено [4], что активность и состав ПРН определяется условиями конкретного производства (тип циклотрона, материал входного окна и тела мишени, интенсивность и длительность облучения и т.д.) и могут варьироваться в широких пределах. Исследования выполнялись на циклотронах GE PET trace, Siemens ECLIPSE RDS-11, CYPRIIS HM18, CYPRIIS MINI trace и TR 19/9 с серебряными, титановыми и танталовыми мишенями. Чаще всего эти исследования проводятся перед запуском ПЭТ-центров или на начальном (низкоинтенсивном) этапе их работы. Влияние длительного интенсивного рабочего цикла на накопление ПРН ранее не исследовалось. Необходимо также отметить недостаток информации по циклотрону Cyclone 18/9 HC.

В настоящей работе представлены результаты исследования процессов накопления нежелательных долгоживущих радионуклидов, образующихся в воде [ $^{18}\text{O}$ ] $\text{H}_2\text{O}$ , при длительной (около 3 лет) интенсивной работе циклотрона Cyclone 18/9 HC.

Наработка радионуклида  $^{18}\text{F}$  осуществлялась на ускорителе Cyclone 18/9 HC (IBA, Бельгия) при облучении воды, обогащенной по кислороду  $^{18}\text{O}$  до 97 %, протонами с энергией 18 МэВ. Использовалась ниобиевая мишень Nirta Fluor объемом 3,2 мл с входным окном из сплава Navar толщиной 25 мкм. Время облучения мишени за один производственный цикл составляло 100-130 минут, ионный ток на мишени – 75-80  $\mu\text{A}$ . Мощность, выделяемая на мишени, при этих условиях облучения составляет ~ 1,45 кВт. Средняя интенсивность работы циклотрона составляла от 5 до 9 циклов облучения в неделю.

Спектрометрический анализ  $\gamma$ -излучающих нуклидов в облученной воде [ $^{18}\text{O}$ ] $\text{H}_2\text{O}$  на момент окончания синтеза выполняли на спектрометре с детектором из особо чистого германия в соответствии с методикой, изложенной в [2]. Использовалась детекторная система GEM40-83/DSPEC jr 2,0; диапазон энергий 14,5 – 2911 кэВ; разрешение 0,182 кэВ/канал. Идентификацию ПРН проводили посредством измерения энергий  $\gamma$ -квантов и сравнения со справочными значениями. Из-за высокой активности измерения осуществлялись не менее чем через двое суток после синтеза.

Накопление экспериментальных данных осуществлялось в течение 3 лет. По результатам измерений в облученной воде на ускорителе Cyclone 18/9 HC были идентифицированы более 20 нежелательных ПРН. В работе [4] были описаны возможные реакции их образования и основные ядерно-физические характеристики.

Основными радионуклидами при облучении водной мишени циклотрона Cyclone 18/9 HC с ниобиевой мишенью и входным окном из сплава Navar являются изотопы кобальта ( $^{55}\text{Co}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ), хрома ( $^{51}\text{Cr}$ ), марганца ( $^{52}\text{Mn}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ), никеля ( $^{57}\text{Ni}$ ) и бериллия ( $^7\text{Be}$ ). Отметим, что присутствие радионуклидов Co, Cr, Ni и Mn в облученной воде в той или иной концентрации наблюдается практически всегда при использовании входного окна из сплава Navar вне зависимости от материала мишени (серебро, ниобий, тантал или титан) и марки циклотрона. Было установлено, что существенное влияние на активность и набор нежелательных ПРН в облученной воде [ $^{18}\text{O}$ ] $\text{H}_2\text{O}$  оказывала набранная ранее мишенью доза [2], что обусловлено радиационно-индуцированной коррозией мишени.

Активность каждого из этих ПРН в регенерированной воде (табл.1) варьируется в широких пределах – от единицы до сотен тысяч Бк. Это зависит от накопленной ранее мишенью дозы, а также, но в меньшей степени, от длительности облучения и тока на мишени. Активность ПРН  $^7\text{Be}$  определялась в основном партией [ $^{18}\text{O}$ ] $\text{H}_2\text{O}$  воды и сроками ее хранения, а для одной партии она линейно зависела от длительности облучения в производственном цикле. Для остальных ПРН активности определялись в основном накопленной ранее дозой, причем минимальные значения активности, приведенные в таблице 1, характерны для «чистой» (предварительно не облучавшейся) мишени, а максимальные – для мишеней с большой накопленной дозой (> 4000 мкА·ч).

Радионуклиды Tc, Nb, Re и Ta имеют активность, как правило, на 3 порядка ниже, чем ПРН кобальта, хрома и марганца. Так, суммарная активность нуклидов Nb, Tc, Re не превышает 1-5 % от суммарной активности радионуклидов Co. В ряде экспериментов активность указанных радионуклидов была ниже предела обнаружения методики  $\gamma$ -спектрометрии (~5-10 Бк). Тем не менее, присутствие именно радионуклидов Tc, Nb и Re наблюдалось в готовых РФП [ $^{18}\text{F}$ ]ФДГ и [ $^{18}\text{F}$ ]NaF. Причем их активность резко возрастает при облучении мишеней с накопленной дозой свыше 3000  $\mu\text{A}\cdot\text{ч}$ .

**Источники ПРН.** Основным механизмом попадания ПРН в облучаемую воду [ $^{18}\text{O}$ ] $\text{H}_2\text{O}$  является вымывание продуктов активации из окна мишени. Сплав Navar содержит ряд хорошо активирующихся элементов; кобальт (42%), хром (19,5%), железо (18,1%), никель (13,7%), вольфрам (2,7%), молибден (2,2%), марганец (1,6%) и углерод (0,2%). Все указанные выше-элементы в составе фольги (кроме марганца и углерода) являются эффективными источниками ПРН. Большинство из нежелательных ПРН образуются в Navar-окне в результате реакций на протонах и, в меньшей степени, на нейтронах. Отметим, что радионуклиды  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$  обнаруживаются в облученной протонами фольге из сплава Navar даже через 400 дней после облучения.

Таблица 1 – Диапазон измеренных активностей долгоживущих ПРН в воде  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$  на момент окончания облучения

Радионуклид	Активность, кБк
$^7\text{Be}$	0,01 – 12
$^{51}\text{Cr}$	0,041 – 84
$^{52}\text{Mn}$	0,05 – 17
$^{54}\text{Mn}$	0,119 – 5,5
$^{55}\text{Co}$	15,3 – 92
$^{56}\text{Co}$	1,95 – 41,9
$^{57}\text{Co}$	1,08 – 19,7
$^{58}\text{Co}$	10,4 – 141
$^{57}\text{Ni}$	9,73 – 7,41
$^{92}\text{Nb} + ^{95}\text{Nb}$	0,03 – 0,20
$^{95}\text{Tc} + ^{96}\text{Tc}$	0,02 – 12,9
$^{183}\text{Re} + ^{184}\text{Re}$	0,05 – 0,61
$^{182}\text{Ta} + ^{183}\text{Ta}$	0 – 0,18

Радионуклид  $^{92\text{m}}\text{Nb}$  попадает в воду в результате аморфизации при облучении ниобиевой мишени. Его активность невелика (обычно не превышает 100 Бк). Он преимущественно образуется в результате реакции  $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92\text{m}}\text{Nb}$  с пороговой энергией 8,9 МэВ и довольно высоким сечением реакции  $\sim 1,4$  барн в диапазоне энергий нейтронов 12-18 МэВ. Возможно также протекание фотоядерной реакции  $^{93}\text{Nb}(\gamma,n)^{92\text{m}}\text{Nb}$ . Не следует также исключать образование ПРН  $^{182,183}\text{Ta}$  и  $^{95,96}\text{Nb}$  из примесей W и Mo в ниобиевой мишени по (n,p)-реакции. Однако для изготовления мишеней используется Nb высокой чистоты (свыше 99 %), поэтому такой механизм образования ПРН тантала и ниобия мало вероятен. Заметим, что с точки зрения накопления ПРН ниобиевая мишень является наиболее приемлемой. Активность образующегося при ее облучении ПРН  $^{92\text{m}}\text{Nb}$  пренебрежимо мала (ниже на 3-4 порядка) по сравнению с активностями ПРН, обусловленных активацией входного окна мишени из сплава Navar (табл. 1). Для мишеней из других материалов ситуация хуже. В случае наиболее часто используемых мишеней из серебра основными ПРН являются  $^{109}\text{Cd}$  и  $^{110}\text{Ag}$ , с активностью превышающей суммарную активность от ПРН, образующихся в Navar-окне. В титановой мишени образуются  $^{48}\text{V}$  и  $^{46}\text{Sc}$ , причем удельная активность в воде ПРН  $^{48}\text{V}$  сравнима с активностью  $^{51}\text{Cr}$ .

Отдельного внимания заслуживает радионуклид  $^7\text{Be}$ . Он наблюдался в качестве одного из основных в облученной воде при использовании разных мишеней с различными входными окнами (Navar и ниобий). Механизм его формирования не определен.  $^7\text{Be}$  единственный из доминирующих ПРН, у которого мы наблюдаем сильную зависимость активности от используемой партии воды – она изменялась при смене флакона с водой  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$ . Обнаружена также жесткая корреляция активности  $^7\text{Be}$  с длительностью облучения воды  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$ . Полученные экспериментальные результаты позволяют нам утверждать, что основным источником образования  $^7\text{Be}$  является активация присутствующих в  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$  воде примесей лития и бора по реакциям  $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$  и  $^{10}\text{B}(p,\alpha)^7\text{Be}$  [2]. Аналогичное поведение было характерно также для радионуклида  $^{65}\text{Zn}$ . Его активность также не зависела от набранной мишенью дозы и изменялась лишь при смене флакона с водой  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$ . Поэтому мы полагаем, что и его предшественником являются стабильные изотопы в составе воды. В частности,  $^{65}\text{Zn}$  может образовываться при активации изотопов меди или цинка, которые присутствуют в  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$  и могут попадать в нее, например, из теплообменного оборудования в процессе обогащения и/или в процессе нормализации по тритию.

**Формы нахождения ПРН в облученной воде.** Полученные нами экспериментальные данные по осаждению ПРН на анионно-обменном картридже [3] свидетельствуют о том, что в условиях наработки  $[^{18}\text{F}]\text{фторида}$  происходит образование не только истинного раствора, содержащего ионы примесных ПРН, но и коллоидно-дисперсной фазы. По полученным данным до 30 % кобальта и марганца, а также  $\sim 7$  % хрома находятся в составе твердых частиц размерами  $>5$  мкм, вымытых из входной фольги мишени циклотрона. Однако бериллий находился в основном в виде истинного раствора и механическими фильтрами не задерживался. Аналогичное поведение характерно и для ПРН ниобия и технеция, которые являются основными радионуклидными примесями в радиофармпрепаратах на основе  $^{18}\text{F}$  при облучении мишеней с большой накопленной дозой ( $> 4000$  мкА·ч).

Полученные экспериментальные данные о наличии дисперсной фазы ПРН в облученной воде  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$  подтверждаются также результатами по осаждению ПРН на мишенных фильтрах с порами диаметром 10 мкм [5]. На этих фильтрах осаждалось около 7 % от суммарной активности ПРН, однако поведение конкретных радионуклидов сильно отличалось. Так на механическом фильтре осаждалось  $\sim 25$  % радионуклидов кобальта, до 11-15 % марганца и хрома, а радионуклиды Tc и Re практически не осаждались (до 1-3 %). Эти данные находятся в хорошем согласии с представленными выше.

Одним из наиболее вероятных механизмов образования частиц с размером более 5 мкм является межкристаллитная коррозия фольги Navar – преимущественное вымывание металла из аморфной фазы между более стойкими к коррозии кристаллитами. Этот процесс, хорошо известный в атомной энергетике для аустенитных сталей, может протекать в жестких условиях производства  $^{18}\text{F}$  – при бомбардировке фольги протонами с энергией 18 МэВ и ее контакте с водой при температуре свыше  $220^\circ\text{C}$  и давлении около 30 атм. Преимущественное испарение аморфной межкристаллитной фазы наблюдается также при облучении высокоэнергетичными ионами. В результате

ускоренного вымывания/испарения аморфной межкристаллитной фазы отдельные кристаллитами на поверхности фольги могут вымываться как единое целое. Взвешенными дисперсными частицами в таком случае будут выступать микрокристаллиты из сплава Navar, содержащие в себе продукты активации материала окна мишени.

Вторым возможным механизмом образования дисперсной фазы с включениями ПРН являются окислительно-восстановительные процессы, протекающие вследствие реакции материала мишени с радикальными продуктами радиолиза воды. При радиолизе воды с равными выходами образуются как ОН-радикалы, активно окисляющие поверхность металлов, так и сольватированные электроны, восстанавливающие ионы металлов в растворе вплоть до степени окисления 0. Образовавшиеся в ходе высокотемпературного радиолиза отдельные свободные атомы металлов при этом способны агрегировать в коллоиды, размеры которых могут достигать нескольких микрон.

Следует также остановиться на результатах исследования накопления радионуклидов в воде контура охлаждения циклотрона Cyclone 18/9 НС. Было установлено, что основным источником радионуклидов в воде контура охлаждения является реакция  $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$ . В мишенях с большой накопленной дозой протекают ядерные реакции, индуцированные протонами,  $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$  и  $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ . Образующиеся в результате этих реакций фторид  $^{18}\text{F}^-$ , карбонат  $^{11}\text{CO}_3^{2-}$  и гидрокарбонат  $\text{H}^{11}\text{CO}_3^-$  анионы в процессе циркуляции воды по контуру охлаждения осаждаются на ионно-обменной смоле. При этом среднегодовая дозовая нагрузка оператора циклотрона от продуктов активации воды в контуре охлаждения не превышает 1% от предельной годовой дозы персонала.

Таким образом, показано, что активность большинства ДРН в облученной воде  $^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$  определяется в основном накопленной мишенью дозой, способствующей коррозии входного окна и тела мишени. Содержание ДРН также зависит от режима, продолжительности и периодичности облучения в мишени, содержания химических примесей в воде и ряда других факторов. Доминирующим источником ДРН является входное окно из сплава Navar. При ее активации образуется более 20 радионуклидов, основными из которых являются  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Ni}$ . Ниобиевая мишень обуславливает только один радионуклид –  $^{92\text{m}}\text{Nb}$ , активность которого пренебрежимо мала. В процессе активации воды образуются радиоизотопы  $^7\text{Be}$  и, вероятно,  $^{65}\text{Zn}$ . Облученная на циклотроне вода  $^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$  представляет собой дисперсную систему. До 30 % активности кобальта и марганца, а также ~7 % хрома находятся в составе твердых частиц размерами >5 мкм, вымытых из входной фольги мишени циклотрона. Наиболее вероятным механизмом образования частиц с размером более 5 мкм является межкристаллитная коррозия фольги Navar – преимущественное вымывание металла из аморфной фазы между более стойкими к коррозии кристаллитами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Radionuclide impurities in proton-irradiated  $^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$  for the production of  $^{18}\text{F}$ : Activities and distribution in the  $^{18}\text{F}]\text{FDG}$  synthesis process / L. Bowden [et al.] // Applied Radiation and Isotopes. – 2009. – V. 67, N 2. – P. 248–255.
2. Обращение с водными радиоактивными отходами при производстве радиофармпрепаратов на основе  $^{18}\text{F}$  / В.О. Крот [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2018. – № 4. – С. 128–134.
3. Gamma-ray measurements of the activated target components in a cyclotron used for positron emission tomography / M.J.Vargas [et al.] // Radiation Physics and Chemistry. – 2020. – V. 177. – 109153.
4. Очистка  $^{18}\text{F}]\text{фторида}$  от долгоживущих радионуклидов при производстве  $^{18}\text{F}]\text{фтордезоксиглюкозы}$  / А.А. Иванюкович [и др.] // Медицинская физика. – 2018. – № 4(80). – С.59-65.
5. Brinkevich, S.D. Activation radionuclides in the process of irradiation of a niobium target at the Cyclone 18/9 НС cyclotron / S.D.Brinkevich, D.I.Brinkevich, A.N. Kiyko // Physics of atomic nuclei. – 2020. – V.83, N 12. – P.1732-1737.

### БЕТА-ИЗЛУЧАЮЩИЕ РАДИОНУКЛИДЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В ВОДНОЙ МИШЕНИ КОММЕРЧЕСКОГО ЦИКЛОТРОНА

### BETA-RADIATING RADIONUCLIDES FORMED IN A WATER TARGET OF A COMMERCIAL CYCLOTRON

**Д. И. Бринкевич<sup>1</sup>, С. Д. Бринкевич<sup>1</sup>, А. И. Киевицкая<sup>2</sup>, А. Н. Куйко<sup>3</sup>**  
**D. I. Brinkevich<sup>1</sup>, S. D. Brinkevich<sup>1</sup>, H. I. Kiyavitskaya<sup>2</sup>, A. N. Kiyko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, <sup>2</sup> МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Белорусский государственный институт метрологии, Минск, Республика Беларусь  
alex\_1211@mail.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup> ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup> Belarusian state institute of metrology, Minsk, Republic of Belarus Беларусь  
alex\_1211@mail.ru

Методом жидкостной сцинтилляционной спектроскопии исследовано накопление  $\beta$ -излучающих радионуклидов при облучении жидкостной мишени коммерческого циклотрона Cyclone 18/9 НС и производстве радиофармпрепаратов (РФП) на основе  $^{18}\text{F}$ . Показано, что при длительном использовании мишени в  $\beta$ -спектрах регенерированной воды  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$  и готового РФП  $[^{18}\text{F}]\text{NaF}$  кроме максимума, обусловленного тритием, появляется еще ряд максимумов как в низко-, так и в высокоэнергетической части спектра. Хранение в течение 3 месяцев приводит к существенной трансформации спектров – резко снижается интенсивность низкоэнергетического крыла спектра регенерированной воды, исчезает максимум в области 300 канала. Однако интенсивность высокоэнергетического крыла спектра снижается не столь кардинально. Установлено, что содержание трития в регенерированной воде достоверно можно оценить только после хранения в течение 3 месяцев.

The accumulation of  $\beta$ -emitting radionuclides during irradiation of a liquid target of the Cyclone 18/9 НС commercial cyclotron and the production of radiopharmaceuticals (RP) based on  $^{18}\text{F}$  was studied by liquid scintillation spectroscopy. It is shown that with prolonged use of the target in the  $\beta$ -spectra of regenerated water  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$  and ready-made RP  $[^{18}\text{F}]\text{NaF}$ , in addition to the maximum due to tritium, a number of maxima appear in both the low- and high-energy parts of the spectrum. Storage for 3 months leads to a significant transformation of the spectra - the intensity of the low-energy wing of the regenerated water spectrum decreases sharply, the maximum in the 300 channel region disappears, while the intensity of the high-energy wing decreases not so dramatically. It was found that the tritium content in the regenerated water can be reliably estimated only after storage for 3 months.

*Ключевые слова:* циклотрон, сцинтилляционная спектрометрия, радионуклиды, фармпрепарат.

*Keywords:* cyclotron, scintillation spectrometry, radionuclides, pharmaceutical.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-248-252>

Ускорители заряженных частиц низких и средних энергий являются основными инструментами для проведения исследований в области физики атомного ядра и ядерных реакций [1]. Изохронные циклотроны составляют экспериментальную базу большинства национальных и региональных ядерно-физических центров во многих странах мира и могут быть выделены в отдельный класс ускорительных установок.

Параллельно с научными исследованиями проводятся эксперименты по разработке методик применения циклотронов для ряда практических целей: - производства медицинских и промышленных изотопов; -лечения опухолевых заболеваний пучками протонов и тяжелых ионов; -различных прикладных целей; -трансмутации отходов ядерного цикла. В процессе таких исследований были выбраны критерии и создано несколько поколений технологических комплексов для коммерческого производства медицинских изотопов, протонной терапии и прикладных исследований на пучках тяжелых ионов. В настоящее время коммерческие циклотроны, ускоряющие отрицательные ионы водорода и дейтерия в диапазоне энергий от 10 до 30 МэВ, широко используются для производства медицинских и промышленных изотопов.

Медицинские изотопы применяются в различных отраслях медицины (нейрологии, кардиологии, онкологии т.д.) для диагностики ряда заболеваний, а также для терапии злокачественных новообразований. Большинство изотопов, используемых в медицинской практике, нарабатывается путем бомбардировки жидких, газовых или твердых мишеней пучками ускоренных протонов. Чаще всего медицинские изотопы являются продуктами  $(p,n)$ ,  $(p,2n)$  или  $(p,a)$  реакций. Медицинские изотопы производятся также внутри реакторов как результат бомбардировки образцов нейтронами в реакциях типа  $(n,f)$ . Отметим, что качество и чистота изотопов, нарабатываемых на циклотронах, выше, чем тех же изотопов, производимых в реакторах.

В медицинской диагностике обычно используются короткоживущие изотопы с периодом полураспада в несколько часов. Они должны быть использованы в течение небольшого промежутка времени после облучения мишени и получения радиофармпрепарата. Чтобы обеспечить цикл производства таких препаратов, установки по наработке короткоживущих изотопов и лаборатории по производству препаратов необходимо размещать на месте использования РФП – в больницах, центрах по распределению медицинских препаратов, диагностических центрах и т. п. Это обстоятельство обуславливает резкое ужесточение требований по радиационной безопасности и обращению с радиоактивными отходами, возникающими в результате таких работ.

Для проведения позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) широко применяются изотопы  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$ , которые являются  $\beta^+$ -эмиттерами с малым периодом полураспада. Все вышеуказанные радиоизотопы нарабатываются на коммерческих циклотронах. После облучения они выделяются из мишени, проходят химическую обработку и вводятся пациенту в составе РФП непосредственно перед сеансом сканирования на ПЭТ-томографе.

Доминирующее положение в ПЭТ-диагностике занимают радиофармпрепараты (РФП) на основе  $^{18}\text{F}$ , который образуется по реакции  $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$  при бомбардировке водной мишени, обогащенной  $^{18}\text{O}$ , протонами с энергией 18 МэВ. Образующиеся в этой реакции вторичные нейтроны активируют компоненты циклотрона, а также бетонные стены, создавая радиологические опасности во время периода обслуживания или вывода из эксплуатации [2].

Вышеперечисленные обстоятельства обуславливают необходимость контроля содержания бета-излучающих радионуклидов в промежуточных продуктах, отходах производства и конечном радиофармпрепарате. Кроме того, требуется мониторинг рабочих помещений ПЭТ центра с целью оценки доз, получаемых как персоналом, так и пациентами, а также улучшения методов рециркуляции.

Цель настоящей работы – исследование накопления  $\beta$ -излучающих радионуклидов в процессе облучения водной мишени коммерческого циклотрона Cyclone 18/9 HC и последующего производства радиофармпрепаратов на основе  $^{18}\text{F}$  с целью минимизации дозовых нагрузок пациентов и производственного персонала.

Наработку радионуклида  $^{18}\text{F}$  осуществляли на коммерческом циклотроне Cyclone 18/9 HC (IBA, Бельгия) при облучении протонами с энергиями 18 МэВ воды, обогащенной по  $^{18}\text{O}$  до 98 % (Центр молекулярных исследований, Россия). Использовали ниобиевую мишень объемом 3,2 мл с входным окном из сплава Navar толщиной 25 мкм.

Контроль содержания  $\beta$ -излучающих радионуклидов проводился с использованием автоматического жидкостного сцинтилляционного спектрометра с TDCR регистрацией HIDEX 300 SL и гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315. Для HIDEX 300 SL энергетический диапазон составил 0 – 2 МэВ по  $\beta$ -частицам, интервал – 0,182 кэВ/канал, эффективность – более 26% (для трития), более 95% (для  $^{14}\text{C}$ ). Средний фон для  $\beta$ -частиц – 9 имп/мин. Для МКС-АТ1315 диапазон энергий бета-излучения: 0,15 – 3,5 МэВ. Средний фон для  $\beta$ -частиц – 270 имп/мин, чувствительность для  $^{90}\text{Sr}$  в геометрии 0,03л –  $3,5 \cdot 10^{-3}$  имп-л/(с·Бк). Использован жидкий сцинтиллятор на основе толуола. Пробы объемом 1 мл разводились в 10 мл жидкого сцинтиллятора. Время измерения  $\beta$ -спектра – 1000 с. Идентификацию  $\gamma$ -излучающих радионуклидов и определение их активности выполняли с использованием спектрометра на особо чистом германии: детекторная система GEM40-83/DSPEC jr 2.0; энергетический диапазон 14,5 – 2911,4 кэВ; разрешение 0,182 кэВ/канал.

Материалы мишени ускорителя в ходе наработки  $^{18}\text{F}$  фторида под воздействием высокоэнергетических протонов и нейтронов подвергаются сильной активации [3]. В условиях облучения вода под давлением 25–30 атм. выщелачивает продукты активации из тела и окна мишени, вследствие чего происходит загрязнение радионуклидами  $^{18}\text{F}$  фторида и образование твердых и жидких радиоактивных отходов. При увеличении накопленной мишенью дозы свыше 2500 мкА·ч усиливаются процессы коррозии/эрозии материалов мишени и, соответственно, растет эффективность выщелачивания радионуклидов [4]. Резко возрастает концентрация  $\gamma$ -излучающих радионуклидов в регенерированной воде и картриджах сорбционной очистки [3]. Отметим, что ранее исследование накопления  $\beta$ -излучающих радионуклидов в процессе облучения водной мишени коммерческих циклотронов и производства РФП на основе  $^{18}\text{F}$  не проводилось [3,4]. Исследовалось только накопление трития. В настоящей работе мы приводим результаты исследования методом сцинтилляционной спектроскопии  $\beta$ -спектров регенерированной  $^{18}\text{O}$   $\text{H}_2\text{O}$  и радиофармпрепарата  $^{18}\text{F}$  NaF после облучения мишеней с большой накопленной дозой (свыше 2500 мкА·ч).

На рисунках 1–3 приведены  $\beta$ -спектры регенерированной воды  $^{18}\text{O}$   $\text{H}_2\text{O}$  и готового РФП  $^{18}\text{F}$  NaF при использовании мишени с накопленной дозой до 5000 мкА·ч. Они кардинально отличаются от аналогичного спектра после облучения «чистой» только что установленной мишени, описанного в работе [5]. Кроме пика, обусловленного тритием, на спектрах наблюдается еще ряд пиков как в низко-, так и в высокоэнергетической части спектра. Отметим, что увеличение накопленной мишенью дозы приводит к существенному увеличению интенсивности сцинтилляционного свечения, т.е. к росту концентрации  $\beta$ -излучателей. После хранения в течение 3 месяцев наблюдалась существенная трансформация спектров – резко падала интенсивность низкоэнергетического крыла спектра регенерированной воды, исчезал пик в области 300 канала, в то время как интенсивность высокоэнергетического крыла (от 450 до 700 канала) изменялась не столь кардинально. Это указывает на присутствие в измеряемом образце ряда  $\beta$ -излучающих нуклидов с разной энергией испускаемых электронов и периодом полураспада. Их суммарная активность в первые несколько недель после синтеза значительно превышает активность долгоживущего радионуклида  $^3\text{H}$ . «Хвост» в низкоэнергетической области  $\beta$ -спектров регенерированной воды  $^{18}\text{O}$   $\text{H}_2\text{O}$ , образовавшейся при облучении мишени с большой накопленной дозой, увеличивает погрешность измерения концентрации трития. Этот «хвост» исчезает после выдержки в течение 3 месяцев (ср. кривые 1 и 2 на рис. 2 и 3), поэтому достоверно измерить содержание  $^3\text{H}$  в облученной воде методом сцинтилляционной спектроскопии можно только после длительного (около 3 месяцев) хранения.

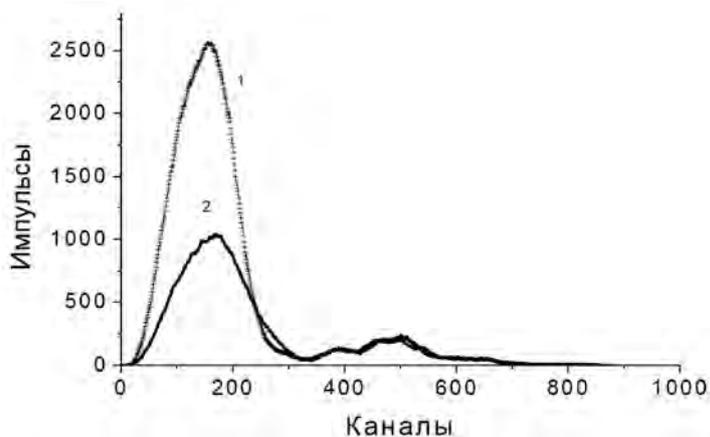


Рис. 1. Спектры сцинтилляционного излучения радиофармпрепарата  $^{18}\text{F}$  NaF, полученного мишени с накопленной дозой ~ 3000 мкА·ч. Измерения проводились через 2 дня (1) и 3 месяца (2) после синтеза

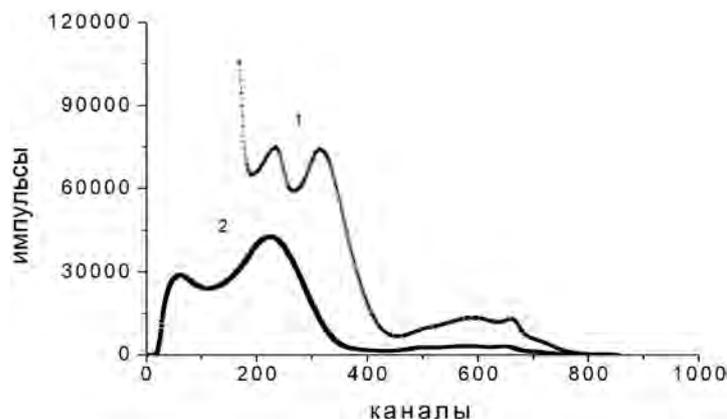


Рис. 2. Спектры сцинтилляционного излучения регенерированной воды  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$ , после облучения мишени с накопленной дозой  $\sim 3000$  мкА·ч. Измерения проводились через 2 дня (1) и 3 месяца (2) после синтеза

Следует отметить, что в готовых радиофармпрепаратах  $[^{18}\text{F}]$ метилхолине и  $[^{18}\text{F}]$ ФДГ содержание трития и других  $\beta$ -излучающих радионуклидов было ниже предела обнаружения использовавшейся методики даже при использовании мишени с накопленной дозой свыше 7000 мкА·ч. Это обусловлено высокой степенью очистки указанных препаратов от нежелательных радионуклидов в процессе синтеза [4].

Появление сигнала в низкоэнергетической области, вероятнее всего, обусловлено Оже-электронами, а также выбивание низкоэнергетических электронов  $\gamma$ -квантами и рентгеновским излучением при прохождении через воду. Оже-электроны образуются при распаде радионуклидов в процессе К-захвата. Излучение с низкой энергией доминирует в спектрах регенерированной воды (рис.2,3) и мало заметно в спектре РФП  $[^{18}\text{F}]\text{NaF}$  (рис.1). После хранения в течение 3 месяцев (кривые 2 рис.1-3) оно резко снижается. При хранении также исчезает полоса в области 300 канала. Это указывает на то, что низкоэнергетическая часть спектра определяется в основном радионуклидами с относительно малым (несколько дней) периодом полураспада. Высокоэнергетическая часть спектров трансформируется в значительно меньшей степени. Отметим, что форма спектров (соотношение интенсивностей максимумов) изменяется при переходе на облучение мишени (сравни рис.2 и 3) с большей накопленной дозой.

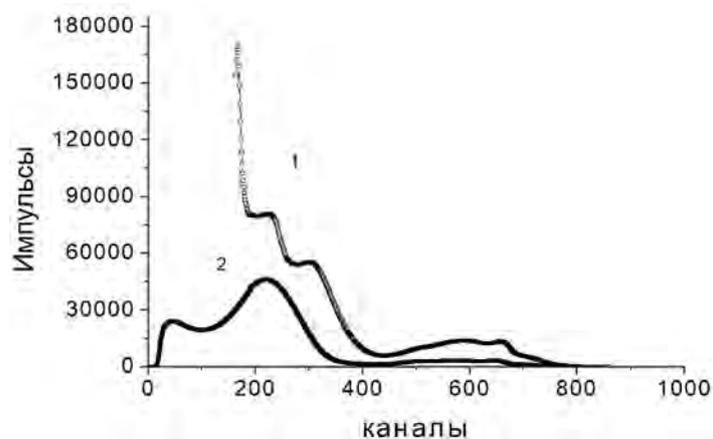


Рис. 3. Спектры сцинтилляционного излучения регенерированной воды  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$ , после облучения мишени с накопленной дозой  $\sim 5000$  мкА·ч. Измерения проводились через 2 дня (1) и 3 месяца (2) после синтеза

Сопоставление ранее полученными данными по исследованию  $\gamma$ -излучающих радионуклидов при облучении мишеней с большой накопленной дозой [3] показывает, что доминирующими радионуклидами в измеренных на третьи сутки после синтеза образцов регенерированной воды,  $\beta$ -спектры которой представлены на рис.2 и 3, являются изотопы кобальта ( $^{55}\text{Co}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ), марганца  $^{52}\text{Mn}$  и никеля  $^{57}\text{Ni}$ , с активностью на момент окончания синтеза фармпрепарата  $\sim (5-10) \cdot 10^4$  Бк/мл каждый. Кроме того, наблюдались изотопы  $^{181}\text{Re}$ ,  $^{95}\text{Tc}$ ,  $^{96}\text{Tc}$ ,  $^{51}\text{Cr}$  и  $^{54}\text{Mn}$  с удельной активностью в диапазоне 50-2000 Бк/мл на момент окончания синтеза. Радиоизотопы  $^{52}\text{Mn}$ ,  $^{57}\text{Ni}$ ,  $^{181}\text{Re}$ ,  $^{95}\text{Tc}$ ,  $^{96}\text{Tc}$  являются короткоживущими (период полураспада менее недели) и распадаются путем К-захвата. Вероятнее всего, указанные радионуклиды ответственны за вклад в низкоэнергетическую часть  $\beta$ -спектров регенерированной воды. Радионуклиды  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$  и  $^{54}\text{Mn}$  с периодом полураспада  $t_{1/2} \geq 70$  суток определяют вид высокоэнергетической области  $\beta$ -спектров регенерированной воды и РФП  $[^{18}\text{F}]\text{NaF}$ .

Таким образом, в настоящей работе установлено, что спектры сцинтилляционного излучения регенерированной воды  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$  и готового РФП  $[^{18}\text{F}]\text{NaF}$  кардинально отличаются от аналогичного спектра после облучения «чистой» мишени с накопленной дозой менее 500 мкА·ч. Кроме максимума, обусловленного тритием, на

спектрах наблюдается еще ряд максимумов как в низко-, так и в высокоэнергетической части спектра. При этом хранение в течение 3 месяцев приводит к существенной трансформации спектров – резко снижается интенсивность низкоэнергетического крыла спектра регенерированной воды, исчезает максимум в области 300 канала, в то время как интенсивность высокоэнергетического крыла снижается не столь кардинально. Содержание  $^3\text{H}$  в облученной воде методом сцинтилляционной спектрометрии достаточно достоверно можно оценить только после длительного (около 3 месяцев) хранения. Полученные результаты имеют важное значение для оптимизации методов обращения с радиоактивными отходами при производстве радиофармпрепаратов на основе  $^{18}\text{F}$  с использованием циклотрона IBA Cyclone 18/9 НС и, как следствие, минимизации дозовых нагрузок персонала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Папаш, А.И. Коммерческие циклотроны часть 1. Коммерческие циклотроны в диапазоне энергий от 10 до 30 МэВ для производства изотопов. / А.И.Папаш, Ю.Г. Аленицкий // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2008. – Т.39, Вып 4.
2. Brinkevich, D.I. Activation of the cooling circuit water of the Cyclone 18/9-НС cyclotron during the production of  $^{18}\text{F}$  / D.I.Brinkevich, A.Ya.Maliborski, S.D.Brinkevich // Physics of atomic nuclei. – 2019. – V.82, N 12. – P.1714-1720. DOI: 10.1134/S1063778819120044.
3. Долгоживущие радионуклиды при производстве  $^{18}\text{F}$  фторхолина для ПЭТ-диагностики / П.В. Тылец [и др.] // Известия НАН Беларуси. Серия химических наук. – 2018. – № 3. – С. 359–368.
4. Long-lived radionuclides in the production of  $^{18}\text{F}$ -labeled radiopharmaceuticals / V.O. Krot [et al.] // 13<sup>th</sup> Int. Symposium on the Synthesis and Application of Isotopically Labelled Compounds, Prague, Czech Republic, 3-7 June 2018. – Prague, 2018. – P. 43.
5. Переработка облученной воды  $^{18}\text{O}$  в условиях ПЭТ-центра / С.Д. Бринкевич [и др.] // Радиохимия – 2019. – Т.61, № 4. – С.344-350.

### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ ВЕРИФИКАЦИИ ПЛАНОВ ОБЛУЧЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

### CRITERIA FOR EVALUATION OF DOSIMETRIC VERIFICATION OF RADIOTHERAPY HIGH-TECH TREATMENT PLANS FOR CANCER PATIENTS

***A. I. Brinkevich<sup>1</sup>, M. N. Petkevich<sup>1</sup>, E. V. Titovich<sup>2</sup>  
H. Brynkevich<sup>1</sup>, M. Piatkevich<sup>1</sup>, E. Titovich<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>РНПЦ им. Н.Н. Александрова  
аг. Лесной, Республика Беларусь  
<sup>2</sup>МАГАТЭ, Вена, Австрия  
annabrijerry@gmail.com*

*<sup>1</sup>N. N. Alexandrov national cancer centre of Belarus, Lesnoy, Republic of Belarus  
<sup>2</sup>IAEA, Vienna, Austria*

Для проверки эффективности системы доставки дозы лечебного плана в лучевой терапии с модуляцией интенсивности используются системы гарантии качества. Основным инструментом проверки соответствия между запланированным и оцениваемым распределением дозы является гамма-индексирование. В процессе гамма-индексирования индивидуальных дозовых распределений оцениваются как точечные значения дозы, так и смещение между запланированным и доставленным распределениями. Для проверки соответствия дозовых распределений используются понятия уровней действия и допусков. Уровни действия определяются как суммарный процент оцениваемой величины, на который допускается отклонение показателей, проверяемых системой гарантии качества, с минимальным риском причинения вреда пациенту. Допуски определяются как границы изменения величины, в пределах которых процесс лечения считается выполняемым согласно предписанным условиям.

To test the effectiveness of the dose delivery system of the treatment plan in intensity modulated radiation therapy, quality assurance systems are used. The main tool for verifying the correspondence between the reference and the estimated dose distribution is  $\gamma$ -indexing. In the process of  $\gamma$ -analysis of individual dose distributions, both point dose values and geometrical offset between the reference and delivered distributions are evaluated. To check the compliance of dose distributions, the concepts of action limits and tolerances are used. The action limits are defined as the total percentage of the estimated value by which deviation of the indicators checked by the quality assurance system is allowed, with a minimal risk of harm to the patient. Tolerances are defined as the

boundaries of the magnitude change within which the treatment process is considered to be performed according to the prescribed conditions.

*Ключевые слова:* лучевая терапия, IMRT, VMAT, гарантия качества, верификация, гамма-индексирование, доза, допуски, уровни действия, онкология, медицинская физика.

*Keywords:* radiation therapy, IMRT, VMAT, quality assurance, verification, gamma-analysis, dose, tolerances, action limits, oncology, medical physics.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-252-255>

Критерии оценки результатов тестов, проводимых при вводе в эксплуатацию медицинской техники и систем дозиметрического планирования хорошо известны [1]. Тем не менее, критерии приемлемости для процедур гарантии качества (далее – QA) плана лечения в лучевой терапии с модуляцией интенсивности (далее – IMRT) и объемно-модулированной лучевой терапии (далее – VMAT) для конкретного пациента установить труднее из-за значительных различий между системами планирования, системами доставки дозы и инструментами измерений, используемыми в клиниках [2].

Дозовое распределение в плане облучения пациента, как правило, представлено в виде матрицы точек, каждой из которых присвоено значение дозы и координата. Расстояние между точками называется пространственным разрешением. Пространственное разрешение не обязательно должно быть одинаковым во всех направлениях и областях матрицы. Пространственное разрешение играет важную роль в отображении и анализе дозового распределения. Распределение, построенное по малому числу точек, может потребовать дополнительной обработки - интерполяции данных с использованием, например, изодозовых линий или цветового градиента. Интерполяция позволяет более эффективно использовать некоторые «грубые» методы измерений. Также разрешение существенно влияет на возможности сравнения дозовых распределений, особенно в случаях использования малых радиационных полей.

В ходе верификации, определяют два дозовых распределения: запланированное (или рассчитанное) и оцениваемое (измеренное). Как правило, измеренное распределение сравнивается с рассчитанным. Ряд систем инвариантен по отношению к выбору запланированного и оцениваемого распределения, некоторые – нет. Процесс сравнения этих двух распределений является частью клинической практики, цель которой – определить степень схожести рассчитанного и измеренного дозовых распределений в соответствии с клинически обоснованными критериями. Причём клинические критерии должны выбираться не только исходя из самой отпускаемой дозы, но и с учётом градиента доз, а также пространственных и дозиметрических неопределённостей.

Аналогом дозиметрических ошибок (разницы между ожидаемой и измеренной дозой в конкретной точке) является пространственный критерий расстояния, который показывает геометрическое совпадение двух дозовых распределений. Определение геометрической точности доставки дозы в области большого градиента должно, по меньшей мере, частично основываться на точности позиционирования пациента. Установление критериев оценки сравнения дозовых распределений более жёсткими, чем клинические требования к позиционированию пациента, приведёт к необоснованным и зачастую невыполнимым действиям, направленным на уменьшение связанных с этим ошибок в доставке дозы. Тем не менее, наличие пространственных погрешностей может быть связано с ошибками при проведении измерений. Также следует отметить, что даже в идеально поставленном эксперименте с высокой степенью точности доставки дозы, пространственные ошибки могут быть вызваны техническими ограничениями применяемого оборудования. Т.е. пространственные неопределённости, полученные в процессе измерений, включают в себя непосредственно погрешности технического процесса измерений.

В первом приближении сопоставление дозовых распределений не вызывает трудностей: само распределение представляет собой лишь матрицу чисел, а значит весь анализ можно свести к нахождению разности между точками двух матриц. Однако, в областях с сильным градиентом доз, разница в численных значениях имеет сильную зависимость от пространственных неопределённостей. Высокая чувствительность к геометрическим неточностям приводит к существенной разности между значениями дозы в точках, которые могут превысить клинически обоснованные критерии оценки, даже если сами эти неточности клинически незначительны.

Тест на алгебраическую разность значений доз наиболее прост для понимания и интерпретации. Разница в дозе в месте  $(\vec{r})$  представляет собой числовую разницу  $\delta$  между оцениваемой дозой  $D_e(\vec{r})$  и запланированной дозой  $D_p(\vec{r})$  в этом месте [3]. Математически разность в дозе может быть записана как:

$$\delta(\vec{r}) = D_e(\vec{r}) - D_p(\vec{r}). \quad (1)$$

Значения доз берутся из одних и тех же позиций анализируемых массивов данных. Этот анализ легко реализуем, когда отдельные элементы дозовых распределений занимают одинаковые позиции, в ином случае требуется дополнительная пространственная интерполяция. Тест на алгебраическую разность значений доз инвариантен с точностью до знака относительно выбора запланированного и оцениваемого распределения; в случае, когда они меняются местами, меняется знак рассчитанной разности. Тест на разность доз отлично подходит для понимания соответствия между двумя распределениями в областях с низким градиентом доз и низкими дозами. В этих регионах доза изменяется медленно в зависимости от местоположения, а разница в дозах свидетельствует о несоответствии между двумя распределениями независимо от пространственных неопределённостей.

Критерий расстояния (DTA) для точки в запланированном распределении определяется как кратчайшее расстояние между точкой в оцениваемом распределении дозы с такой же по значению дозы точкой в запланированном распределении [4]. DTA хорошо подходит для анализа отдельных областей с сильным градиентом дозы. Однако, как инструмент для сравнения изодозовых распределений, он становится сверхчувствительным в областях с низким градиентом доз.

Тест алгебраической разницы доз и критерий расстояния являются взаимодополняющими в своей чувствительности к областям со слабым и сильным градиентами доз соответственно. На практике используется инструмент, объединяющий оба эти теста – гамма-индексирование. В процессе гамма-индексирования сравниваются распределения дозы с геометрической точки зрения, оценивая смещение между запланированным и оцениваемым распределениями [5]. Эта оценка проводится независимо для каждой точки запланированного распределения. Запланированное распределение в данном случае может состоять из одной точки, в то время как оцениваемое распределение должно быть как минимум одномерным [5].

Для того чтобы можно было провести анализ, шкалы дозы и расстояния перенормируются так, чтобы стать безразмерными, путем деления их на критерий разности доз ( $\Delta D$ ) и критерий расстояния ( $\Delta d$ ) соответственно.

Смещение двух точек относительно друг друга,  $\vec{r}_r$  и  $\vec{r}_e$  в запланированном и оцениваемом распределениях соответственно, в перенормированном пространстве называются  $\gamma$ :

$$\Gamma(\vec{r}_e, \vec{r}_r) = \sqrt{\frac{r^2(\vec{r}_e, \vec{r}_r)}{\Delta d^2} + \frac{\delta^2(\vec{r}_e, \vec{r}_r)}{\Delta D^2}}, \quad (2)$$

где  $r(\vec{r}_e, \vec{r}_r)$  – расстояние между контрольной и оцениваемой точками, а  $\delta(\vec{r}_e, \vec{r}_r)$  – разность в абсолютных значениях дозы между ними же. Минимальное смещение определяется следующим образом:

$$\gamma(\vec{r}_r) = \min\{\Gamma(\vec{r}_e, \vec{r}_r)\} \forall \{\vec{r}_e\}. \quad (3)$$

Значения  $\gamma$  между 0 и 1 указывают на то, что сравнение прошло в соответствии с критериями обоих тестов. Значения больше 1 означают наличие ошибки. Поскольку  $\gamma$  – это смещение между двумя распределениями, и, по сути, радиус, проведённый между запланированной точкой и оцениваемым распределением, то критерием прохождения теста являются круг либо сфера в 1, 2 или 3-мерном пространстве дозового распределения соответственно. Гамма-индексирование само по себе не позволяет однозначно интерпретировать полученные результаты. Наиболее эффективным способом оценки эффективности теста является изучение его поведения в двух экстремальных условиях: с градиентом дозы, близким к нулю, и с резким градиентом дозы.

В каждой процедуре QA IMRT и VMAT плана есть место человеческому вкладу, который является источником неопределённостей. Другим источником неопределённостей является сложность реализации каждого отдельного IMRT и VMAT плана, например, различия в модуляции интенсивности отдельных локализаций, таких как голова, шея или предстательная железа [4]. Для того, чтобы учесть все вариации событий, которые могут произойти в течении процедуры верификации, можно установить специфические критерии оценки – уровни действия.

Уровни действия определяются как суммарный процент оцениваемой величины, на который допускается отклонение показателей, проверяемых системой QA, с минимальным риском причинения вреда пациенту [2], а также предельные значения для случаев, когда потребуются вмешательства в процесс лечения с целью корректировки параметров облучения. Примером достижения такого уровня действия является факт принятия решения не лечить пациента в случае, когда результат сравнительного анализа измеренного значения дозы в опорной точке и запланированного значения этой величины превышает предварительно определенный критерий приемлемости (например, 5%). Эти уровни будут зависеть от ряда факторов. В частности, использует ли медицинский физик при гамма-анализе относительные либо абсолютные значения доз, исключает области низких доз из анализа и какие уровни доз для этого использует. Уровни действия должны быть установлены на основе клинических требований относительно приемлемости конкретного отклонения.

Допуски определяются как границы изменения величины, в пределах которых процесс лечения считается выполняемым согласно предписанным условиям, т.е. подвержен только влиянию случайных ошибок. Результаты верификационных мероприятий за пределами допусков (или в случае быстрого движения к этим пределам) указывают на то, что процедура осуществляется не в соответствии с выбранными врачом-радиационным онкологом параметрами. Результаты измерений, которые находятся за пределами допусков, должны быть исследованы для того, чтобы определить, может ли вызвавшая их причина быть идентифицирована и исправлена. Целью этого подхода является устранение проблем до того, как они достигнут клинически неприемлемых порогов. При использовании уровней действия и допусков предполагается, что был выполнен тщательный процесс ввода в эксплуатацию всех систем, влияющих на результат проведения анализа [3].

Уровни действия должны ограничивать процесс QA таким образом, чтобы в случае выхода результатов измерений за эти уровни было очевидно, что реализация данного лечебного плана приведёт к негативным клиническим последствиям. Если результаты верификации выходят за установленные допуски, но находятся в пределах уровней действия, медицинский физик должен принять решение об осуществлении вмешательства в процесс лечения с целью корректировки параметров радиотерапевтического оборудования либо плана облучения.

Используя методы статистического анализа, измерения, проводимые в рамках QA, могут использоваться для определения локальных уровней действия, в случае если универсальные уровни по какой-либо причине не под-

ходят [9, 10]. Уровни действия, определенные таким образом, зависят от используемого оборудования и методик, и рассчитываются с использованием следующего уравнения [3]:

$$A = \beta \sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - T)^2}. \quad (4)$$

$\Delta A$  – разница между верхним и нижним уровнями действия, обычно записывается как  $\pm A/2$ .  $T$  – целевое значение процесса, а  $\sigma^2$  и  $\bar{x}$  – дисперсия и среднее значение, соответственно. В настоящее время принято считать  $\beta = 6.0$  [3], хотя это значение может быть изменено при дальнейших исследованиях. Использование формулы (4), вероятно, приведет к уровням действия, более широким, чем принято в настоящее время. Однако такие уровни действия должны позволить медицинским физикам сосредоточиться на проблемах верификации плана конкретного пациента, в случае если эти проблемы могут иметь идентифицируемые причины. Если  $T$  используется как показатель разности доз в конкретных точках для конкретного пациента (то есть  $T=0\%$ ) или степени прохождения по гамма-индексу (то есть  $T=100\%$ ), то следует использовать известное целевое значение. Если целевое значение неизвестно или не определено, то его среднее значение может использоваться в качестве целевого. Этот подход приведет к ужесточению уровней действия по сравнению с первым вариантом [3].

В данном случае среднее значение процесса  $\bar{x}$  и дисперсия  $\sigma^2$  вычисляются на основе измерений за период времени, когда процесс не отображает неконтролируемое поведение. Если процесс выходит из-под контроля, то необходимо выявить и устранить причину и продолжить мониторинг процесса, пока он не подтвердит хорошую степень контроля еще примерно для 20 измерений. Затем, в качестве пределов допусков используются пределы контрольной карты из специальной диаграммы (I-диаграммы) отдельных измерений. I-диаграмма – это статистический инструмент, который помогает идентифицировать любое измерение, в течении которого возникает ненормальное (неконтролируемое) поведение процесса. I-диаграмма имеет верхнюю и нижнюю границы (так называемые контрольные пределы) и центральную линию, которые рассчитываются с использованием данных измерений [5]. Неконтролируемое поведение процесса означает, что какое-либо одно измерение выходит за пределы верхнего или нижнего контрольного предела на I-диаграмме. Измерения должны быть примерно одинаково распределены выше и ниже центральной линии. Центральная линия, верхний контрольный предел и нижний контрольный предел для I-диаграммы рассчитываются с использованием следующих уравнений:

$$\text{Центральная линия} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (5)$$

$$\text{Верхняя контрольная линия} = \text{центральная линия} + 2,660 * \overline{mR}, \quad (6)$$

$$\text{Нижняя контрольная линия} = \text{центральная линия} - 2,660 * \overline{mR}, \quad (7)$$

где  $x$  – конкретное измерение в рамках проведения контроля качества,  $n$  – общее количество измерений,

$$\overline{mR} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n |x_i - x_{i-1}|. \quad (8)$$

– диапазон смещения.

В этой процедуре контрольные линии используются как диапазон значений допуска. Установление контроля над процессом является ключевым элементом этой процедуры, потому что контролируемый процесс является показателем того, что процедура стабильна и пригодна для целей QA IMRT и VMAT планов. Важно отметить, что полученные значения допусков будут зависеть от сложности плана из-за большей изменчивости измерений в зависимости от локализации. Следовательно, будет целесообразно рассчитывать допуски отдельно для случаев с высокой степенью модуляции и для случаев с низкой степенью модуляции, например, для планов головы и шеи в сравнении с планами лечения предстательной железы [4].

Последний шаг в процедуре – сопоставление допусков с установленными уровнями действия. Например, если допуски по  $\gamma$ -индексу ниже уровней действия, то либо необходимо пересмотреть процедуру их получения, либо уменьшить уровни действия (т. е. использовать большее значение  $\beta$  в уравнении (4)). Также для исправления процесса может потребоваться новое или модифицированное оборудование, обучение персонала, выполняющего измерения и анализ результатов измерений в рамках QA. Использование этой стандартизированной процедуры для установления уровней действия и допусков позволит медицинским физикам сравнивать процессы контроля качества в разных учреждениях здравоохранения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. American Association of Physicists in medicine Radiation Therapy Committee Task Group 53: quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning / B. Fraass [et al.] // Medical Physics. – 1998. – Vol. 25, № 10. – P. 1773–1829.
2. A method of setting limits for the purpose of quality assurance / T. Sanghathum [et al.] // Physics in Medicine and Biology. – 2013. – Vol. 58, № 19. – P. 7025–7037.
3. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218 / M. Miften [et al.] // Medical Physics. – 2018. – Vol. 45, № 4. – P. 53–83.
4. A software tool for the quantitative evaluation of 3D dose calculation algorithms / W.B. Sr. Harms [et al.] // Medical Physics. – 1998. – Vol. 25, № 10. – P. 1830–1836.
5. Quality assurance of volumetric modulated arc therapy: evaluation and comparison of different dosimetric systems / L. Masi [et al.] // Medical Physics. – 2011. – Vol. 38, № 2. – P. 612–621.

# СИСТЕМА ОТСЛЕЖИВАНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИНЦИДЕНТОВ В РАБОТЕ ОТДЕЛЕНИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

## RADIOTHERAPY INCIDENT TRACKING AND PREVENTION SYSTEM

***A. В. Гайда, Е. В. Гончарова, А. В. Рыбина, В. П. Зорин***  
***A. V. Haida, E. V. Hancharova, A. V. Rybina, V. P. Zorin***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
loshak2608@gmail.com*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus  
loshak2608@gmail.com*

Гарантия качества в радиационной онкологии представляет собой ряд процессов и процедур, разработанных для подтверждения того, что лучевая терапия будет проводиться или проводилась надлежащим образом, с соблюдением норм безопасности и с соответствующим документальным оформлением. Соблюдение этих процессов и процедур гарантирует подведение точных доз при запланированном облучении. Для улучшения безопасности и предотвращения аварийных облучений целесообразно внедрение в ежедневную работу всего персонала, задействованного в процесс лучевой терапии, системы отслеживания и регистрации любых несоответствий запланированному процессу лучевой терапии. Выявление и отслеживание инцидентов повышает безопасность и улучшает качество лечения.

Quality assurance in radiation oncology is a set of processes and procedures designed to confirm that radiation therapy will be or has been administered appropriately, in a safe and well-documented manner. Adherence to these processes and procedures will ensure that accurate doses are delivered for planned exposures. To improve safety and prevent accidental exposures, it is advisable to introduce into the daily work of all personnel involved in the radiation therapy process, a system for tracking and recording any inconsistencies with the planned radiation therapy process. Identifying and tracking incidents increases safety and improves the quality of care.

*Ключевые слова:* лучевая терапия, радиационная безопасность, аварийное облучение, форма регистрации происшествий.

*Key words:* radiation therapy, radiation safety, emergency exposure, incident registration form.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-256-259>

Службы радиационной безопасности в медицинских учреждениях существуют для обеспечения безопасного и эффективного использования ионизирующего излучения в медицине. Благодаря соблюдению норм радиационной безопасности и грамотно организованной системы гарантии качества радиационные аварии происходят относительно редко, но могут иметь достаточно тяжелые последствия для пациентов, персонала и населения.

Однако исключить полностью ошибки из практики работы очень сложно. В публикациях МКРЗ 103 и серии рапортов безопасности МАГАТЭ № 17 описано 13 случаев аварийных облучений в дистанционной лучевой терапии и 6 случаев аварийных облучений при проведении брахитерапии [1]. За 1992–2008 гг. было предотвращено более 4500 инцидентов, из них около 50% – случайным образом.

Случаи аварийного облучения происходили на разных этапах подготовки и лечения, что говорит о необходимости выявления ошибок и инцидентов, которые могут привести к аварийной ситуации на всех этапах процесса лучевого облучения, и разработки мер по предотвращению аварий.

Аварийное медицинское облучение – любой курс лечения проведенный не для того пациента, или не для запланированной ткани, или с использованием другого радиофармацевтического препарата, или с применением активности, дозы либо фракционирования дозы, отличающихся от величин, предписанных врачом-радиологом, способных привести к чрезмерно тяжелым побочным эффектам.

Инцидент – любое носящее непреднамеренный характер событие, включая ошибки при эксплуатации, отказы оборудования, исходные события, события-предшественники аварии, события, близкие к аварийной ситуации, или другие неполадки, или несанкционированные действия злоумышленного или незлоумышленного характера, последствия или потенциальные последствия которого не являются пренебрежимо малыми с точки зрения защиты и безопасности.

Происшествие – любое несоответствие процессу лучевой терапии, которое может повлиять на качество лечения и безопасность пациента.

Потенциальные происшествия – ошибки, которые прошли сквозь несколько барьеров безопасности и были случайным образом обнаружены до возникновения инцидентов или аварийных облучений.

Инциденты, происшествия, потенциальные происшествия гораздо многочисленней и разнообразней аварийных облучений, поэтому их анализ дает больше возможностей для изучения и улучшения безопасности, чем анализ исключительно аварийных облучений.

Сотрудники медицинского учреждения, как правило, очень дорожат своим репутацией и репутацией отделения, учреждения здравоохранения. Особенно болезненно встает вопрос о корпоративной этике при возникновении ошибок или инцидентов, приводящих к отклонению от предписанного плана лечения по незапланированным причинам. Однако замалчивание или игнорирование проблем может привести к серьезным последствиям и повтору инцидентов при лечении других пациентов. Повторяющиеся инциденты говорят о том, что в системе гарантии качества облучения есть пробелы, которые могут подорвать доверие общественности, приводят к неэффективной трате времени и денег на устранение последствий, которых можно было бы избежать. Поэтому возникает необходимость ведения отчетности и регистрации происшествий, а также их анализа для предотвращения повторения таких ситуаций. Отчасти вопрос регистрации, фиксации и анализа происшествий при проведении лучевой терапии лежит в области деонтологии [2]. Поэтому цель работы системы отслеживания и регистрации любых несоответствий запланированному процессу лучевой терапии является предотвращение повторных инцидентов и поиск наилучших вариантов исправления и минимизации последствий возникновения таких инцидентов, а не поиск или наказание конкретного виновного в происшествии сотрудника.

Нами разработана и внедрена в работу персонала специальная форма регистрации инцидентов и потенциальных происшествий, которая позволяет фиксировать, отслеживать, а также предотвращать их появление в дальнейшем.

Для предотвращения аварийных ситуаций крайне важно честное и открытое информирование о проблемах, возникающих на любых этапах и уровнях работы персонала лучевой терапии с пациентом от момента его поступления в отделение лучевой терапии до окончания лечения. Работоспособность такой системы как отделение лучевой терапии и достижение поставленных отделением целей требует взаимного доверия между персоналом, занятым в процессе лечения пациентов. Выявление и обсуждение ошибок должно приветствоваться, а не наказываться. Такая система может функционировать только на добровольной основе и при правильном понимании персоналом целей регистрации происшествий. Работники не должны бояться наказания. Вероятность быть наказанным не способствует распространению информации об ошибках. Замалчивание инцидента увеличивает вероятность его повторения, а также того, что не обнаруженная ошибка может привести к более серьезным последствиям.

Поэтому форма регистрации происшествий носит конфиденциальный характер. В ней фиксируется должность того, кто обнаружил несоответствие процесса лучевой терапии запланированному, в ней нет указаний имени обнаружившего и допустившего ошибку. Важно фиксировать, на каком из этапов произошло происшествие, при каких обстоятельствах оно было обнаружено, причину возникновения и какие меры были предприняты для устранения последствий происшествия и предотвращения возникновения таких ситуаций в дальнейшем.

Форма регистрации происшествий может иметь разный вид, в зависимости от потребностей и материально-технических возможностей отделения [3]. Однако, есть пункты, которые являются обязательными для полного и достоверно анализа происшествий. В форме указывается ID пациента (без указания персональных данных), чтобы можно было рассмотреть это возникшую проблему более подробно при последующем анализе. Любые другие сведения о пациенте (возраст, диагноз, локализация опухоли и др.) указываются только если эти данные имеют важное значение для описания происшествия.

При обнаружении проблемы во время лечения или непосредственно перед лечением, необходимо указать, на каком из аппаратов проходит лечение. Часто на этом этапе обнаруживаются технические проблемы или особенности аппарата, которые необходимо учитывать при подготовке или планировании лечения пациента.

Важно указать, кто из персонала зафиксировал инцидент (врач, медицинский физик, инженер, медсестра) и на каком этапе (подготовка, планирование, лечения, после лечения). Если проблема возникла во время лечения при проведении курса дистанционной лучевой терапии, необходимо отметить, на каком из этапов курса это произошло (в начале курса, середине, конце или спустя время после лечения). При необходимости указать количество пролеченных фракций, потребовало ли решение проблемы снятия пациента со стола или переноса облучения на длительный срок.

Еще один важный фактор – это время, которое потребовалось для устранения проблемы. Во-первых, время устранения ошибки характеризует, насколько серьезной оказалась проблема. Во-вторых, если инцидент все-таки повторяется, то устранение последствий должно занимать меньше времени, чем в предыдущий раз. Если время увеличивается, то это свидетельствует о том, что происшествие не было проанализировано или способ устранения проблемы выбран не верно. В таких случаях следует еще раз подробно разобрать причины и проработать способы решения данного происшествия.

Если на этапе регистрации происшествия известна причина, или предположительная причина происшествия, ее так же следует указать в форме регистрации.

Не менее важно отметить, какие именно действия были предприняты после обнаружения проблемы. Была ли она решена и как. Иногда решение проблемы можно отложить, но достаточно часто устранить последствия инцидента необходимо в кратчайшие сроки, чтобы не прерывать и не откладывать лечение пациента. При обсуждении происшествия действия после обнаружения проблемы должны быть проанализированы и дополнены или изменены при необходимости.

### ФОРМА РЕГИСТРАЦИИ ПРОИСШЕСТВИЙ (БРАХИТЕРАПИЯ)

ID Пациента:

Дата:

Описание:

Кто обнаружил?

Врач

Физик

Инженер

Медсестра

Какой аппарат?

MicroSelectron Digital

MicroSelectron V3

Когда обнаружили?

Этап подготовка

Лечение

Планирование

После лечения

Потребовалось ли снимать папьева со стола?

Да

Нет

Затраченное на решение проблемы время:

Причина:

Рецензент:

Дальнейшие действия:

Дата:

Рис. 1 – Пример формы регистрации происшествий в отделении лучевой терапии

Регистрация происшествий и подробное описание причин и способов решения проблем, возникающих при инцидентах, не имеет смысла без последующего анализа и обсуждения путей решения проблем, а также выработки мер по предотвращению повторения таких ситуаций. Такой анализ можно проводить ежемесячно, еженедельно или по мере необходимости. Хотя каждое событие уникально, в причинах и источниках риска возникновения происшествий могут быть сходства и закономерности, которые в противном случае остаются незамеченными, если об инцидентах не сообщать и не анализировать их [4].

Предпочтительно, чтобы в обсуждении происшествий и разработке мер по предотвращению инцидентов участвовал весь персонал, задействованный в процессе лечения. На практике достаточно сложно организовать такой формат из-за загруженности отделения и персонала. Однако, очень важно, чтобы информация и извлечённые из анализа происшествий уроки эффективно распространялась среди всех работников, принимающих участие в работе отделения. Необходимо точное и полное представление информации для обеспечения быстрого расследования и выявления наиболее эффективных мер для решения проблемы. Важно информировать всех участников лечебного процесса о принятых при анализе происшествий решениях и алгоритмах действия при обнаружении похожих инцидентов.

Использование такой системы регистрации отслеживания и предотвращения инцидентов в радиологических отделениях ведет к сокращению количества новых происшествий, позволяет определять ошибки до того, как они

проявятся и отрицательно повлияют на состояние пациента, а также уменьшить отрицательное влияние незапланированных отклонений при проведении процедуры лечения. Конечной целью является улучшение качества лечения и безопасности пациента.

К сожалению, практика показывает, что избежать полностью случайных ошибок и происшествий при проведении процедур лучевой терапии невозможно, однако важно организовать работу таким образом, чтобы не допускать закономерных и повторяющихся инцидентов и потенциальных происшествий. Анализ зарегистрированных происшествий и внедрение в процесс лечения мер по предотвращению повторения подобных ситуаций способствует улучшению радиационной безопасности отделения лучевой терапии и увеличивает шансы избежать в дальнейшем ситуаций, способных негативным образом повлиять на качество лучевого лечения пациентов отделения лучевой терапии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер с англ. /под общей ред. М.Ф. Киселёва. –М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009.– 344 с.
2. *Костылев, В.А.* Медицинская физика / В. А. Костылев, Б. Я. Наркевич –М.: Медицина, 2008. – 464 с.
3. Safety Reporting and Learning System for Radiotherapy (SAFRON) [Electronic resource] . – Mode of access: <https://rpop.iaea.org/SAFRON/>. – Date of access: 15.03.2021.
4. *Sherman, H.* Towards an international classification for patient safety: the conceptual framework, / H. Sherman, G. Castro, et al. // Int J Qual Health Care. – 2009; Vol. – 21, iss. 2. – P. 8.
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Lessons learned from accidents in radiotherapy. Safety Reports Series No. 17. – Vienna : IAEA, 2000. – 95 p.

## РАДОН В ВОЗДУХЕ ЗДАНИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ RADON IN AIR OF PREMISES IN SETTLEMENTS OF VITEBSK REGION

***И. В. Жук<sup>1</sup>, Ж. А. Лукашевич<sup>1</sup>, Т. В. Лисянович<sup>1</sup>,  
Л. Л. Василевский<sup>1</sup>, Д. А. Хакимов<sup>1</sup>, А. В. Сосновский<sup>2</sup>  
I. Zhuk<sup>1</sup>, J. Lukashevich<sup>1</sup>, T. Lisyanchich<sup>1</sup>,  
L. Vasileuski<sup>1</sup>, D. Hakimov<sup>1</sup>, A. Sosnovskiy<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси,  
Минский р-н, Республика Беларусь  
lab13@sosny.bas-net.by*

*<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*<sup>1</sup>Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk region, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>Education institution «Belarusian State Medical University» Minsk, Republic of Belarus*

Систематические исследования по мониторингу радона в воздухе помещений в Республике Беларусь проводятся научным учреждением «ОИЭЯИ-Сосны» с 2002 г. В данной работе представлены результаты мониторинга радона в воздухе помещений в населенных пунктах Витебской области в октябре 2016 г. – феврале 2017 г. В Республике Беларусь не менее 40 % территории является потенциально радоноопасной. Это обуславливает необходимость проведения систематических радонометрических исследований.

The systematic radon monitoring in the air of premises in the Republic of Belarus has been carried out by the scientific institution “JIPNR-Sosny” since 2002. The results of radon monitoring in the air of premises in the Vitebsk region since October 2016 till February 2017 are presented. At least 40 % of the territory of the Republic of Belarus is potentially radon-hazardous. This makes systematic radon monitoring a necessity.

*Ключевые слова:* радон, эквивалентная равновесная объемная активность, Витебская область, твердотельные трековые детекторы.

*Keywords:* radon, equivalent equilibrium volumetric activity, the Vitebsk region, solid state track detectors.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-259-263>

В настоящее время большое внимание международных и общественных организаций уделяется обсуждению и разработке подходов к обеспечению защиты населения от природного радона. Во многих странах мира

(Швеция, Великобритания, Германия, Бельгия, США, Россия и др.) в течение последних 30–40 лет проводятся систематические радонометрические исследования и повторяются ввиду многофакторной зависимости объемной активности радона от климатических, метеорологических и других условий с различной периодичностью [1]. Всемирная организация здравоохранения отнесла радон к соединениям, классифицируемым как канцероген для легких человека. Радон является вторым по значимости (после курения) фактором риска возникновения легочной онкопатологии. По разным оценкам авторитетных международных организаций, от 3 % до 14 % случаев рака легких обусловлено облучением населения дочерними продуктами распада радона в жилищах. Учитывая данные обстоятельства, ограничение облучения населения радоном является важной научно-практической задачей, решение которой выходит за рамки исключительно радиологических аспектов и приобретает большое значение для здравоохранения [2].

В Республике Беларусь систематические исследования по мониторингу радона в воздухе помещений проводятся научным учреждением «ОИЭЯИ-Сосны» (в том числе совместно с другими организациями) с 2004 г. и продолжаются до настоящего времени. В Беларуси не менее 40% территории является потенциально радоноопасной, поскольку радон может поступать в помещения, расположенные в зонах тектонических разломов.

Облучение радоном относится к ситуации существующего облучения, поскольку его источником являются неизменные концентрации урана-238, радия-226, которые встречаются в природе в почвах и горных породах. В результате распада радия-226 образующийся радон эманурует из земной коры и вследствие этого присутствует в атмосферном воздухе и внутри всех зданий, в том числе на рабочих местах. Наблюдается значительная вариабельность объемной активности радона в воздухе помещений, обусловленная главным образом геологией территории и факторами, влияющими на разницу давлений снаружи и внутри здания (скорость воздухообмена, отопление здания и метеорологические условия). Тогда как объемная активность радона, поступившего из почвы, быстро разбавляется в наружном воздухе, в закрытых помещениях этого не происходит и в зависимости от скорости вентиляции газообразный радон может накапливаться в здании. Деятельность человека может создавать или изменять пути поступления радона в помещения с помощью профилактических или корректирующих действий, т. е. мер противорадиационной защиты. Поэтому важным является проведение мониторинга радона в помещениях на основании разработанной стратегии и тактики [2].

На основании определений объемной активности радона в четвертичных отложениях, породах платформенного чехла и фундамента автором работ [3] построена схема районирования территории Беларуси по степени радоновой опасности покровных отложений (грунтов), содержание газа в которых в значительной степени влияет на его поступление в жилые и производственные помещения. Выделено пять типов территорий: потенциально радоноопасные, потенциально радоноопасные на отдельных площадях, потенциально радоноопасные на локальных участках, относительно радонобезопасные и радонобезопасные. Потенциально радоноопасные покровные отложения, составляющие около 2 %, встречаются в Гродненской, Витебской и Могилевской областях (объемная активность радона составляющих пород чехла и фундамента изменяется от 40 000 до 70 000 Бк/м<sup>3</sup> и более). Другие типы радоноопасных грунтов распространены значительно шире и составляют: потенциально радоноопасные на отдельных площадях – 15 % (значительная часть находится на территории Витебской области), потенциально радоноопасные на локальных участках – 40 %, относительно радонобезопасные – 35 % и радонобезопасные – 8 % территории Беларуси.

По данным, полученным научным учреждением «ОИЭЯИ-Сосны» до 2015 г., составлена карта радоновой опасности территории Республики Беларусь [4], согласно которой наблюдается существенная неоднородность в распределении концентрации радона по территории Беларуси. Пятна с потенциальным критическим уровнем радоновой опасности (200–400 Бк/м<sup>3</sup>) расположены на территории Витебской, Могилевской и Гродненской областей. Проведенный сравнительный анализ карты загрязнения территории Беларуси радиоцезием и картограммы потенциальной радоноопасности территории показал, что чернобыльское загрязнение и уровень радоноопасности территории являются разнонаправленными. Так, территории Витебской, Могилевской и Гродненской областей являются наименее загрязненными радиоцезием, поэтому зачастую дозы облучения населения от чернобыльских радионуклидов значительно меньше, чем уровень облучения от радона.

В соответствии с рекомендациями Международной Комиссии по Радиационной защите измерения объемной активности радона в воздухе помещений Республики Беларусь проводились интегральным методом пассивной трековой радиометрии с использованием твердотельных трековых ядерных детекторов альфа-частиц согласно методике [5]. В качестве детекторов использовалась нитроцеллюлозная пленка LR-115, тип 2, производства фирмы DOSIRAD (Франция), позволяющая применить относительно простой искровой способ счета треков на детекторах. При проведении мониторинга радона в воздухе зданий в Беларуси использовались интегральные трековые радиометры радона.

Интегральный метод пассивной трековой радиометрии измерения объемной активности радона имеет следующие преимущества: обеспечивает возможность одновременных массовых исследований помещений; обеспечивает получение информации о средней концентрации радона, интегрированной за длительный период экспозиции детекторов (до месяца и более), что позволяет учесть сезонные колебания эксгаляции радона из почвы и реальные режимы эксплуатации помещений (частоту проветривания помещений, условия вентиляции и др.);

обеспечивает возможности экспрессного снятия информации с десятков и сотен тысяч детекторов; надежное сохранение информации во время длительных экспозиций.

Измерение объемной активности радона в воздухе помещений согласно методике [5], включает следующую последовательность операций: подготовка радонметров к экспонированию в воздухе исследуемых помещений; размещение радонметров в исследуемых помещениях; экспонирование радонметров в воздухе выбранных помещений; сбор радонметров после окончания экспонирования; разрядка радонметров для последующей обработки твердотельных детекторов; химическая обработка (травление твердотельных детекторов; подсчет числа импульсов и определение плотности треков на твердотельных детекторах; расчет объемной активности радона в воздухе. Время экспозиции составляет 2–3 месяца. Большинство измерений проводится в холодный сезон и на первых этажах зданий.

Химическая обработка трековых детекторов (травление) и автоматический подсчет треков на детекторах после экспозиции интегральных пассивных радонметров в воздухе исследуемых помещений проводилась с использованием комплекса средств измерений объемной активности радона (КСИОАР), разработанного в Радиовом институте им. И.В. Хлопина. Комплекс средств измерений интегральной объемной активности радона (ОА) в воздухе трековым методом (КСИОАР 01) представлен на рис. 1.



Рис.1 - Фотография прибора для травления трековых детекторов - термостат ТРАЛ-1 (1- травильное устройство; 2-электронный блок), прибора для автоматического истрогового счета треков АИСТ-2В (3) и радонметра (4)

Для получения представляемых в настоящей работе данных организованы и проведены в октябре 2016 г. – феврале 2017 г. полевые экспедиции в 36 населенных пунктах 9 административных районов Витебской области для размещения, длительной экспозиции радонметров (1–3 месяца).

При выборе населенных пунктов учитывались следующие критерии: разнообразие строительных материалов зданий (дерево, кирпич, бетон и др.), их тип (жилые, административные, детские и др.), этажность (преимущественно одноэтажные жилые дома старой постройки, первый этаж многоэтажных зданий), а также выбирались те населенные пункты, в которых мониторинг радона ранее не проводился.

Общее количество обследованных помещений составило 264. Среди них 228 жилых и 36 общественных и производственных помещений. Основную часть (73,1 %) составляли одноэтажные сельские здания. Из общего количества обследованных зданий 23,5 % изготовлены из дерева, 59,1 % – из минерального сырья (кирпич, блоки, панель, бетон и т. п.), 17,4 % – из смешанных материалов (дерево, обложенное кирпичем, щиты и т.п.). 20,1 % зданий из обследованных имели центральное отопление, 26,9 % – печное и 52,7 % – местное (водяное, паровое, газовое).

Измеряемой величиной при мониторинге радона в помещениях является объемная активность радона ( $OA_{Rn}$ ). Нормируемым в Республике Беларусь параметром является среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона ( $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ ), которая в эксплуатируемых жилых зданиях не должна превышать 200 Бк/м<sup>3</sup>. При превышении указанного значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  необходимо проведение противорадоновых мероприятий, направленных на снижение данного показателя.

С использованием измеренных значений  $OA_{Rn}$  и соответствующими методическими указаниями определены среднегодовые значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  для каждого помещения. В таблице 1 приведены данные по уровням  $OA_{Rn}$  и  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  в воздухе обследованных помещений районов Витебской области.

Гистограмма распределения значений  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  для зданий, расположенных в обследованных районах Витебской области, представлена на рис. 2, согласно которой основную долю составляют помещения, для которых  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  не превышает 100 Бк/м<sup>3</sup>.

Таблица 1 – Распределение значений  $OA_{Rn}$  и  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  в воздухе помещений населенных пунктов Витебской области

Административный район	Кол-во обследованных населенных пунктов, шт.	Объем выборки исследованных помещений, шт.	Значение $OA_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup>		Значение $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup>		Доля помещений с $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ , %	
			Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	>100 Бк/м <sup>3</sup>	>200 Бк/м <sup>3</sup>
Россонский	4	40	136	405	69	201	23	3
Браславский	4	40	192	1620	97	793	25	5
Верхнедвинский	5	40	108	360	56	179	15	0
Глубокский	4	19	119	295	61	147	11	0
Шумилинский	2	7	91	135	48	69	0	0
Дубровенский	4	32	57	230	31	115	3	0
Толочинский	4	34	88	345	46	171	9	0
Оршанский	4	29	91	645	47	318	3	3
Полоцкий	5	23	107	335	58	167	13	0
В целом по Витебской области	36	264	115	1620	59	793	13	2

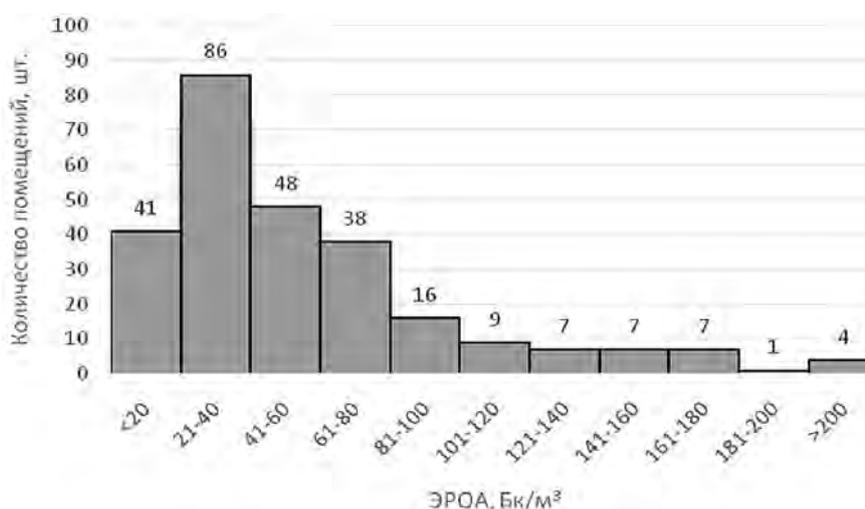


Рис. 2 – Гистограмма распределения значений  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  для зданий, расположенных в обследованных районах Витебской области

Полученные результаты исследований показывают, что средние значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  в обследованных административных районах Витебской области варьируют от 31 до 97 Бк/м<sup>3</sup>. Значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  более 100 Бк/м<sup>3</sup> зафиксированы в 35 помещениях, составляющих 13 % от общего количества обследованных помещений. Превышение нормируемого законодательством Республики Беларусь значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  более 200 Бк/м<sup>3</sup> наблюдается в 4 помещениях или в 2 % случаев. Такое превышение зафиксировано в жилых домах Россонского (201 Бк/м<sup>3</sup>), Браславского (793 и 310 Бк/м<sup>3</sup>) и Оршанского (318 Бк/м<sup>3</sup>) районов. В указанных помещениях необходимо проведение противорадоновых мероприятий, направленных на снижение уровня объемной активности радона.

Для представленных в статье данных выполнена географическая привязка и пространственный анализ результатов измерений концентраций радона в жилых помещениях, что позволит актуализировать карты уровней среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе жилых помещений на территории Беларуси.

По данным на 01.12.2020 общее количество обследованных зданий на территории Беларуси составляет 5543, из них 4264 – жилые дома. За 2016-2020 годы было обследовано 919 помещений расположенных в 207 населенных пунктах 46 районов всех областей Беларуси, выбранных для проведения измерений. Превышение нормируемого законодательством Республики Беларусь значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  200 Бк/м<sup>3</sup> зафиксировано в 125 (2,3 %) зданиях на территории Беларуси, из которых 83 помещения являются жилыми.

Проводимые на территории Беларуси радоновые исследования имеют важное социальное значение, поскольку направлены на формирование базы данных по уровням объемной активности радона в воздухе помещений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследования по проблемам радона в Беларуси и других странах Европы / О.И. Ярошевич [и др.] // Вестник ФФИ. – 2013. – № 4. – С. 101–117.
2. Радон: здоровье, опасность, защитные мероприятия / А.К. Карабанов [и др.] // Наука и инновации. – 2013. – № 4 (122). – С. 63– 67.

3. *Матвеев, А.В.* Районирование территории Беларуси по степени радоновой опасности грунтов / А.В. Матвеев // Доклады НАН Беларуси. – 2016. – Т. 60, № 5. – С. 108–112.

4. *Чунихин, Л.А.* Карта радоновой опасности территории Республики Беларусь / Л.А. Чунихин, А.Л. Чеховский, Д.Н. Дроздов // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9. – № 4. – С. 43–46.

5. Методика определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: МВИ. Мн. 1808-2002. – Минск, 2002. – 18 с.

## **ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА ПРИ УПОТРЕБЛЕНИИ В ПИЩУ МЯСА ДИКИХ ЖИВОТНЫХ, ДОБЫТЫХ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС**

### **ESTIMATION OF HEALTH RISK FOR PERSON CONSUMING BUSHMEAT TAKEN AT THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE**

***В. Н. Калинин, В. Н. Забродский***

***V. N. Kalinin, V. N. Zabrotski***

*Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский  
государственный радиационно-экологический заповедник»*

*Хойники, Республика Беларусь  
zapovednik.nauka@mail.ru*

*The state nature protection research establishment «Poleski state radiation-ecological reserve»  
Khoyniki, Republic of Belarus*

Результаты исследования содержания  $^{137}\text{Cs}$  в образцах мяса диких животных, добытых на территории зоны отчуждения в рамках охотничьих туров, показали, что эта величина может изменяться в широком диапазоне. На основе гигиенических нормативов с использованием дозовых коэффициентов были рассчитаны возможные дозы внутреннего облучения, связанные с употреблением (в соответствии с составом потребительской корзины) в пищу мяса диких животных, а также величины годового риска здоровью человека. При употреблении в пищу мяса диких животных, соответствующего гигиеническому нормативу, величина годового риска не превышает граничное значение обобщенного риска, равное  $1,0 \times 10^{-5}$  год $^{-1}$  для населения.

According to the gamma-spectrometry analysis measurements of the bushmeat samples taken by hunters in exclusion zone  $^{137}\text{Cs}$  activity concentration could reach the value of 3 kBq/kg. The probable effective doses of the internal irradiation of the bushmeat consumers were calculated according to the consumer basket and using the dose coefficients (dose per unit exposure). In case of the consumption of the bushmeat that meets the hygienic level the radiation risk of cancer mortality will not exceed the value of the generalised risk equal  $1,0 \times 10^{-5}$  year $^{-1}$  for the population.

*Ключевые слова:*  $^{137}\text{Cs}$ , дикие животные, зона отчуждения, пища, дозовые коэффициенты, риск, гигиенический норматив.

*Keywords:*  $^{137}\text{Cs}$ , wild animals, exclusion zone, food, dose coefficient, risk, hygienic specification.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-263-266>

В связи со снятием антропогенной нагрузки в 30-км зоне создались благоприятные условия для развития растительного мира и восстановления животного мира. В заповеднике наблюдаются 61 вид млекопитающих, 233 вида птиц, включая 42 вида оседлых, 33 вида рыб, 7 видов рептилий, 11 видов земноводных. По данным учета численности диких животных, проведенного в начале 2020 года, на этой территории обитает 1224 лося, 1980 оленей, 704 косуль, 320 кабанов, около 100 волков.

Распоряжением Президента Республики Беларусь от 7 августа 2019 г. № 147 «О предоставлении охотничьих угодий» охотничьи угодья экспериментально-хозяйственной зоны предоставляются в безвозмездное пользование заповеднику для ведения охотничьего хозяйства. При этом к нормируемым видам охотничьих животных относятся лось, олень благородный, косуля европейская, бобр, выдра [1]. После добычи животного представитель охотпользователя (руководитель охоты – ведущий охотовед, егерь) осуществляет отбор проб мышечной ткани и доставляет их в лабораторию для определения содержания  $^{137}\text{Cs}$ . По результатам измерения составляется протокол (ведомость испытаний), содержащий заключение о соответствии либо не соответствии предоставленного

образца гигиеническому нормативу (РДУ 99) Накопленные к настоящему времени результаты определения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в исследованных образцах приведены в таблице 1.

Для определения соответствия содержания  $^{137}\text{Cs}$  установленным требованиям сумма полученного значения удельной активности и его неопределенности сравнивалась с нормативным значением. Образцы 3 и 7, 7А, 8, 9 и 12 по результатам анализа признаны не соответствующими гигиеническому нормативу, туша животного в этом случае отправлялась на утилизацию.

Мясная продукция, прошедшая радиационный контроль и соответствующая республиканским допустимым уровням, передаётся охотнику с последующей оплатой разрешения на добычу охотничьего животного по окончании охотничьего тура.

Таблица 1 – Удельная активность  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в органах/тканях лося и оленя, добытых охотниками в 2020 г.

№ п/п	Наименование образца	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	$^{90}\text{Sr}$ , Бк/кг
1	Мышечная ткань оленя благородного	89,0±21,0	–
2	Мышечная ткань лося	99,5±26,5	–
3	Мышечная ткань лося	2812±562	95±41
4	Мышечная ткань лося	377±101	<121
5	Мышечная ткань лося	221±61	<40
6	Мышечная ткань лося	50,0±16,0	<35
7	Мышечная ткань лося	466±93	<31
7А	Печень лося	652±140	<20
8	Мышечная ткань лося	862±172	<50
9	Мышечная ткань оленя	880±176	<52
10	Мышечная ткань оленя	256±57	<85
11	Мышечная ткань оленя	156±34	<45
12	Мышечная ткань оленя	1859±492	<35

Основная трудность дозиметрии внутреннего облучения состоит в невозможности прямыми методами измерения непосредственно зарегистрировать дозу внутреннего облучения тела или критического органа.

Процесс определения дозы можно разбить на 2 части:

- определение активности радионуклида в организме;
- последующий расчет дозы облучения с учетом метаболизма радионуклида за тот или иной промежуток времени.

Инкорпорированную активность в теле человека определяют тремя способами.

Первый – измерение концентрации радионуклида в источнике поступления (воздух, вода, продукты питания) с последующим расчетом отложения и удержания в организме. *Достоинства метода* – простота приборного обеспечения и широкое применение для целей группового радиационного контроля. *Недостатки* – значительная погрешность в определении доз внутреннего облучения (в несколько раз) из-за невозможности учета индивидуального потребления (продуктов питания, объема воздуха, прошедшего через легкие и т. д.), реальных характеристик поступающего радионуклида (дисперсность аэрозолей, их физико-химические свойства и т. д.), индивидуальных параметров усвоения.

Второй – определение радиоактивности в биологических субстратах (моче, кале, крови, волосах, зубах и т. д.) с последующим пересчетом на основании принятых моделей метаболизма. *Достоинства метода* – возможность оценки доз внутреннего облучения за счет  $\alpha$ -излучателей и низкоэнергетических  $\beta$ -излучателей. *Недостатки* – высокая погрешность (до 100%) из-за индивидуальной биологической или суточной вариабельности выделения.

Третий – прямое измерение содержания радионуклида в организме (органе) регистрацией их проникающего излучения, исходящего из тела человека.

Для наиболее полной оценки вреда, который может быть нанесен здоровью в результате облучения в малых дозах, определяется ущерб, количественно учитывающий как эффекты облучения отдельных органов и тканей тела человека, отличающиеся чувствительностью к ионизирующему излучению, так и всего организма в целом. В соответствии с общепринятой в мире линейной беспороговой теорией зависимости риска стохастических эффектов от дозы облучения величина риска пропорциональна дозе облучения и связана с дозой через линейные коэффициенты радиационного риска. Для оценки ожидаемой годовой эффективной дозы облучения на единицу перорального поступления для населения используются дозовые коэффициенты  $e(g)$ , приведенные в [2], для возрастной группы риска старше 17 лет для  $^{137}\text{Cs}$   $e(g)_{\text{Cs}} = 1,3 \times 10^{-8}$  Зв/Бк, для  $^{90}\text{Sr}$   $e(g)_{\text{Sr}} = 2,8 \times 10^{-8}$  Зв/Бк.

Таблица 2 – Ожидаемые эффективные дозы облучения на единицу перорального поступления для населения

Нуклид	Физический полураспад	$f_i$	$e(g)$ , Зв/Бк для лиц старше 1 года				
			1–2 года	2–7 лет	7–12 лет	12–17 лет	>17 лет
Sr-90	29,1 года	0,300	$7,3 \times 10^{-8}$	$4,7 \times 10^{-8}$	$6,0 \times 10^{-8}$	$8,0 \times 10^{-8}$	$2,8 \times 10^{-8}$
Cs-137	30,0 года	1,000	$1,2 \times 10^{-8}$	$9,6 \times 10^{-9}$	$1,0 \times 10^{-8}$	$1,3 \times 10^{-8}$	$1,3 \times 10^{-8}$

Где  $f_i$  – коэффициент переноса для кишечника,  $e(g)$  – ожидаемая эффективная доза на единицу перорального поступления, Зв/Бк для различных возрастных групп населения.

Годовую эффективную дозу внутреннего облучения ( $H_{\text{внут}}$ ), связанную с потреблением пищевого продукта, содержащего  $^{137}\text{Cs}$ , для взрослого населения, можно рассчитать по формуле [3]:

$$H_{\text{внут}} = A_y \cdot M_{\text{год}} \cdot f_i \cdot e(g)_{\text{Cs}} \cdot B,$$

где  $A_y$  – удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пищевом продукте,  $M_{\text{год}}$  – годовое потребление пищевого продукта,  $f_i$  – коэффициент переноса для кишечника,  $B$  – коэффициент, учитывающий потери радионуклида при кулинарной обработке.

В соответствии с составом потребительской корзины в Беларуси годовое потребление говядины мужчиной старше 18 лет составляет 21,4 килограмма. Если считать, что вместо говядины будет употребляться мясо диких животных, то можно оценить соответствующую дозу внутреннего облучения и величину риска для человека, используя коэффициенты номинального риска.

Таблица 3 – Коэффициенты номинального риска с учетом вреда рака и наследственных заболеваний

Облучаемая группа населения	Коэффициент риска злокачественных новообразований, $\times 10^{-2}$ Зв $^{-1}$	Коэффициент риска наследственных эффектов, $\times 10^{-2}$ Зв $^{-1}$	Сумма, $\times 10^{-2}$ Зв $^{-1}$
Все население	5,5	0,2	5,7
Взрослые	4,1	0,1	4,2

Годовая доза внутреннего облучения рассчитана из объема годового потребления мяса диких животных 21,4 кг и коэффициента, учитывающего потери радионуклида при кулинарной обработке,  $B=0,5$ . В таблице 4 также приведены соответствующие этим дозам значения годового риска.

Таблица 4 – Годовая доза внутреннего облучения и соответствующие этим дозам значения годового риска

	$A_y$ Бк/кг	Годовая доза, мЗв	Риск, 1/год
Минимум	50	0,007	$2,92 \times 10^{-7}$
Максимум	377	0,052	$2,20 \times 10^{-6}$
Результаты, не соответствующие гигиеническому нормативу			
Минимум	466	0,065	$2,72 \times 10^{-6}$
Максимум	2812	0,391	$1,64 \times 10^{-5}$

Оценить величину риска, связанного с употреблением в пищу мяса диких животных, содержащих  $^{137}\text{Cs}$ , можно, используя коэффициенты радиационного риска. Коэффициенты номинального риска с учетом вреда злокачественных новообразований и наследственных заболеваний приведены в [2]. «Расчет риска возникновения злокачественных новообразований и наследственных заболеваний для конкретной возрастной группы населения производится путем умножения средней величины средней годовой эффективной дозы в течение периода облучения на соответствующий коэффициент риска» [4].

Используя такой подход, можно показать, что максимальная величина радиационного риска, связанная с потреблением мяса диких животных (21,4 кг/год), содержащих  $^{137}\text{Cs}$  в количествах, не превышающих допустимые уровни (500 Бк/кг), для взрослого населения составит  $2,2 \times 10^{-6}$  год $^{-1}$ . Это значение не превышает граничное значение обобщенного риска, используемое при обосновании защиты от источников потенциального облучения в течение года, равное  $1,0 \times 10^{-5}$  год $^{-1}$  для населения [5].

В случае годового потребления в пищу 80 кг мяса животного № 3 из таблицы 1 (содержание  $^{137}\text{Cs}$  - 2812 Бк/кг) годовая доза составит 2,9 мЗв, а максимальная величина радиационного риска достигнет  $1,2 \times 10^{-4}$  год $^{-1}$ , что более чем в десять раз превысит допустимое значение обобщенного риска равное  $1,0 \times 10^{-5}$  год $^{-1}$  [5]. Следовательно, употребление в пищу мяса диких животных, добытых браконьерами на территории зоны отчуждения, будет представлять реальную угрозу здоровью населения.

Задача дозиметрии внутреннего облучения остается актуальной и в настоящее время, спустя 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС, в особенности это относится к категориям населения младше 17 лет. Основным методом решения задачи дозиметрии внутреннего облучения является использование спектрометров излучения человека (СИЧ), в частности аппаратуры производства НПО «АТОМТЕХ». Более сложной является задача оценки дозы внутреннего облучения человека, связанная с содержанием в пище трансураниевых элементов. Однако актуальность этой проблемы снижается вследствие низкого содержания трансураниевых элементов в органах

и тканях диких животных и тем, что по причине малой растворимости трансураниевые элементы плохо усваиваются в организме человека.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Охота/ [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://zapovednik.by/oxota>. – Дата доступа: 14.03.2021.
2. Критерии оценки радиационного воздействия / [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: [https://radbez.bsmu.by/library/GN\\_2012.pdf](https://radbez.bsmu.by/library/GN_2012.pdf). – Дата доступа: 14.03.2021.
3. Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки / [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293754/4293754569.htm>. – Дата доступа: 13.01.2020.
4. МУ 2.1.10.3014–12 Оценка радиационного риска у населения за счет длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах/ [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293784/4293784921.pdf>. – Дата доступа: 13.01.2020.
5. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer to wildlife. Technical Reports Series No. 479 International Atomic Energy Agency. Vienna, 2014. – 217 p.

## ОБЗОР МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ, ПРИМЕНЯЕМОЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

### REVIEW OF THE METHOD FOR CALCULATING RADIATION PROTECTION FOR MODERN ELECTRON ACCELERATORS

*Е. В. Кемеш<sup>1</sup>, М. Н. Петкевич<sup>1,2</sup>, Е. В. Преображенская<sup>2</sup>*  
*E. Kemesh<sup>1</sup>, M. Piatkevich<sup>1,2</sup>, E. Preobrazhenskaya<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Белорусский Государственный Университет, МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ  
Минск, Республика Беларусь  
kemesh.jenya@gmail.com*

*<sup>2</sup>Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии  
им. Н.Н. Александрова, Минский район, Республика Беларусь  
preobrazhenskaya\_e@inbox.ru*

*<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>State Institution «N. N. Alexandrov National  
Cancer Centre of Belarus», Minsk region, Republic of Belarus*

В представленной работе обзревается методика расчета стационарной радиационной защиты, применяемая в Республике Беларусь. Описывается расчет стационарной радиационной защиты от прямого и рассеянного фотонного излучения, а также при необходимости от прямого и рассеянного нейтронного излучения. Методика написана в соответствии с СанПиН 2.6.12-34-2006.

The presented work reviews the methodology for calculating stationary radiation protection used in the Republic of Belarus. The calculation of stationary radiation protection from direct and scattered photon radiation, as well as, if necessary, from direct and scattered neutron radiation is described. The methodology is written in accordance with the Sanitary Rules and Regulations 2.6.12-34-2006.

*Ключевые слова:* радиационная безопасность, радиационный контроль, мощность дозы.

*Keywords:* radiation safety, radiation control, dose rate.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-266-269>

Современные линейные ускорители электронов используются для проведения лучевой терапии с целью уничтожения злокачественных новообразований. Лучевая терапия основана на взаимодействии ионизирующего излучения (ИИ) с веществом. Поскольку не вся отпущенная доза поглощается опухолью, необходимо минимизировать действие ИИ на других пациентов и персонал.

Стационарные средства радиационной защиты помещения (стены, пол, потолок, защитные двери и др.), в котором установлен источник ионизирующего излучения, должны обеспечивать ослабление ионизирующего излучения в каждом из этих помещений до уровня, при котором не будет превышен основной предел дозы для

соответствующих категорий облучаемых лиц. Чтобы снизить действие ИИ на персонал и население, разрабатываются различные методики расчета толщины защитных конструкций.

Расчет основан на определении кратности ослабления ( $K$ ) мощности эквивалентной дозы ( $D$ ) ионизирующего излучения в воздухе в данной точке в отсутствие защиты до значения допустимой проектной мощности эквивалентной дозы ( $DMД_{проект}$ ) в воздухе. Положения источников излучения выбираются такими, чтобы расстояния от них до расчетных точек были минимальными.

Для обеспечения радиационной безопасности при проведении расчетов стационарной радиационной защиты следует руководствоваться информацией, изложенной в нормативных документах Санитарные нормы и правила 2.6.1.13-34-2006 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ» [1].

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ ОТ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРЯМОГО ПУЧКА ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УСКОРИТЕЛЯ

Мощность эквивалентной дозы фотонного излучения в расчетной точке без защиты определяется по формуле (1):

$$P_i = P_0 \cdot \frac{R_0^2}{R_i^2}, \quad (1)$$

где  $P_0$  – мощность эквивалентной дозы фотонного излучения на расстоянии  $R_0$  от мишени ускорителя (мкЗв/ч);

$R_0$  – расстояние от источника до расчетной точки равно 1 м;

$R_i$  – расстояние от источника излучения (мишени) до точки расчета (м).

Необходимая кратность ослабления мощности дозы фотонного излучения определяется соотношением:

$$K_i = \frac{P_i}{DMД_{проект}}, \quad (2)$$

где  $DMД_{проект}$  – допустимое проектное значение мощности эквивалентной дозы в расчетной точке (мкЗв/ч).

Необходимая толщина защиты определяется по таблицам 5.41 и 5.43 работы [2, с. 266-267, с. 270-271] для эффективной энергии фотонного излучения в зависимости от требуемой кратности ослабления и материала защиты.

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ ОТ РАССЕЯННОГО ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УСКОРИТЕЛЯ

Мощность эквивалентной дозы рассеянного фотонного излучения ( $P_{расс}$ ) в расчетной точке определяется по формуле:

$$P_{расс} = \frac{P_0}{R_0^2} \cdot \prod_{i=1}^n \frac{S_i \alpha_{\partial i}(\theta_{0i}, \theta_i, E_i) \cos \theta_{0i}}{R_i^2}, \quad (3)$$

где  $R_0$  – расстояние от источника до первой плоскости отражения (м);

$S_i$  – площадь отражающей поверхности ( $m^2$ );

$\alpha_{\partial i}(\theta_{0i}, \theta_i, E_i)$  – дифференциальное дозовое альbedo, определяемое по формуле (1.5);

$\theta_{0i}, \theta_i$  – угол падения излучения на отражающую поверхность и угол отражения соответственно;

$E_i$  – энергия падающего излучения (МВ);

$R_i$  – расстояние между отражающими поверхностями (м);

$n$  – число отражений.

Для расчетов дифференциальных характеристик альbedo тормозного излучения от полубесконечных отражателей с максимальной погрешностью не более 30% используется формула Хилтона – Хадлстона (two-term Chilton – Huddleston formula) [3]. Эта формула для дифференциального дозового альbedo точечного мононаправленного источника фотонов с энергией  $E_0$ , падающих по углом  $\theta_0$  к поверхности отражателя и детектируемых в направлении, определяемом углами  $\theta$  и  $\varphi$ , имеет вид:

$$\alpha_{\partial i}(\theta_0, \theta, E_0) = \frac{C(E_0) \cdot 10^{26} \cdot \delta_s(E_0, \theta_s) + C'(E_0)}{1 + \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta}}, \quad (4)$$

где  $\alpha_{\partial i}(\theta_{0i}, \theta_i, E_i)$  – дифференциальное дозовое альbedo;

$C, C'$  – коэффициенты для дозового альbedo, зависящие от материала отражателя и  $E_0$ ;

$\delta_s$  – дифференциальное сечение комптоновского рассеяния Клейна – Нишины-Тамма для энергии фотонов ( $cm^2/cp$ );

$E_0$  – начальная энергия фотонов;

$\theta_s$  – угол однократного отражения фотонов, определяемый из соотношения:

$$\cos \theta_s = \sin \theta_0 \sin \theta \sin \varphi - \cos \theta_0 \cos \theta, \quad (5)$$

Для оценочных расчетов усредненного по азимутальному углу дифференциального дозового альbedo нейтронов ( $\alpha_{\partial i}(n)$ ) с наиболее вероятной энергией 1 МэВ используется формула:

$$\alpha_{\partial i}(n) = 0,13 \cdot (\cos \theta_{0i}) - \frac{1}{3} \cdot \cos \theta_i, \quad (6)$$

В расчетах учитывалось также, что после каждого отражения энергия фотонного излучения уменьшалась. Величина энергии отраженного излучения вычислялась по формуле:

$$E_{\text{отр.}} = E_0 \left[ 1 + \left( \frac{E_0}{0.511} \right) \cdot (1 - \cos \theta_s) \right], \quad (7)$$

Размеры площадок отражения излучения выбираются исходя из положения источника излучения, положения защитных стен, формы и размеров лабиринта.

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ ОТ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УСКОРИТЕЛЯ

При работе ускорителя электронов с граничной энергией больше 10 МэВ образуются фотонейтроны, возникающие при взаимодействии фотонного излучения с материалами мишени, фильтров, камер и т.д. Выход фотонейтронов (N) из различных мишеней в зависимости от энергии электронов приведен в работе [2].

Доля нейтронов в фотонном пучке линейного ускорителя с максимальной энергией фотонов и их наиболее вероятная энергия определяется согласно спецификации линейного ускорителя либо его технического описания.

Поэтому мощность эквивалентной дозы нейтронного излучения на расстоянии в 1 м от мишени определяется так:

$$P_{0n} = \delta k_n P_0, \quad (8)$$

где  $\delta$  – доля нейтронного излучения в фотонном пучке линейного ускорителя с максимальной энергией фотонов относительно мощности поглощенной дозы фотонного излучения;

$k_n$  – коэффициент качества нейтронного излучения, зависящий от энергии нейтронов и служащий для перехода от поглощенной мощности дозы нейтронного излучения к эквивалентной мощности дозы;

$P_0$  – максимальная мощность поглощенной дозы фотонного излучения на расстоянии 1 м от мишени ускорителя;

По известной мощности эквивалентной дозы нейтронного излучения на расстоянии 1 м от мишени ускорителя мощность эквивалентной дозы нейтронного излучения в расчетной точке без защиты ( $P_{in}$ ) определяется по формуле (9):

$$P_{in} = P_{0n} \cdot \frac{R_0^2}{R_i^2}, \quad (9)$$

где  $P_{0n}$  – мощность эквивалентной дозы нейтронного излучения на расстоянии  $R_0$  от мишени ускорителя (мкЗв/ч);

$R_0$  – расстояние от источника до расчетной точки равно 1 м;

$R_i$  – расстояние от источника излучения (мишени) до точки расчета (м).

Кратность ослабления мощности дозы нейтронного излучения  $K_n$  равна:

$$K_n = P_{in} / \text{ДМД}_{\text{проект}}, \quad (10)$$

где  $P_{in}$  – мощность эквивалентной дозы от источника нейтронов в расчетной точке без защиты (мкЗв/час);

$\text{ДМД}_{\text{проект}}$  – допустимая проектная мощность эквивалентной дозы в расчетной точке (мкЗв/час).

$$\text{ДМД}_{\text{проект}} = \text{ДМД} / 2, \quad (11)$$

где  $\text{ДМД}$  – допустимая мощность эквивалентной дозы.

Необходимая толщина защиты определяется по формуле:

$$d = \lambda \cdot \ln K_n, \quad (12)$$

где  $d$  – толщина защиты (м);

$\lambda$  – длина релаксации нейтронов в материале защиты.

Длина релаксации нейтронов в материале защиты определяется по таблицам работы [2] в зависимости от энергии нейтронного излучения в расчетной точке.

Результаты расчета радиационной защиты помещения, в котором находится генерирующий источник ионизирующего излучения для каждого из типов излучения приводятся в табличном виде.

На основании проведенного согласно данной методики расчета стационарной радиационной защиты от ионизирующих излучений линейного ускорителя заказчику предоставляются выводы и комментарии, содержащие рекомендованные варианты усиления радиационной защиты, в случае если это представляется необходимым.

Исходя из выше описываемых уравнений, можно выделить несколько плюсов данной методики:

- универсальность подхода;
- высокий уровень безопасности получаемых результатов.

С целью совершенствования применяемого в Республике Беларусь метода расчета радиационной защиты авторы предлагают произвести сравнительный анализ методик расчёта, используемых в других странах. По полученным результатам разработать экономически обоснованную и безопасную методику расчета защиты помещений лучевой терапии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарные правила и нормы 2.6.12-34-2006 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ».
2. Защита от ионизирующих излучений: справочник. / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. – 5-е изд. – М.: АП «Столица», 2013. – 496 с.
3. *Shultis, J. K. Radiation Shielding / J. K. Shultis, R. E. Faw* – American Nuclear Society, 2000. – 386 p.

### ОБЗОР МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СТАЦИОНАРНОЙ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПОМЕЩЕНИЯ С ЛИНЕЙНЫМ УСКОРИТЕЛЕМ, ОСНОВАННОЙ НА NCRP REPORT № 151

### REVIEW OF THE METHODOLOGY FOR CALCULATING THE STATIONARY RADIATION PROTECTION OF THE ROOM WITH A LINEAR ACCELERATOR, BASED ON NCRP REPORT No. 151

*Е. В. Кемеш<sup>1</sup>, Е. В. Преображенская<sup>2</sup>, М. Н. Петкевич<sup>1, 2</sup>*  
*E. Kemesh<sup>1</sup>, E. Preobrazhenskaya<sup>2</sup>, M. Piatkevich<sup>1, 2</sup>*

*<sup>1</sup>Белорусский Государственный Университет, МГЭИ БГУ  
Минск, Республика Беларусь  
kemesh.jenya@gmail.com*

*<sup>2</sup>Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии  
им. Н.Н. Александрова, Минский район, Республика Беларусь  
preobrazhenskaya\_e@inbox.ru*

*<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>State Institution «N. N. Alexandrov National  
Cancer Centre of Belarus», Minsk region, Republic of Belarus*

Рассматриваемая методика расчета стационарной радиационной защиты написана в соответствии с NCRP REPORT № 151 «Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities» [1]. В работе представлены частичные выкладки анализируемой методики. Проводится описание используемого подхода, консервативных предположений, основных коэффициентов и расчетных величин. Также проведен анализ ключевых моментов рекомендаций NCRP № 151.

The considered methodology for calculating stationary radiation protection is written in accordance with NCRP REPORT No. 151 “Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities” [1]. The work presents partial calculations of the analyzed technique. A description of the approach used, conservative assumptions, basic coefficients and calculated values is given. It also analyzed the key points of NCRP Recommendations No. 151.

*Ключевые слова:* радиационная безопасность, радиационный контроль, расчет защиты, мощность дозы, линейный ускоритель.

*Keywords:* radiation safety, radiation control, calculation of protection, dose rate, linear accelerator.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-269-272>

NCRP № 151 написана на нескольких консервативных предположениях, направленных на создание экономически обоснованной защиты от воздействия ионизирующего излучения. В работе под словами консервативный подход подразумевается сознательное завышение определенных параметров с целью снизить дозовые нагрузки на персонал и население. Ниже приведены примеры консервативных предположений:

- не учитывает ослабление пучка фотонов пациентом (30%);
- предполагается, что луч проходит кратчайший путь через барьер (т.е. луч падает нормально к плоскости барьера);
- предполагается, что утечка через головку линейного ускорителя является максимально допустимой согласно ИЕС (0,1%);
- факторы занятости консервативно высоки;
- необычным процедурам присваивается множительный коэффициент безопасности;
- правило двух источников.

Для расчета защиты используется ряд коэффициентов и расчетных величин:

а) Рабочая нагрузка ( $W$ ). Определяется как поглощенная доза от фотонов в изоцентре на расстоянии 1 м от источника за период в одну неделю с усреднением за год.

Следует определять рабочую нагрузку для каждой энергии ускорителя. Один из вариантов – найти данные о рабочей нагрузке в соответствующей клинике или в близлежащих клиниках с аналогичными группами пациентов. Если реальных данных нет, можно использовать предложения NCRP:

- NCRP 49 предлагает 1000 Гр в неделю для низкоэнергетических ускорителей (до 10 МэВ);

- NCRP 51 предлагает 500 Гр в неделю для ускорителей высоких энергий (выше 10 МэВ).

б) Коэффициент использования ( $U$ ) – это часть рабочей нагрузки, при которой лечебный луч направлен на данный первичный барьер.

в) Коэффициент занятости ( $T$ ) – это усреднённая величина временного периода, в течение которого человек, подвергшийся максимальному облучению, находится в расчётной точке при непосредственной работе аппарата лучевой терапии.

г) Целевая мощность эквивалентной дозы фотонного излучения за защитой ( $P$ ) – максимально допустимые уровни эквивалента дозы для данного местоположения (таблица 1).

Таблица 1 – Целевые мощности эквивалентной дозы фотонного излучения за защитой [1]

Площадь	Эквивалент дозы
Контролируемые области	$P < 5$ мЗв / год $P < 0,1$ мЗв / неделя
Неконтролируемые области	$P < 1$ мЗв / год $P < 0,02$ мЗв / неделя $R_h < 0,02$ мЗв / час (требование NRC)

д) Коэффициент пропускания ( $B$ ) – это максимально допустимое пропускание излучения, которое позволяет барьеру достичь целевой мощности эквивалентной дозы фотонного излучения за защитой ( $P$ ).

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ ОТ ПРЯМОГО ПУЧКА ФОТОНОВ

Коэффициент пропускания от прямого пучка фотонов рассчитывается по формуле (1):

$$B_{pri} = \frac{Pd^2_{pri}}{WUT}, \quad (12)$$

где  $P$  – целевая мощность эквивалентной дозы фотонного излучения за защитой;

$d_{pri}$  – расстояние от коллиматора линейного ускорителя, до расчётной точки (рисунок 1а).

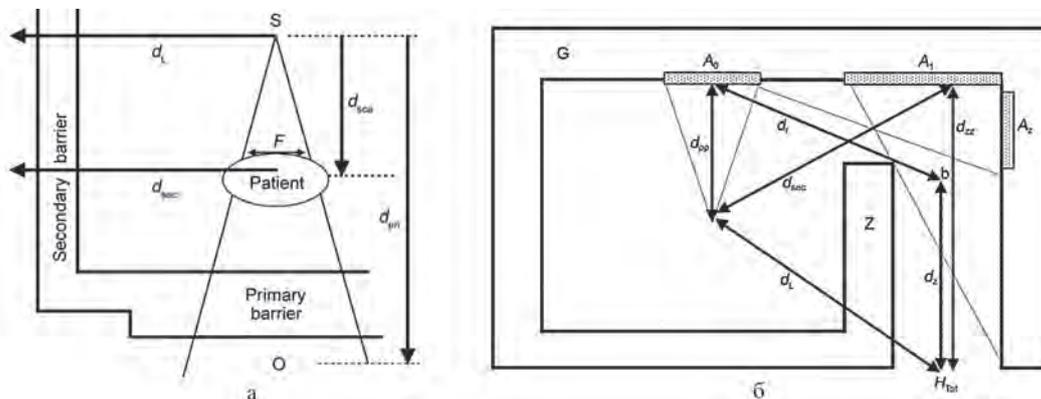


Рис. 1 – а) План помещения с указанием используемых расстояний, используемых для расчета первичной защиты;

б) Общий план помещения для определения параметров, используемых при расчете рассеянного излучения

Количество слоев половинного ослабления ( $n$ ) излучения определяется по формуле (2):

$$n = -\log_{10}B, \quad (2)$$

Минимальная толщина барьера определяется по формуле (3):

$$d_{барьера} = TVL_1 + (n - 1)TVL_e, \quad (3)$$

где  $TVL_1$  – это первый слой десятикратного ослабления;

$TVL_e$  – равновесный слой десятикратного ослабления (таблица В.2 [1, с. 161]).

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПЕРВИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УСКОРИТЕЛЯ

Для высокоэнергетических линейных ускорителей необходимо учитывать производство фотонейтронов в головке линейного ускорителя, фиксирующем оборудовании и первичных барьерах.

Первичные барьеры обычно включают в себя слой стали или свинца, заключенный в бетон для экономии места.

Полный эквивалент дозы  $H_{tot}$ , прошедший через первичный барьер, представляет собой сумму эквивалентов нейтронной и фотонной дозы.

$$H_{tot} = H_n + H_{phn}, \quad (4)$$

где  $H_n$  – эквивалент дозы нейтронов в неделю (мкЗв / неделя);

$H_{phn}$  – эквивалент фотонной дозы (мкЗв / неделя).

а) Эквивалент дозы нейтронов.

Следующая эмпирическая формула (5) используется для расчета эквивалента нейтронной дозы для линейных ускорителей.

$$H_n = \frac{D_0 R F_{max}}{\frac{t_m}{2} + t_2 + 0,3} \left[ 10^{-\frac{t_1}{TVL_x}} \right] \left[ 10^{-\frac{t_2}{TVL_n}} \right], \quad (5)$$

где  $H_n$  – эквивалент дозы нейтронов в неделю (мкЗв / неделя);

$D_0$  – поглощенная доза рентгеновского излучения в неделю в изоцентре, сГр/неделя;

$R$  – коэффициент образования нейтронов ( $\frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{м}^2}$ );

$F_{max}$  – максимальная площадь поля в изоцентре ( $\text{м}^2$ );

$t_m$  – толщина металлической плиты (м);

$t_1$  – толщина первой бетонной плиты (м);

$t_2$  – толщина второй бетонной плиты (м);

$TVL_x$  – слой десятикратного ослабления в бетоне для рентгеновского луча (м);

$TVL_n$  – слой десятикратного ослабления в бетоне для нейтронов (м).

б) Гамма-эквивалент нейтронного захвата.

Для пучков фотонов 15 и 18 МВ было показано, что следующее уравнение дает консервативно безопасную оценку полного эквивалента дозы фотона (рентгеновское излучение плюс гамма захват нейтронов).

$$H_{phn} = 2,7 H_{tr}, \quad (6)$$

где  $H_{phn}$  – эквивалент фотонной дозы (мкЗв / неделя).

Если известно  $B_{pri}$ ,  $H_{tr}$  может быть вычислено с использованием (7):

$$H_{tr} = \frac{B_{pri} d_{pri}^2}{WUT}, \quad (7)$$

где  $H_{tr}$  – эквивалент дозы рентгеновского излучения.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ ОТ РАССЕЯННОГО ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УСКОРИТЕЛЯ

Вторичные барьеры должны защищать как от фотонов, рассеянных от пациента, так и фотоны утечки из головки линейного ускорителя. Поскольку интенсивность и спектр каждого из этих компонентов будут существенно различаться в зависимости от типа лечения, они обрабатываются отдельно.

Коэффициент передачи  $B$  от рассеяния пациента рассчитывается по формуле (8):

$$B_{ps} = \frac{P d_{sca}^2 d_{sec}^2 400}{aWT F}, \quad (8)$$

где  $P$  – допустимая доза за период времени (год);

$a$  – доля рассеяния; функция в основном от угла рассеяния (таблица В.4 [7, с. 163]);

$F$  – площадь поля в точке рассеяния, находящейся в пациенте на расстоянии в 1 м от источника ( $\text{см}^2$ ).

Коэффициент передачи  $B$  для защиты от утечек определяем по формуле (9):

$$B_L = \frac{P d_L^2}{LW_L T}, \quad (9)$$

где  $P$  – допустимая доза за период времени (год);

$d_L$  – расстояние от головки машины до точки интереса;

$W_L$  – (рабочая нагрузка для расчета утечки) рабочая нагрузка в терминах дозы в изоцентре в период времени, увеличенный на IMRT и / или фактор VMAT

$L$  – коэффициент утечки (обычно равен  $10^{-3}$ ).

Правило двух источников рассматривает компоненты рассеяния и утечки вторичного излучения пациента как отдельные источники. В таком случае:

- если коэффициенты рассеяния пациента и передачи утечки приблизительно равны, то толщину экранирования можно принять как большую из двух толщин барьера плюс 1 слой половинного ослабления;

- если толщина каждого источника отличается на 1 слой десятикратного ослабления или более, то можно использовать большую из рассчитанных величин толщины барьера. Это также может быть применено к разным энергиям пучка.

В большинстве ускорителей высоких энергий вторичный барьер, который должным образом спроектирован для компонента утечки излучения, будет более чем достаточным для рассеянного излучения, за возможным исключением зон, прилегающих к первичному барьеру, перекрываемых малоугловым рассеянием [1].

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ В ЛАБИРИНТАХ

Рассмотрим только низкоэнергетические ускорители.

Лабиринт, подобный показанному на рисунке 1б, обычно используется для снижения уровня радиации на входе в комнату ускорителя, поэтому массивная дверь не требуется.

Тем не менее, если лабиринт не очень длинный или не имеет нескольких ножек, необходимо оценить степень защиты или защиты. В методе, описанном здесь, эквивалент дозы в положении двери лабиринта оценивается сначала для случая, когда луч направлен перпендикулярно стене G на рисунке 1 б. Затем используется простое эмпирическое уравнение, которое связывает эквивалент дозы, определенный на первом этапе, с полным эквивалентом дозы на дверце лабиринта, создаваемым лучами, направленными в основных направлениях луча (вверх, вниз, влево и вправо) у двери лабиринта. Наконец, оценивается толщина защитного материала, необходимая для уменьшения дозы, эквивалентной цели конструкции защиты (или меньше).

Излучение, достигающее двери лабиринта, происходит из-за рассеяния фотонов от поверхностей комнаты и пациента, а также прямого проникновения излучения, проникающего через головку ускорителя и через внутреннюю стену Z лабиринта. Эти компоненты представлены следующими обозначениями:

-  $H_S$  – эквивалент дозы в неделю из-за рассеяния первичного луча от поверхностей комнаты;

-  $H_{LS}$  – эквивалент дозы в неделю из-за фотонов утечки в головки ускорителя, рассеянных поверхностями комнаты;

-  $H_{ps}$  – эквивалент дозы в неделю из-за рассеяния первичного луча от пациента;

-  $H_{LT}$  – эквивалент дозы в неделю из-за утечки излучения, которое передается через внутреннюю стену лабиринта.

$$H_{Tot} = 2,64 \cdot (f H_S + H_{LS} + H_{ps} + H_{LT}), \quad (10)$$

Следует обратить внимание на то, что рабочая нагрузка с лучом, направленным на стену G (то есть  $W$ ,  $U_G$ ), используется для расчета  $H_G$ , и доля первичного луча, прошедшего через пациента, представлена в уравнении буквой  $f$ . Например,  $f$  имеет значение  $\sim 0,25$  для фотонов от 6 до 10 МВ, когда размер поля составляет  $(40 \times 40)$  см<sup>2</sup> и используется фантом  $(40 \times 40 \times 40)$  см<sup>3</sup>[1].

Для примера рассмотрим только первый компонент уравнения 10, а именно  $H_S$ .

$$H_S = \frac{W U_G \alpha_0 A_0 \alpha_z A_z}{(d_h d_r d_z)^2}, \quad (11)$$

где  $H_S$  – эквивалент дозы в неделю у двери лабиринта из-за рассеяния первичного луча от стены G;

$U_G$  – коэффициент использования стены G;

$\alpha_0$  – коэффициент отражения на первой рассеивающей поверхности  $A_0$ ;

$A_0$  – площадь луча на первой рассеивающей поверхности (м<sup>2</sup>);

$\alpha_z$  – коэффициент отражения для второго отражения от поверхности лабиринта  $A_z$ ;

$A_z$  – площадь поперечного сечения внутреннего входа в лабиринт, спроецированного на стену лабиринта с точки зрения облученного первичного барьера  $A_0$  (м<sup>2</sup>);

$d_h$  – равно  $d_{pp}$  плюс 1 м (рисунок 1б) (м).

Значения коэффициентов  $\alpha$  приведены в таблицах с В.8а по В.8f (Приложение В [1, с.160]).

Из описанных выше методик международного подхода, можно сделать вывод о структурированном подходе к расчету радиационной защиты. Представленный план помещения, является типовым для использования линейных медицинских ускорителей электронов. За счет унификации архитектурного плана, и, соответственно, полученной статистики за счет введения большого числа кабинетов лучевой терапии, данный подход имеет ряд значительных плюсов. К их числу можно отнести:

- скорость и простоту расчета радиационной защиты кабинета лучевой терапии;
- соответствие между планируемыми и измеряемыми дозиметрическими величинами;
- баланс между консервативным подходом в оценке радиационной защиты и реальным использованием линейным ускорителем.

Для дальнейшего анализа обзриваемой методики необходим расчет радиационной защиты на базе существующего кабинета лучевой терапии и сравнение полученных результатов с используемой методикой расчета радиационной защиты, применяемой при проектировании анализируемого помещения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities / NCRP №151. – 2005. – 257 p.

# ОСОБЕННОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПЛОЩАДКЕ «САРЫУЗЕНЬ»

## FEATURES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF SOIL IN THE FIELD OF UNDERGROUND NUCLEAR TEST SITE «SARY UZEN»

**П. Е. Кривицкий, А. О. Айдарханов, Н. В. Ларионова, А. А. Чернов**  
**P. Ye. Krivitskiy, A. O. Aidarkhanov, N. V. Larionova, A. A. Chernov**

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК  
г. Курчатов, Республика Казахстан  
Krivitskiy@nnc.kz*

*Branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' NNC RK, Kurchatov, Republic of Kazakhstan  
Krivitskiy@nnc.kz*

В статье представлены результаты обследования почвенного покрова приустьевых территорий скважин площадки «Сары-Узень». На площадке, расположенной на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП), проводились подземные ядерные испытания в скважинах. На исследуемой территории выполнено обследование при помощи пешеходной гамма-спектрометрической съемки, а также проведено определение уровней радиоактивного загрязнения почвы. Всего выделено 2 основные группы. К первой группе относятся скважины, на приустьевой территории которых имеется радиоактивное загрязнение почвы (19 скважин). Ко второй группе относятся скважины, на которых радиоактивное загрязнение поверхностного слоя почвы отсутствует (9 скважин). По результатам обследования установлены значения удельной активности  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .

The article presents the results of the survey of the soil cover of the estuarine territories of boreholes at the «Sary-Uzen» site. The site is located on the territory of the Semipalatinsk Test Site (STS) and an underground nuclear test was conducted in the boreholes. In the study area, a survey was conducted using pedestrian gamma-ray spectrometric surveys and assessment of levels of radioactive contamination of the soil. A total of 2 main groups were identified. The first group includes boreholes, on the mouth area of which there is radioactive contamination of the soil (19 boreholes). The second group includes wells in which there is no radioactive contamination of the surface soil layer (9 boreholes). According to the results of the survey, the specific activity values of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  were determined.

*Ключевые слова:* Семипалатинский испытательный полигон, «Сары-Узень», подземные ядерные испытания, радиоактивное загрязнение.

*Keywords:* Semipalatinsk test site, «Sary-Uzen», underground nuclear tests, radioactive contamination.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-273-276>

**Введение.** Семипалатинский испытательный полигон (СИП) – самый крупный ядерный полигон СССР. Всего за период функционирования на территории полигона проведено 340 подземных испытаний (площадки «Балапан», «Дегелен», «Сары-Узень»), 30 наземных и 86 воздушных (площадка «Опытное поле») [1]. С 1949 по 1962 гг., в основном, проводились атмосферные и наземные испытания на площадке «Опытное поле», но после вступления в силу международного договора о запрете проведения ядерных испытаний в космосе, воздухе и воде испытания стали проводиться под землей. Одной из площадок, где проводились подземные ядерные испытания является площадка «Сары-Узень», которая находится в западной части СИП.

По историческим данным в период с 1965 по 1980 годы на территории площадки «Сары-Узень» проводились в основном подземные ядерные взрывы в вертикальных выработках. Всего по официальным данным на территории площадки проведено 24 ядерных испытания в 25 скважинах (различие в количестве обусловлено проведением группового испытания в скважинах №№ 109 и 2803), из которых на 7 проведены взрывы камуфлета полного (ВКП), на 17 – взрывы неполного камуфлета (ВНК) и на 1 – взрыв с выбросом грунта (ВВГ) [2].

Первое масштабное радиологическое обследование площадки «Сары-Узень», после закрытия СИП, было проведено в 2005-2006 гг. и заключалось в измерении радиационных параметров на приустьевых площадках (МЭД, плотность потока бета-частиц). В ходе данного обследования были установлены некоторые расхождения с историческими данными. Так, помимо 25 скважин было обнаружено еще 3: X2, X3, X4 [3].

Однако, детальное изучение материалов проведенного обследования показывает, что отдельные выводы вызывают некоторые сомнения. Это дает основание предположить, что результаты, полученные при радиационном

обследовании в 2005 - 2006 гг., не в полной мере показывают радиационную ситуацию, и необходимо детальное изучение радиационной ситуации в местах проведения подземных ядерных испытаний на площадке «Сары-Узень».

Качественное выполнение запланированных работ обеспечивается наличием более современной научно-технической базы, позволяющей идентифицировать и характеризовать небольшие участки радиоактивного загрязнения, которые с большой вероятностью могли быть не зафиксированы ранее.

**Материалы и методы.** Оценка пространственного распределения радионуклидов на приустьевой территории состояла из определения характера площадного распределения и уровней радиоактивного загрязнения почвы. Для определения характера площадного распределения техногенных радионуклидов в поверхностном слое почвы применен метод пешеходной гамма-спектрометрической съемки. Для измерений использовался гамма-спектрометр со сцинтилляционным детектором на основе кристалла бромида лантана ( $\text{LaBr}_3$ ). Детектор располагался на высоте 50 см от поверхности почвы. Расстояние между профилями составляло 10 м. По результатам пешеходной гамма-спектрометрической съемки получен набор гамма-спектров, характеризующих площадное распределение гамма-излучающих радионуклидов на обследуемой территории. Далее проведен обсчет спектров и построены карты поверхностного распределения основных гамма-излучателей.

Для определения уровней радиоактивного загрязнения почвы проводился отбор проб почвы в позициях с максимальными значениями скорости счета гамма-импульсов, с последующим лабораторным анализом. Отбор проб почвы проводился для определения удельной активности осколков деления ядерного топлива ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) и трансурановых радионуклидов ( $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ ). Также результаты лабораторных измерений  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  использовались для сопоставления результатов, полученных расчётным методом по результатам пешеходной гамма-спектрометрической съемки. Измерение удельной активности радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  проводили методом гамма-спектрометрии [4],  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  – методом радиохимического выделения с последующей бета- и альфа-спектрометрией [5].

**Результаты и обсуждение.** На основании анализа всех результатов обследования за разные периоды времени проведено разделение всех скважин по наличию и отсутствию радиоактивного загрязнения на них (Рис. 1).

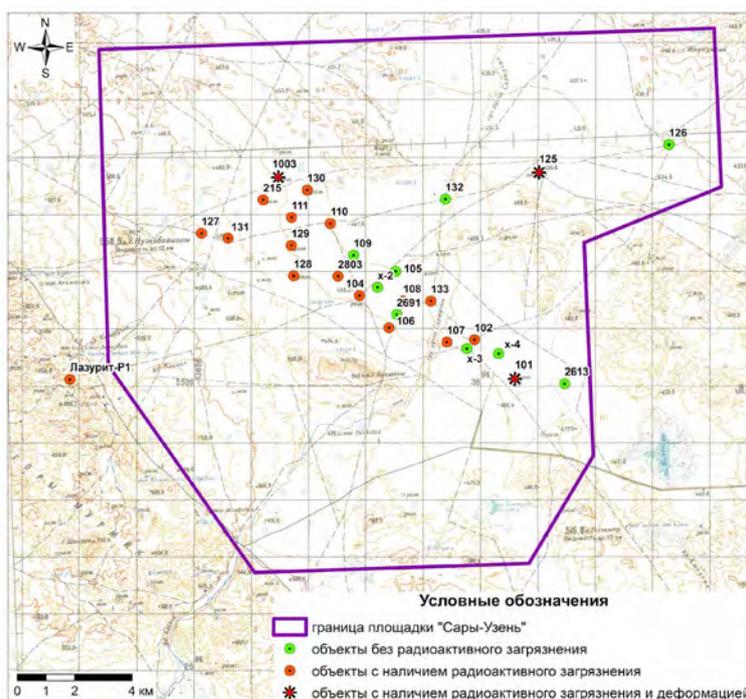


Рис. 1 – Карта-схема площадки «Сары-Узень»

К первой группе можно отнести скважины, на которых имеется радиоактивное загрязнение почвы (19 объектов), включая скважины с деформацией земной поверхности (3 объекта). Ко второй группе относятся все объекты, на которых существенного загрязнения нет (9 объектов).

По полученным данным лабораторных исследований можно отметить, что в настоящее время на приустьевом пространстве скважин площадки «Сары-Узень» присутствует участки с повышенным содержанием техногенных радионуклидов в почве, достигающим следующих значений удельной активности:  $^{241}\text{Am}$  – до  $n \cdot 10^5$  Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  до  $n \cdot 10^4$  Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  – до  $n \cdot 10^6$  Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  –  $n \cdot 10^4$  Бк/кг.

К скважинам без деформации земной поверхности в основном относятся те, где либо произошел взрыв неполного камуфлета, либо нештатная радиационная ситуация с выбросом продуктов взрыва через боевую скважину. В случае выноса продуктов взрыва радиоактивное загрязнение характеризуется высоким содержанием продуктов распада и трансуранов. В случае попадания в атмосферу продуктов взрыва в газо- и парообразной фазе

через образовавшуюся в земле трещину загрязнение характеризуется высоким содержанием продуктов распада и относительно невысоким содержанием трансуранов.

Для рассмотрения характера и особенностей радиоактивного загрязнения при выносе продуктов взрыва через боевую скважину взята скважина № 215. Из карты распределения  $^{137}\text{Cs}$  хорошо прослеживается вынос материалов взрыва (Рис. 2).

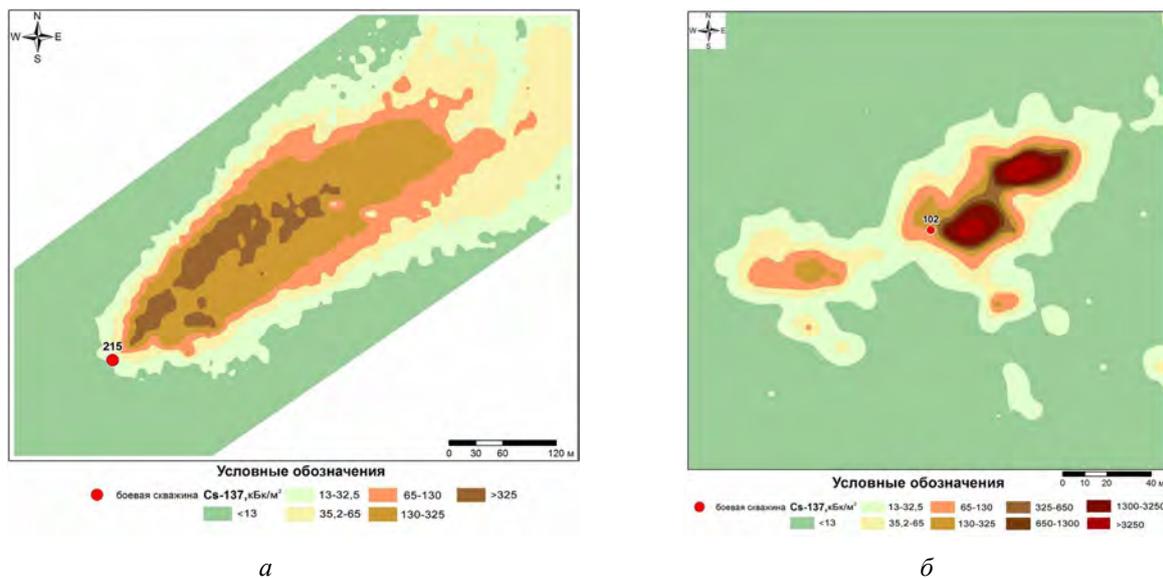


Рис. 2 – Карты площадного распределения  $^{137}\text{Cs}$  на территории скважин: а) № 215; б) № 102

По характеру пространственного распределения можно судить о нештатной радиационной ситуации. Как видно из карт, распространение радиоактивного загрязнения проходило в сторону северо-востока, а очаг максимального загрязнения сконцентрирован в радиусе до 400 м. Наибольший вклад в радиоактивное загрязнение вносят  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  соответственно. На настоящий момент у устья скважины отсутствует какая-либо деформация земной поверхности, а сама она закрыта бетонной крышкой.

Для рассмотрения характера и особенностей радиоактивного загрязнения при попадании в атмосферу продуктов взрыва в газо- и парообразной фазе через образовавшиеся в земле трещины взята скважина № 102. Пространственное распределение радиоактивного загрязнения образовано как минимум 4 областями выхода продуктов взрыва в газо- и парообразной фазе через образовавшиеся в земле трещины, о чем свидетельствуют 4 обособленных области радиоактивного загрязнения. Наибольший вклад в радиоактивное загрязнение вносит  $^{137}\text{Cs}$ , значительно меньше  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  соответственно. В настоящее время в районе скважины земная поверхность почвы ровная, послевзрывные изменения отсутствуют.

К скважинам с деформацией земной поверхности в основном относятся те, на которых проводился промышленный ВВГ, целью которого было создание какой-либо инфраструктуры. Примером может послужить подземный ядерный взрыв в скважине № 1003 14 октября 1965 г., основной целью проведения которого было изучение возможности создания канала через навал грунта [4]. Однако в ряде случаев причиной образования воронки может стать нештатная радиационная ситуация при проведении испытания, как это произошло при подземном ядерном испытании в скважине № 101.

Для рассмотрения взята скважина № 101. На текущий момент времени последствия испытания представляют собой воронку диаметром 350-400 м, с высотой навала порядка 10-15 м. Дно воронки заполнено водой. Наибольший вклад в радиоактивное загрязнение вносят  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  соответственно (Рис. 3).

Как видно из карты площадного распределения,  $^{137}\text{Cs}$  загрязнение представляет собой окружность почти в 1,5 км в диаметре. Основная часть загрязнения сконцентрирована в зоне навала. На карте можно наблюдать след выпавший радиоактивного загрязнения, уходящий в южном направлении.

И последние – скважины без радиоактивного загрязнения. К ним соответственно относятся испытания, вследствие которых весь массив продуктов взрыва остался погребенным под землей, таких скважин 9.

**Заключение.** Основываясь на результатах проведенного обследования определено, что в настоящее время на площадке «Сары-Узень» присутствует радиоактивное загрязнение в почве достигающие следующих значений удельной активности:  $^{241}\text{Am}$  – до  $n \cdot 10^5$  Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  до  $n \cdot 10^4$  Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  – до  $n \cdot 10^6$  Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  –  $n \cdot 10^4$  Бк/кг,  $^{152}\text{Eu}$  – до  $n \cdot 10^3$  Бк/кг. Радиоактивное загрязнение подобных уровней вызвано проведением ВНК или ВВГ при проведении подземных ядерных испытаний и в основном сконцентрировано на приустьевых площадках скважин. Однако, наличие радиоактивного загрязнения характерно не для всех объектов. Из 28 имеющихся скважин на 9 радиоактивное загрязнение почвы отсутствует. В свою очередь, оставшиеся 19 имеют характерные особенности радиоактивного загрязнения, в зависимости от специфики проведения испытания.

Скважины без деформации земной поверхности и наличием радиоактивного загрязнением в основном характеризуются локальным загрязнением, зачастую не превышающем 200 м от точки выхода радиоактивности, исключением является радиоактивное загрязнение на скважине № 215, где след от радиоактивных выпадений составляет свыше 500 м. Скважины с деформацией земной поверхности и наличием радиоактивного загрязнением характеризуются большими площадями радиоактивного загрязнения почвы, с протяженными следами радиоактивных выпадений (№ 101, общая протяженность следа составляет порядка 8 км). Объекты без радиоактивного загрязнения соответственно характеризуются его отсутствием.

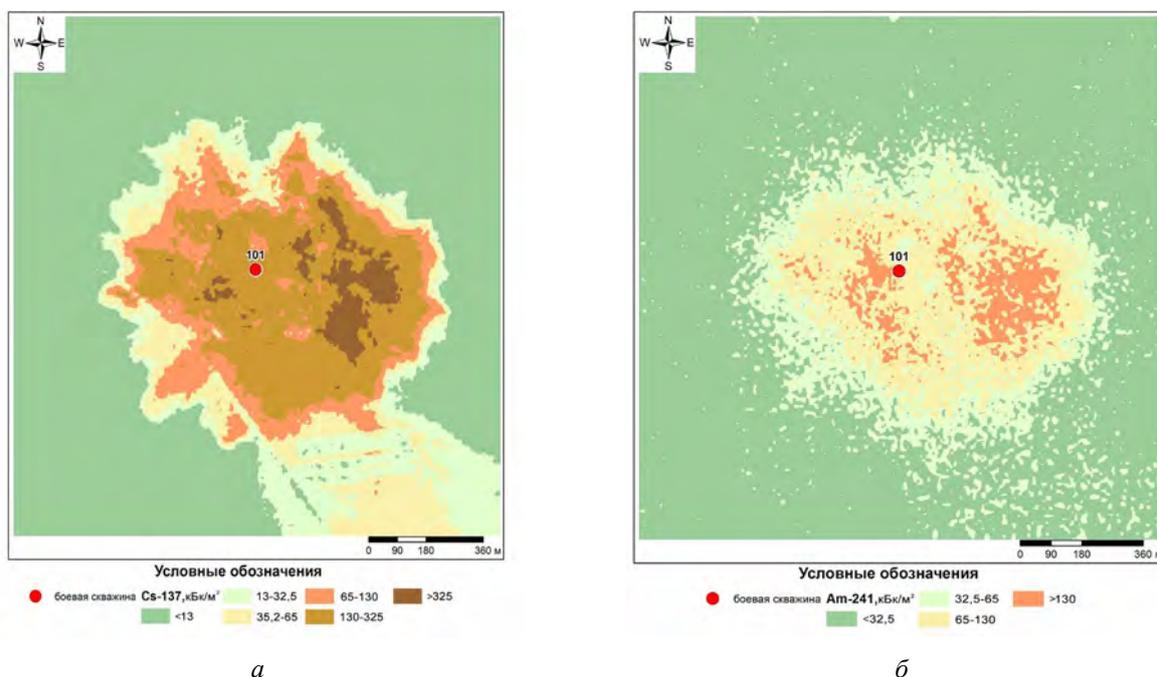


Рис. 3 – Карты площадного распределения на территории скважины № 215: а) <sup>137</sup>Cs; б) <sup>241</sup>Am

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерные испытания в СССР. Цели. Общие характеристики. Организация ядерных испытаний. Первые ядерные испытания / состав ред. И. А. Андрюшин, В. В. Богдан, С. А. Зеленцев. - Т.1. – Саров: РФЯЦ – ВНИИЭФ.
2. Catalog of worldwide nuclear testing / editor-in-chief V.N. Mikhailov. - U. 264. - 1999. - 38 с.
3. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. / под рук. Лукашенко С. Н. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Т. 1. - Вып. 4. – 396 с. - ISBN 978-601-7112-74-5.
4. МИ 5.06.001.98 РК «Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре МИ 2143-91» - 18 с.
5. Методика определения изотопов плутония-(239+240), стронция-90, америция-241 в объектах окружающей среды: МИ 06-7-98. – Алматы, 1998.

## ТРИТИЙ В ЯДЕРНОМ ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ TRITIUM IN NUCLEAR FUEL CYCLE

**К. В. Мазаник, А. Н. Скибинская, А. И. Кюевичкая  
K. Mazanik, H. Skibinskaya, H. Kiyavitskaya**

Белорусский государственный университет, МГЭИ им А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
kosmv@list.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU Minsk, Republic of Belarus

Ядерный топливный цикл (далее ЯТЦ) включает в себя следующие основные этапы: добыча и переработка урановой руды, обогащение, производство топлива, работа атомной электростанции (далее АЭС) (генерация электроэнергии), обращение с отработавшим ядерным топливом (далее ОЯТ) и радиоактивными

отходами (далее РАО). В ЯТЦ тритий образуется на этапах работы АЭС и при обращении с ОЯТ и РАО, их хранении и захоронении. В связи со строительством и вводом в эксплуатацию в Беларуси первой АЭС мониторинг содержания трития в объектах окружающей среды является на всех этапах жизни станции.

The nuclear fuel cycle (further NFC) includes the following main stages: mining of uranium ore, enrichment, production, operation of a nuclear power plant (further NPP) (power generation), management of spent nuclear fuel (further SNF) and radioactive waste (further RW). In the NFC, tritium is formed at the stages of NPP operation and during SNF and RW handling, storage and disposal. In connection with the construction and commissioning in Belarus, monitoring of the tritium content in environmental objects is a important task at all stages of the station's life.

*Ключевые слова:* тритий, ядерный топливный цикл, атомная электростанция, Белорусская АЭС, мониторинг.

*Keywords:* tritium, nuclear fossil cycle, nuclear power plant, Belarusian Nuclear Power Plant, monitoring.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-276-279>

В промышленно развитых странах доля электричества, производимого на атомных энергетических станциях (АЭС), составляет около 30% и неуклонно увеличивается. По данным МАГАТЭ в конце 2017 года в мире насчитывалось 448 действующих энергоблоков АЭС суммарной мощностью 392 ГВт, в стадии строительства - 55 блоков. Объективное восприятие атомной энергетики базируется на ее преимуществах в сфере ядерной, радиационной и экологической безопасности. Экологичность атомной энергии до настоящего времени остается непризнанной. Известно, что атомная энергетика предотвращает эмиссию углерода в объеме почти 2,5 млрд. т/год в пересчете на угольные и газовые ТЭС производя около 400 ГВт/год и практически не выбрасывает аэрозоли [1-5].

Существующая технология производства электроэнергии на АЭС основана, главным образом, на тепловых ядерных реакторах с водяным или графитовым замедлителем нейтронов и не может обеспечить дальнейшее развитие атомной энергетики. Во-первых, потому, что в них используется обогащенное по изотопу уран-235 ( $^{235}\text{U}$ ) топливо, а его содержание в природном уране составляет всего лишь 0,72%. Во-вторых, выгруженное отработавшее ядерное топливо с действующих АЭС приходится размещать в дорогостоящих временных хранилищах из-за отсутствия надежных и эффективных технологий его переработки [1-5].

Одним из основных препятствий, стоящих перед дальнейшим развитием современной атомной энергетики, являются проблемы обращения с высокоактивными отходами, Создание приемлемой и безопасной технологии утилизации больших масс радиоактивных отходов атомной энергетики является насущной задачей.

Эксплуатация АЭС с водородными реакторами (ВВЭР) приводит к образованию значительного количества изотопов трития ( $^3\text{H}$  и  $^{14}\text{C}$ ) например по сравнению с уран-графитовыми реакторами. На реакторах такого типа образование трития в активной зоне ректора происходит при облучении нейтронами примесей, содержащих в теплоносителе, конструкционных материалах активной зоны, а также при тройном делении ядерного топлива [2].

Тритий – это радиоактивный изотоп водорода, который образуется как естественным путем в результате взаимодействия космических лучей с атомными ядрами молекул воздуха в верхней атмосфере, так и искусственным в результате работы ядерных реакторов и других отраслей промышленности. Тритий обладает большим периодом полураспада (12,6 лет) и является глобальным загрязнителем природных комплексов.

Тритий, входящий в живой организм, эффективно включается в биологические ткани, вызывая мутагенные нарушения. При расщеплении тритий превращается в гелий, испуская довольно интенсивное  $\beta$ -излучение. Энергия его  $\beta$ -частиц относительно мала ( $E_{\text{ср.}} = 5,71$  кэВ). Поэтому, когда он находится вне организма, тритий не представляет серьезной угрозы. Однако при внутреннем облучении (когда тритий попадает в организм человека с воздухом или водой) он может представлять серьезную угрозу для здоровья. Как изотоп водорода, тритий химически ведет себя точно так же как и водород и может заменить его во всех соединениях с кислородом, серой, азотом, легко проникая в протоплазму любой клетки. В этом случае  $\beta$ -излучение может привести к повреждению генетического аппарата клетки [1].

В связи с вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС мониторинг содержания трития в объектах окружающей среды является необходимым на всех этапах жизни станции. Эти данные необходимы для создания защитных барьеров, препятствующих поступлению  $^3\text{H}$  и  $^{14}\text{C}$  в окружающую среду, и обоснования радиационной безопасности АЭС с реакторами ВВЭР.

На реакторах типа ВВЭР образование трития в активной зоне ректора происходит при облучении нейтронами примесей, содержащих в теплоносителе, конструкционных материалах активной зоны, а также при тройном делении ядерного топлива [2].

При работе АЭС тритий поступает в окружающую среду с выбросами вытяжного воздуха из зданий станции через высотные вентиляционные трубы (ВТ) (высотой более 100 м). В газообразных выбросах тритий обычно содержится в химической форме НТ или НТО. Расчеты показывают, что при эксплуатации АЭС с ВВЭР-1000 ежегодное поступление трития и его соединений в атмосферу составляет более 50 ТБк/ГВт(эл.) [3].

Приземная объёмная активность достигается примерно на 1,5 км от ВТ. Это является причиной отсутствия газообразного трития в районе брызгальных бассейнов (ББ), который располагается на расстоянии не более 200 м от ВТ. Из этого следует, что источником соединений трития, который появляется у края ББ, является вода, поступающая в эти бассейны.

Также нужно отметить, что в воздухе населенных пунктов, расположенных в зоне наблюдения АЭС, в отличие от воздуха вблизи брызгальных бассейнов, обнаруживается газообразный тритий, который поступает в атмосферный воздух только из ВТ.

Поэтому для обеспечения требований безопасности, на АЭС разрабатываются системы очистки от трития, в результате которых образуются жидкие и твердые тритийсодержащие РАО.

Исходя из правил МАГАТЭ по обращению с конкретными РАО, радиоактивные отходы должны подвергнуться процедуре кондиционирования, т.е. переводу в химически устойчивую форму, которая сохраняет стабильность в течение времени хранения радиоактивных отходов.

Тритийсодержащие удаляемые жидкие РАО (далее ЖРО) отнесенные к 5 классу, устанавливаются принадлежность к среднеактивным, низкоактивным при активности от  $10^4$  до  $10^8$  кБк/кг и до  $10^4$  кБк/кг соответственно. Тритийсодержащие отвержденные ЖРО относят к 1 или 2 (более  $10^1$  кБк/кг) классу в зависимости от их активности, к среднеактивным 2 и 3 классов ( $10^8 - 10^{11}$  кБк/кг), к низкоактивным 3 и 4 классов ( $10^7 - 10^8$  кБк/кг). Также вводятся очень низкоактивные РАО, отвержденные тритийсодержащие РАО с активностью до  $10^7$  кБк/кг [3].

Для уменьшения воздействия техногенного трития во многих странах используются системы детритизации водных и газовых потоков с последующим безопасным хранением или захоронением тритийсодержащих отходов и рециркуляции водосодержащих потоков. При большом количестве технологических потоков можно проводить детритизацию, а затем возврат в технологический цикл или сброс в окружающую среду.

Для очистки воды от трития, в отличие от «классических» радионуклидов, нужно использовать физико-химические методы разделения изотопов. Для этого необходимо, чтобы на местах переработки тритийсодержащих отходов было необходимое оборудование. Если тритий находится в газообразной форме, то стоит вопрос о фильтрации его из воздушных масс и способе очистки воздуха.

Электролиз, как самостоятельный метод, для детритизации воды не рассматривается не только из-за экономической составляющей, но также из-за технологических причин.

При долговременном хранении тритиевого концентрата в виде жидкой воды необходимо учитывать, что в результате реакции авторадииолиза воды образуется газообразный  $^3\text{He}$ , кислород и водород, что ведет к повышению давления в емкости хранения. Как показали исследования [4], авторадииолиз не приводит к большому увеличению давления в емкости.

Таким образом, хранение тритийсодержащих отходов в виде воды безопасно даже при длительном нахождении в контейнере хранения.

При работе АЭС также будут возникать РАО с превышенной концентрацией трития, что недопустимо для возвращения в окружающую среду или сброса в специальную «канализацию». В таком случае их подвергают иммобилизации для дальнейшего захоронения.

Подходящим способом иммобилизации являются цементные или минеральные матрицы низкотемпературной калий-магний-фосфатной керамики. Важнейшей характеристикой является надежность иммобилизации тритийсодержащей воды в структуре отвержденной матрицы. Но проблемой в данном случае является возможная миграция трития из матрицы в окружающую среду, в том числе при контакте с водой.

Одним из возможных путей обращения с вышеперечисленными РАО является захоронение тритийсодержащих отходов в глубинных геологических пластах без изменения агрегатного состояния. В этом случае барьером выступают водоупорные и буферные водоносные пласты. Для такого вида захоронения требуется оценить миграцию радионуклидов за большой промежуток времени (сотни и тысячи лет), чтобы избежать возможного заражения и нанесения вреда окружающей среде. Так как тритий является достаточно мобильным, то этот путь является трудно осуществимым на практике.

Исходя из опыта обращения с РАО и ОЯТ в других странах можно сделать вывод о наиболее эффективных способах его захоронения.

Так в Великобритании НАО до 1983 года сбрасывали в океан вдоль береговой линии. САО на территории Англии хранятся на местах их образования. Создание нового пункта хранения позволит перевести НАО в это хранилище и проводить мероприятия по выводу ее из эксплуатации. Способ хранения НАО Великобритании на месте образования, может подойти для нашей страны в течении определённого промежутка времени. За эти годы есть возможность спланировать и построить хранилище для РАО.

В Венгрии эксплуатируются реакторы типа ВВЭР. Поэтому способы обращения с РАО и ОЯТ в Венгрии можно проанализировать с точки зрения применения для РАО и ОЯТ Островецкой АЭС. В течении 5 - 10 лет ОЯТ может храниться в приреакторных бассейнах, а затем перевозиться в пункт сухого промежуточного хранения.

В настоящее время для Республики Беларусь вопрос обращения с РАО и ОЯТ Белорусской АЭС является актуальным, так как не принято окончательное решение.

Таким образом, для обеспечения радиационной безопасности на всех этапах жизни АЭС необходимо учитывать газообразные выбросы, к которым относится радионуклид трития.

В настоящее время в Республике Беларусь вводится в эксплуатацию первая атомная электростанция. Она будет состоять из двух блоков с реакторами ВВЭР-1200. Белорусская АЭС будет состоять из двух энергоблоков суммарной мощностью до 2400 (2x1200) МВт. Место ее размещения – Островецкая площадка Гродненской области. Для Белорусской АЭС выбран российский проект «АЭС-2006» с водо-водяными реакторами (ВВЭР) третьего поколения. Поколение 3 – усовершенствованные реакторы повышенной безопасности и надежности. Данный проект соответствует современным международным требованиям по ядерной и радиационной безопасности.

В рамках комплексного экологического мониторинга на этапе строительства АЭС проводилась оценка содержания трития в гидрографических объектах в зоне наблюдения БелАЭС с 2016 по 2020 годы. Измерения и оценка содержания трития проводилась на базе УО «Международного государственного экологического института имени А.Д.Сахарова» БГУ совместно с ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды».

По результатам мониторинга «нулевых» значений содержания трития в объектах гидрографической сети зоны наблюдения БелАЭС за период 2016-2020 гг можно сделать вывод, что удельная активность Н-3 находится в диапазоне 2,67 – 3,50 Бк/л, что соответствует глобальным выпадениям для данных широт.

Значения средней удельной активности трития в пробах питьевой воды из колодцев и скважин составила 3,38 Бк/л.

Согласно Гигиеническому нормативу «Критерии оценки радиационного воздействия», утвержденного постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь №213, установлен референтный уровень содержания трития в питьевой воде, который равен 10000 Бк/л. Необходимо отметить, что полученные значения многим меньше установленного в Республики Беларусь референтного уровня.

В настоящее время в различных странах применяются собственные значения допустимых уровней вмешательства по тритию. Так в питьевой воде: в Российской Федерации – 7600 Бк/л, в Канаде – 7000 Бк/л, в США – 740 Бк/л, в странах Европейского союза – 100 Бк/л. Как видно из представленных данных, существует очень большой разброс в показателях допустимых уровней вмешательства для трития в питьевой воде. Это связано с тем, что в настоящее время не существует единых подходов к оценке влияния трития на организм человека[5].

Проведенный комплексный экологический мониторинг на этапе строительства АЭС с 2016 по 2020 годы позволил получить оценки по содержанию трития в гидрографических объектах в зоне наблюдения Белорусской АЭС. В дальнейшем в Республике Беларусь планируется продолжение мониторинга содержания трития во время эксплуатации Белорусской атомной станции для оценки влияния станции на окружающую среду.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Агентство ПРОАтом [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=9455>. Дата доступа – 22.03.2021
2. Атомная энергия: сб. науч. ст. / Аболмасов Ю. П., Голубчикова И. Г., Самойлова Т. А., под ред. О. Д. Казачковский, 1977 г., том 43, вып.1, ст. 52-54
3. Распространение трития и его соединений воздушным путем при нормальных условиях эксплуатации Балаковской АЭС / В. Г. Барчуков [и др.], Москва, 2016
4. Обзор зарубежных практик захоронения ОЯТ и РАО / Н. С. Цебаковская [и др.] – Москва: Изд-во «Комтех-принт», 2015. 208 с
5. Комплексный экологический мониторинг Белорусской АЭС на период сооружения (определение содержания трития в пробах поверхностных вод). Цикл наблюдений – 2016-2020 год: отчет о НИР(заключ.): МГЭИ им.А.Д.Сахарова БГУ; рук.В.П.Миронов., Журавков В.В., Киевицкая А.И., Герменчук М.Г. – Минск, 2016-2020 гг.

## ПОИСК И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ ОТХОДОВ И ОТВАЛОВ ПОСЁЛКА АДРАСМАН РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

## SEARCH AND ASSESSMENT OF THE PROCESSING POSSIBILITIES OF URANIUM WASTE AND WASTE DUMPS OF ADRASMAN VILLAGE OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

***У. М. Мирсаидов, Б.Б.Баротов, К. О. Бобоев, Х. М. Назаров***  
***U. M. Mirsaidov, B. B. Barotov, K. O. Boboev, Kh. M. Nazarov***

*Агентство по ядерной и радиационной безопасности Национальной академии наук Таджикистана,  
г. Душанбе, Республика Таджикистан  
ulmas2005@mail.ru*

*Nuclear and Radiation Safety Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan,  
Dushanbe, Republic of Tajikistan*

Приведены результаты по переработке урановых отходов и отвалов поселка Адрасман Республики Таджикистан. Определены химические, гранулометрические и минералогические составы урановых отходов, а также их активности. Найдены оптимальные параметры переработки урановых отходов и отвалов.

The results of the study on the processing of uranium waste and waste dumps from Adrasman of the Republic of Tajikistan are presented. The chemical, granulometric and mineralogical compositions of uranium wastes, as well as their activities, have been determined. The optimal parameters for the processing of uranium waste and waste dumps have been found.

*Ключевые слова:* отходы, отвалы, уран, активность, Адрасман.

*Key words:* waste, waste dumps, uranium, activity, Adrasman.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-279-282>

В последние годы внимание многих исследователей направлено на обеззараживание местностей, в которых проводилась добыча радиоактивных веществ. На сегодняшний день радиоактивные отходы не нашли своего применения, но их можно вторично перерабатывать с целью добычи уранового концентрата и утилизации отходов [1-3].

Поэтому разработка технологии переработки отходов и отвалов урановой промышленности является актуальной задачей.

В работах [4, 5] описаны результаты переработки отходов хвостохранилища «Карта 1-9» (г. Бустон) и хвостохранилищ Гафуровского района Таджикистана.

В настоящей работе приводятся результаты исследования по поиску возможности вторичной переработки урановых отходов и отвалов на примере хвостохранилища Адрасман. Химический, гранулометрический, минералогический составы и активность отвалов и хвостов Адрасмана приведены в табл. 1-6.

*Таблица 1 – Гранулометрический состав хвостов из хвостохранилища Адрасман*

Выход классов	Крупность классов, мм					$\Sigma$ выход классов
	+1	-1+0,314	-0,314 +0,1	-0,1+ 0,074	< 0,074	
в граммах	5	65	70	110	250	500
в %	1	13	14	22	50	100

Мощность гамма-излучения на поверхности составляет 0,85-1,25 мкЗв/час, в теле хвостохранилища 0,5-150,0 мкЗв/час. Суммарная активность составляет 160 Кюри. Общегодовой выброс радона 6,5-7,0 Кюри/год (табл.2).

*Таблица 2 – Радионуклидный состав хвостов из хвостохранилища Адрасман*

Радионуклиды	Средневзвешенная активность, Бк/кг	Радионуклиды	Средневзвешенная активность, Бк/кг
<sup>40</sup> K	180±7	<sup>227</sup> Th	76±3
<sup>210</sup> Pb	874±124	<sup>228</sup> Ac	148±2
<sup>212</sup> Bi	88±4	<sup>228</sup> Th	2017±202
<sup>212</sup> Pb	154±10	<sup>234</sup> Pa-M	892±101
<sup>214</sup> Bi	1551±16	<sup>234</sup> Th	1272±131
<sup>214</sup> Pb	1486±47	<sup>235</sup> U	99±4
<sup>219</sup> Rn	84±4	<sup>238</sup> U+dau	1271±94
<sup>226</sup> Ra	1626±291		

*Таблица 3 – Активность ЕРН в пробах, отобранных из Адрасманского хвостохранилища*

Активность радионуклидов, Бк/кг			Aэфф., Бк/кг
<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	
2087-29677	30-342	535-1812	2200-30285

*Таблица 4 – Минералогический состав хвостов из хвостохранилища Адрасман*

Минерал					Старые данные
	№3	Лёгкая фракция	Магнитная фракция	%	
Кварц - SiO <sub>2</sub>	39.80	94.66	95.12	23.80	85-95
Циркон - Zr(SiO <sub>4</sub> )	53.65				
Барит - BaSO <sub>4</sub>	6.55				
Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )		3.31			
K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )		2.03	1.76		
(Na <sub>0,98</sub> Ca <sub>0,02</sub> )(Al <sub>1,02</sub> Si <sub>2,98</sub> O <sub>8</sub> )			3.12		
Гематит - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				76.20	
<sup>238</sup> U					0.02-0.08
Fe					5-7
Ca					10-15

Минералогический состав руды определяли рентгенофазовым анализом на приборе ДРОН-3 (модернизированный) с цифровой обработкой на медном аноде (35 кВ и 20 мА) и никелевым фильтром. Основными минералами руды являются кварц, альбит, ортоклаз, урановая слюда (рис. 1-2).

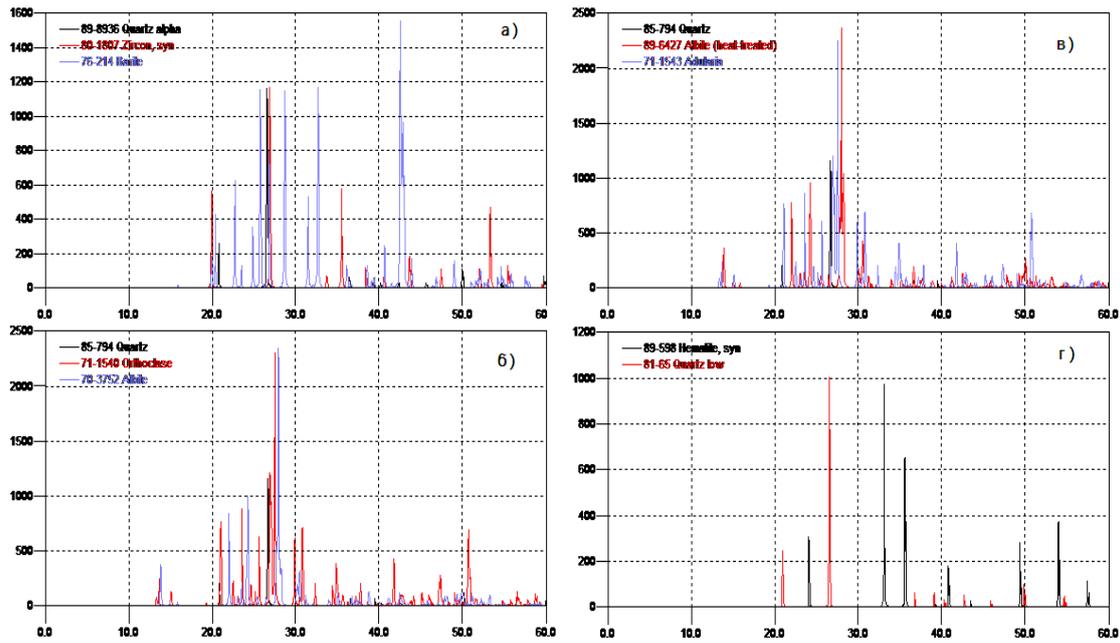


Рис. 1. Рентгенограмма радиоактивных отходов из хвостохранилища Адрасман

Результаты химических анализов отходов и отвалов приведены в табл.5-7.

Таблица 5 – Среднее содержание элементов в составе хвостов Адрасманского хвостохранилища

Содержание элементов											
Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	V	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	U
мг/кг									%		
129	304	103	132	42	5	186	109	51	0,3	9	0.024
Анализ на уран объёмным методом, %											

Таблица 6 – Среднее содержание элементов в составе отвалов Адрасмана

Содержание элементов													
Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Cr	MnO	V	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	U
мг/кг									%				
106	283	6,6	404	46	3	64	88	21	0,3	3,27	12	81	0,033
Анализ на уран объёмным методом, %													

Таблица 7 – Радионуклидный состав отвалов Адрасман

Радионуклиды	Средневзвешенная активность, Бк/кг	Радионуклиды	Средневзвешенная активность, Бк/кг
<sup>40</sup> K	200±7	<sup>227</sup> Th	180±3
<sup>210</sup> Pb	2000±124	<sup>228</sup> Ac	207±2
<sup>212</sup> Bi	153±4	<sup>228</sup> Th	201±202
<sup>212</sup> Pb	241±10	<sup>234</sup> Pa-M	1787±101
<sup>214</sup> Bi	3200±16	<sup>234</sup> Th	3383±131
<sup>214</sup> Pb	3050±47	<sup>235</sup> U	204±4
<sup>219</sup> Rn	188±4	<sup>238</sup> U+dau	2867±94
<sup>226</sup> Ra	3734±291		

Основными минералами руды являются кварц (SiO<sub>2</sub>), альбит (Na( Al Si<sub>3</sub> O<sub>8</sub> )), урановая слюда.

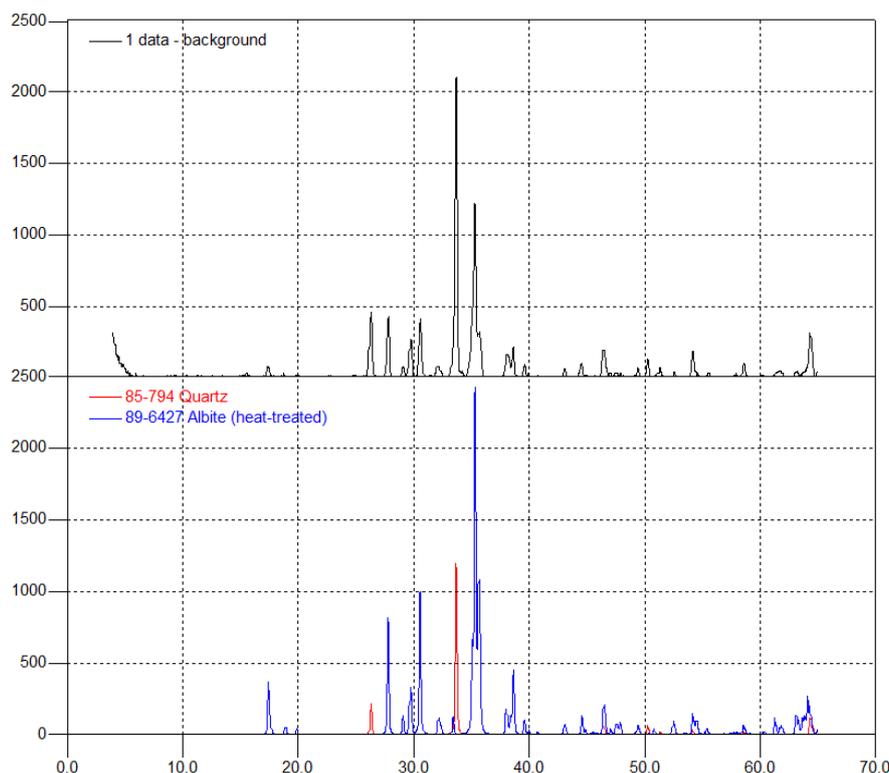


Рис. 2. Рентгенограмма радиоактивных отвалов

С учётом того, что руда является карбонатной, для её выщелачивания можно рекомендовать содовый метод.

Найдены оптимальные параметры переработки отходов и предложена принципиальная технологическая схема их переработки.

При переработке отходов хвостохранилища Адрасман, содержащих карбонаты, кислотное выщелачивание экономически невыгодно, поэтому применяют разложение с помощью растворов карбонатов щелочных металлов.

В основе карбонатного выщелачивания лежит реакция



При этом уран переходит в сравнительно хорошо растворимое в воде комплексное соединение - трикарбонатоуранилат натрия. По этой реакции с применением содового раствора довольно легко вскрываются все осадочные урановые породы, трёхокись и моноуранаты [6, 7].

Количественное осаждение урана наблюдается при значениях pH=6; осаждение урановых концентратов проводят в большинстве случаев аммиаком или щелочью в пределах pH =6-7.

Учитывая всё это, карбонатное выщелачивание проводили с расходом 100-400 кг/т  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Выщелачивание пульпы проводилось при Т:Ж=1:2 и t=80°C в течение 6 часов. Далее, твёрдый остаток после выщелачивания трижды промывали водой при соотношении Т:Ж=1:1. Извлечение урана растёт с увеличением расхода соды от 100 до 400 кг/т и достигает 82%. Оптимальным считается извлечение урана 72% (при 200 кг/т соды), так как оно достигается с меньшим расходом соды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Khakimov, N.* Physico-Chemical and Manufacturing Basis for Uranium Concentratis Production from Wastes of Hydrometallurgical Plants and Technical Waters / N. Khakimov, Kh.M.Nazarov, I.U.Mirsaidov. –Dushanbe, 2012. - 210 p.

2. *Хакимов, Н.* Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов гидрометаллургических заводов и технических вод/ Н. Хакимов, Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов. -Душанбе: Мавлави, 2012. - 120 с.

3. *Мирсаидов, И. У.* Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов и сырьевых материалов / И.У. Мирсаидов. -Душанбе: Дониш, 2014. - 106 с.

4. *Мирсаидов, У. М.* Отходы уранодобывающего производства в Таджикистане / У.М. Мирсаидов // Горный журнал. -2012. - №9. -С.128-130.

5. *Хакимов, Н.* Физико-химические и технологические основы переработки отходов урановой промышленности/ Н. Хакимов, Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов. -Душанбе: Дониш, 2011. - 125 с.

6. *Громов, Б. В.* Введение в химическую технологию урана/ Б.В. Громов. - М.: Атомиздат, 1978. -С.93-94.

7. *Шевченко, В. Б.* Технология урана/ В.Б. Шевченко, Б.Н. Судариков. - М.: Госатомиздат, 1961. -С.130.

**РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ  
И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ-137 В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ ТАДЖИКИСТАНА**  
**RADIATION AND HYGIENIC ASSESSMENT OF CONTENT  
AND DISTRIBUTION OF CESIUM-137 IN DIFFERENT TAJIKISTAN AREAS**

**У. М. Мирсаидов, С. В. Муминов, Б. Б. Баротов, Ш. Р. Муродов**  
**U. M. Mirsaidov, S. V. Muminov, B. B. Barotov, Sh. R. Murodov**

*Агентство по ядерной и радиационной безопасности Национальной академии наук Таджикистана,  
г. Душанбе, Республика Таджикистан  
ulmas2005@mail.ru*

*Nuclear and Radiation Safety Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan,  
Dushanbe, Republic of Tajikistan*

Проведено исследование содержание цезия-137 в почвенном покрове различных районов Таджикистана с охватом территории площадью около 45000 км<sup>2</sup>. Установлена зависимость накопления цезия-137 от рельефа местности в исследуемом регионе. Исследована динамика распределения цезия-137 в почвах необрабатываемых полей и почвах обрабатываемых полей Таджикистана. Обнаружено, что содержание изотопа цезия-137 на обрабатываемых полях отличается от необрабатываемых. У подножья гор и глинистых почвах наблюдается относительно высокие содержания изотопа цезия-137 по сравнению с равнинами.

The study have been conducted on cesium-137 content in the soil layer of various Tajikistan regions, covering an area of about 45,000 km<sup>2</sup>. The dependence of cesium-137 accumulation on the studied regions terrain relief has been established. The dynamics of cesium-137 distribution in the soils of not cultivated and cultivated fields in Tajikistan has been investigated. It has been found that cesium-137 isotope content in the cultivated fields differs from the not cultivated ones. At the mountain pedestal areas and clayey soils, there is a relatively high cesium-137 isotope content compared to the plain areas.

*Ключевые слова:* цезий-137, почва, накопление, удельная активность, проба, рельеф.

*Key words:* cesium-137, soil, accumulation, specific activity, sample, relief.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-282-286>

Ранее, в работах [1] и [2] было изучено содержание природных и техногенных радионуклидов в образцах пыльной мглы юга Таджикистана, где показано наличие цезия-137 в их составе.

Цель данного исследования состояла в изучении распределения <sup>137</sup>Cs в почвах ряда районов Таджикистана. Приводятся результаты распределения <sup>137</sup>Cs в почвах, отобранных в 2018-2020 годы. Изучено содержание цезия-137 в почвах в зависимости от рельефа и механического свойства грунта местности. На основании полученных результатов выявлены основные закономерности и характер пространственного распределения цезия-137 в почвенном покрове центрального и южного Таджикистана.

Для достижения поставленных целей были решены следующие задачи:

- выбор объектов и изучение рельефа местности;
- выбор точек в каждом районе региона и отбор проб почвы на этих точках;
- обработка и анализ полученных результатов;
- изучение характера пространственного распределение цезия-137 в почвенном покрове объекта;
- использование полученных данных для составления карты содержание цезия-137 в Таджикистане.

Территория регионов, на которых отбирались пробы, включает в себя самые разнообразные ландшафты: альпийские луга, высокогорные и равнинные пустыни, глубокие и узкие ущелья рек, сжатые скалистыми хребтами.

Отбор проб проводился на площади около 45000 км<sup>2</sup> на территории Гиссарского, Раштского, Бохтарского и Кулябского регионов Таджикистана. Для исследования было отобрано 92 образца почв различных типов (табл. 1). В каждом районе было выбрано от 3 до 8 точек для отбора проб, где минимальное расстояние между точками составляет примерно 4-7 км. Отбор проб почвы проводили согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017\*, от поверхности земли до глубины 25 см. Отобранные пробы разделили на две категории: пробы почвы из необработанных полей и почва из обрабатываемых полей. Каждую пробу в точке отбора очищали от камней, корней и других включений. Из общей массы методом квартования отбирали около 1 л образца. Почвы высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали на мельнице и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм. Для радиологического измерения проб использовали стандартный сосуд «Маринелли» объёмом 1 л. Радиологические измерения и анализ исследуемых проб проводились на гамма-спектрометре с детектором из особо чистого германия (CANBERA,

программное обеспечение Genie-2000) в аккредитованной Лаборатории технических услуг Агентства по ядерной и радиационной безопасности Национальной академии Таджикистана.

В таблице 1 приведены количество проб и места их отбора.

Таблица 1 – Точки отбора проб и их количество

Район [District]	Количество отобранных проб [Number of samples taken]	Район [District]	Количество отобранных проб [Number of samples taken]
Душанбе [Dushanbe]	4	Восе [Vose]	4
Алмоси [Almosi]	3	Хамадони [Hamadoni]	3
Камароб [Kamarob]	4	Фархор [Farkhor]	4
Файзобод [Fayzobod]	8	Темурмалик [Temurmalik]	3
Канаск [Kanask]	3	Ховалинг [Khovaling]	4
Шахринав [Shahrinav]	5	Сарихосор [Sarikhosor]	3
Бохтар [Bokhtar]	3	Курговат [Kurgovod]	3
Гаравоти [Garavoti]	3	Гарм [Garm]	3
Дусти [Dusti]	3	Мисканобод [Miskinobod]	3
Кубодиён [Qubodiyon]	5	Лахш [Lahsh]	3
Шахритус [Shahritus]	5	Тоҷикобод [Tojikobod]	3
Н. Хусрав [N. Khusrav]	4	Нуробод [Nurobod]	3
Кулоб [Kulob]	3		

Результаты измерения средней удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвах различных районов Таджикистана приведены на диаграмме (рис.1).

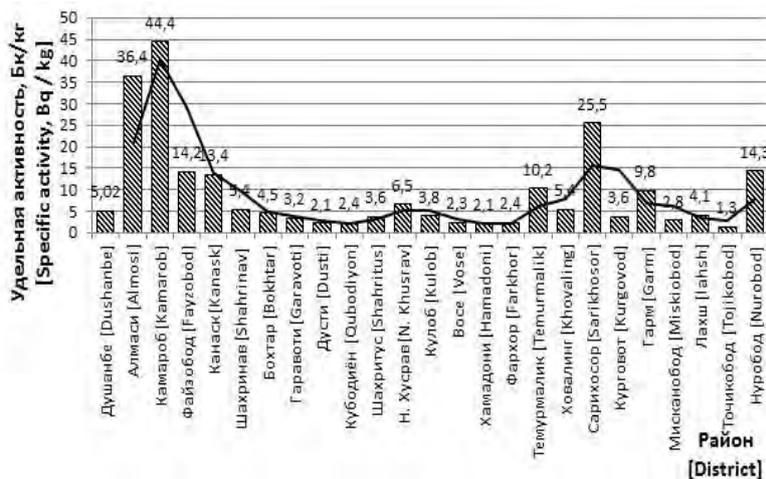


Рис. 1. Диаграмма средней удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвах районов центрального и южного Таджикистана

Из диаграммы видно, что динамика распределение  $^{137}\text{Cs}$  в районах Таджикистана разная. Максимальная средняя удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  наблюдается в почвах гористых местностей, районах Раштской зоны и территории Сари Хосора. Минимальное значение средней удельной активности цезия-137 наблюдается в районе Тоҷикобод, которое составляет 1,3 Бк/кг.

При анализе образцов почв исследуемых местностей было установлено, что максимальное значение удельной активности цезия-137 наблюдается в пробе почвы местности Камароб Раштского района, которое составляет 147,5 Бк/кг, а среднее значение удельной активности в этом районе составляет 44,4 Бк/кг. Проба почвы «Камароб» была отобрана у подножия горы.

На рис.2 приведен энергетический спектр гамма-излучения радионуклидов в пробе №1 почвы в их составе «Камароб».

Из энергетического спектра (рис.2) видно, что высота пика полного поглощения изотопа  $^{137}\text{Cs}$  с энергией 661 кэВ значительно выше по сравнению с природными радионуклидами семейства  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$ .

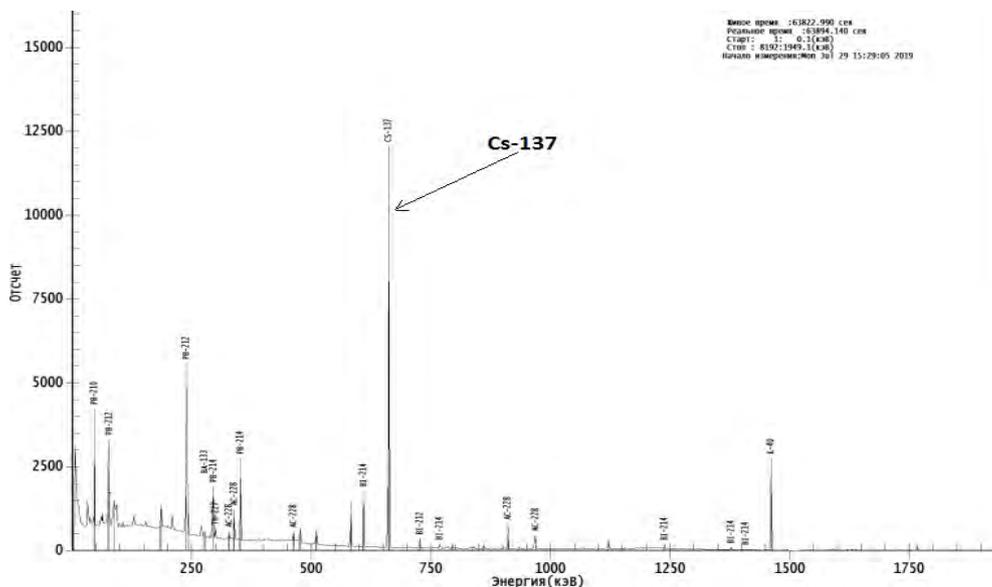


Рис. 2. Энергетический спектр гамма-излучения образца пробы №1 почвы «Камароб»

Предполагается, что концентрация радионуклида цезия-137 в данной местности связана с геологическими особенностями ущелья, окружённого высокими скалисто-лесисто-луговыми горными массивами, которое имеет замкнутую форму протяжённостью более 35 км в длину с единственным узким проходом, что способствует практически полному осаждению радионуклидов, мигрирующих в составе пылевых бурь и аэрозольных осадков, которые характерны для всех горных массивов Таджикистана [1, 2]. Обычно в результате водной и ветровой эрозии поверхностный слой покрова, в составе которого концентрируются и техногенные радионуклиды, смываясь, накапливается у подножья гор.

В некоторых исследуемых пробах <sup>137</sup>Cs не был обнаружен (проба №2 из пустыни Айвадж района Шахритус и проба №4 из района Фархор). Все эти почвы относятся к песчаным. Возможно, это связано с тем, что в песчаной породе вертикальная миграция нуклидов в глубину происходит легко [3, 4].

Так как в зависимости от типа почв от 60 до 95% от общего запаса радионуклидов в верхнем 30-сантиметровом слое почвы мигрируют за счет диффузионных процессов [3], также нами было определено соотношение распределения <sup>137</sup>Cs на почвах необрабатываемых земель и почвах обрабатываемых полей Хатлонской области Таджикистана, результаты приведены на рис.3 в виде диаграммы.

Как видно из диаграммы (рис.3), удельная активность <sup>137</sup>Cs в пробах необрабатываемых гористых земель относительно выше, чем в обработанных полях.

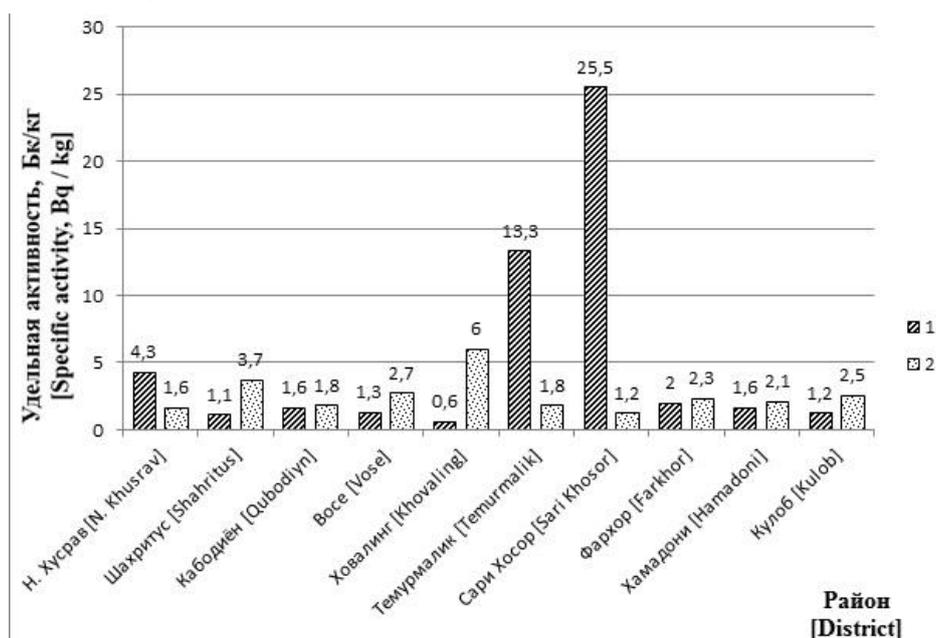


Рис. 3. Диаграмма удельной активностью цезия-137 в почве некоторых районов Хатлонской области Таджикистана: 1 – необрабатываемые поля; 2 – обрабатываемые поля

В то же время удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пробах обработанных полей равнинных территорий, наоборот, выше, чем в необрабатываемых. Это, по-видимому, связано с близостью пахотных земель к необрабатываемым землям и поставкой наносов на их поверхность, в результате обработки цезий-137 концентрируется на глубине до 20-25 см. Но не следует забывать, что процесс распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почве определяется большим количеством факторов.

Распределение изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в исследованных пробах почв является весьма типичным. Исследования показали, что содержание  $^{137}\text{Cs}$  по профилю зависит от генезиса почв. Максимальная удельная активность обнаружена в гористых местностях и необрабатываемых полях районах республики. В некоторых исследуемых пробах почв (песчаных)  $^{137}\text{Cs}$  не был обнаружен.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Распределение природной и техногенной радиоактивности в образцах пыльной мглы юга Таджикистана / С.Ф. Абдуллаев, Н.А. Абдурасулова, Б.И. Назаров [и др.] // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2016. – Т.54. – №9. – С.746–753.

2. Буриев, Н.Н. Техногенный радионуклид цезий-137 в пищевых дикорастущих растениях Таджикистана / Н.Н. Буриев, Н.Т. Буриев, Т. Давлатшоев // Символ науки. -2018. – № 4. – С.7–8.

3. Бакарикова, Ж.В. Вертикальная миграция цезия-137 в различных типах почв как фактор уменьшения внешней дозы облучения / Ж.В. Бакарикова, О.М. Жукова, М.Г. Герменчук / Республиканская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 90-летию республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены». -Минск, 2017. – С.67–69.

4. Манзон, Д.А. Динамика миграции цезия-137 после Чернобыльской аварии на территории русской равнины: авторефер. дис. ... канд. геогр. наук / Д.А. Манзон. – М., 2010. – 26 с.

## МЕЖДУНАРОДНЫЕ УСИЛИЯ ПО РЕАБИЛИТАЦИИ ОБЪЕКТОВ УРАНОВОГО НАСЛЕДИЯ ТАДЖИКИСТАНА INTERNATIONAL EFFORTS TO REHABILITATE URANIUM HERITAGE SITES OF TAJIKISTAN

**М. М. Хакдод, З. В. Кобулиев, А. С. Хакдодов**  
**M. Haqdod, Z. Kobuliev, A. Haqdodov**

*Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук  
Таджикистана, г. Душанбе, Республики Таджикистан, m.haqdod@gmail.com*

*Institute of water problems, hydropower engineering  
and ecology of National academy of sciences of Tajikistan,  
Dushanbe, Republic of Tajikistan*

Вопрос безопасного управления отходами уранового производства является весьма актуальным для Таджикистана, поскольку условия их хранения не отвечают современным требованиям радиационной безопасности, а приведение этих объектов в состояние безопасности требует значительных финансовых затрат и консолидация усилий на международном уровне.

The issue of safe management of uranium production waste is very relevant for Tajikistan, since the storage conditions do not meet modern requirements for radiation safety, and bringing these facilities to a state of safety requires significant financial costs and consolidation of efforts at the international level.

*Ключевые слова:* добыча и производства урана, урановые хвостохранилища, рекультивация, экологический мониторинг.

*Keywords:* uranium mining and production, uranium tailings dumps, remediation, environmental monitoring.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-286-289>

В Таджикистане с середины 40-х и вплоть до 90-х годов прошлого столетия осуществлялись добыча и производства урана. В результате многолетней деятельности предприятий по добыче и переработке урановой руды на севере Таджикистана образовалось более 170 миллионов м<sup>3</sup> пустой породы и хвостохранилищ с радиоактивными отходами объемом около 55 млн. тонн, суммарной активностью 6.5 тысяч Кюри. Основные сведения об объектах складирования отходов и их объемах приведены в [1].

Основной особенностью указанных объектов является их расположение в межгорных долинах в условиях расчлененного рельефа (высокогорья), активного проявления экзогенных физико-геологических процессов и сейсмичности. Размещение части хвостохранилищ и отвалов в непосредственной близости от рек, ручьев

и в пределах населенных пунктов вкупе с опасностью схода лавин, селей и проявлениями оползневых процессов предполагает производство не только радиометрических исследований на объектах, но и детальные инженерно-геологические, гидротехнические и гидрологические исследования природно-техногенной обстановки района расположения урановых хвостохранилищ.

Рекультивация территорий, подвергшихся воздействию уранодобывающих предприятий, представляет собой сложную техническую проблему, до настоящего времени все еще не имеющую окончательного принципиального решения. Урановые хвостохранилища, как основные накопители радиоактивных отходов, являются, по сути, могильниками поверхностного типа. Находящиеся в них радиоактивные отходы содержат долгоживущие радионуклиды, ряд которых контролирует торий-230 с периодом полураспада 80 тыс. лет. Поэтому отходы урановых хвостохранилищ являясь низко активными, тем не менее, могут представлять опасность в течение сотен тысяч лет.

Необходимость решения проблемы урановых хвостохранилищ обусловлена тем, что условия хранения указанных отходов не отвечают современным требованиям радиационной безопасности и несут угрозу радиоактивного загрязнения окружающей среды на обширной территории региона Центральной Азии.

Проблема урановых хвостохранилищ в Таджикистане имеет не только национальный характер и, если не решить её своевременно и эффективно, она может приобрести трансграничный характер и стать причиной экологических катастроф регионального масштаба, на ликвидацию которых потребуется десятки лет и значительные средства. При этом Таджикистан не имеет достаточных финансовых и технических возможностей для обеспечения должного содержания, реконструкции хранилищ радиоактивных отходов, реабилитации загрязненных территорий, также практически отсутствуют национальные системы рекультивации **территорий**, подвергшихся воздействию уранодобывающих и перерабатывающих предприятий.

В этой связи, консолидация усилий и скоординированные действия стран региона, международных финансовых институтов и стран-доноров для решения проблем хвостохранилищ и объектов, представляющих радиоактивную опасность, является своевременным и необходимым.

Правительство Республики Таджикистан поддерживает региональный подход решения вопроса, ведет постоянный поиск партнеров и выходит на контакты с международными организациями в связи с проблемой радиоактивных отходов. Представляет соответствующие материалы, для рассмотрения и оказания поддержки по совершенствованию механизмов управления радиоактивными отходами, в том числе привлечение частного сектора для переработки этих отходов и реализации приоритетных проектов, направленных на решение проблемы радиоактивных отходов в Таджикистане в трансграничном контексте [1].

Международное сообщество по линии Организации объединенных наций (ООН), Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) и другие международные организации оказывают помощь Таджикистану по совершенствованию системы управления радиоактивными отходами, работы по мониторингу окружающей среды и состоянию здоровья населения отдельных объектов без обязательств проведения рекультивационных работ.

В результате проведенных мероприятий улучшилась нормативно-правовая база, повысился институциональный потенциал управления радиоактивными отходами и увеличился объем мониторинговых и научно - исследовательских работ [1, 2].

В целях коллегиального рассмотрения вопросов и координации деятельности соответствующих полномочных органов - министерств, ведомств и местных исполнительных органов государственной власти в области радиационной безопасности в республике функционирует Межведомственный Совет по радиационной безопасности, возглавляемый Заместителем Премьер-министра Республики Таджикистан.

К дальнейшему развитию системы управления радиоактивными отходами в Республике Таджикистан относятся следующие:

- развитие существующей вспомогательной инфраструктуры, включающей радиоэкологические лаборатории научно-исследовательские учреждения, техническое образование специалистов, оборудование и приборы для радиационного контроля и мониторинга;
- разработки, соответствующие программы и мероприятия по мониторингу окружающей среды и здоровью населения на всех радиоактивных хвостохранилищах и отвалах, позволяющие провести оценку уровня дозы радиации и последующего риска для населения и при необходимости применить адекватные меры защиты;
- создание централизованного органа по сбору и обработке данных (базы данных) для обмена и распространения информации среди уполномоченных государственных учреждений и ведомств, таких как Регулирующий орган, в целях дальнейшего практического руководства и применения в сфере радиационной защиты, обоснования и выбора приоритетных объектов реабилитации и рекультивации;
- повышение осведомленности населения о реальной ситуации по вопросам безопасности и в отношении угроз, связанных с производством урана, с целью избежать радиационной фобии;
- улучшение дальнейшего международного и регионального сотрудничества через приоритетные проекты, которые должны быть профинансированы заинтересованными институтами/организациями, в том числе по проблемам утилизации отходов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности в коммерческих целях, привлекая к этому частный сектор.

Для начала рекультивационных работ в приоритетном порядке были определены объекты, представляющие наибольшую опасность в плане радиационного воздействия на населения и природную среду и требующие

срочных действий и технических решений. Это объекты складирования радиоактивных отходов на площадке «Табошар» г. Истиклол и Дехмайское хвостохранилище. На площадке «Табошар» намечаются проведения работы по реабилитации территории: рекультивации 4-кварт хвостохранилища, расположенного на правом берегу Сарым-Сахлы-Сая; берегоукрепление на участке хвостохранилища; зачистка загрязненных локальных участков с последующим захоронением грунтов в хвостохранилище или карьере; создание сети экологического мониторинга и рекомендуется перенос объектов фабрики бедных руд.

Дехмайское хвостохранилище, которое заполнено менее чем на 70%, требует выполнение комплекса природоохранных мероприятий, которые должны предотвратить миграцию радиоактивных отходов путем ветрового переноса и водной эрозии. Для этого предварительно намечается провести: покрытие поверхности хвостохранилища защитным экраном в соответствии с требованиями норм радиационной безопасности; зачистку прилегающей территории; строительство системы водоотведения и создания сети экологического мониторинга.

Основным направлением дальнейших исследований должны стать подземные воды и, в частности, диагностика их сульфатного и радионуклидного загрязнения, а также прогнозирование скорости распространения ареала загрязненных вод в сторону р. Сыр-Дарья и зону интенсивного забора воды на орошение. Здесь также необходимо организовать регулярные наблюдения за динамикой загрязнения атмосферного воздуха продуктами распада радона и загрязненной пылью на прилегающих к хвостохранилищу территориях. Специальные экспертные исследования должны быть посвящены оценкам риска орошаемого земледелия в районах загрязненных подземных вод зоны влияния Дехмайского хвостохранилища, а также шахтных (рудничных) вод в г. Истиклол, которые используются местным населением для полива огородов.

В целом для проведения реабилитации загрязненных радиоактивными отходами территорий необходимо выполнение комплекса работ по: радиационно-экологическому исследованию радиационно-опасных объектов с целью определения их физического состояния с оценкой воздействия на население и окружающую природную среду, прогнозу риска техногенных и природных воздействий; определению приоритетности выполнения работ по реабилитации объектов; разработке и согласованию технических решений по реабилитации (рекультивации) объектов; технико-экономической оценке принятых решений по объектам; разработке проектно-сметной документации по объектам и выполнению работ по реабилитации объектов (в порядке приоритетности объекта).

Вместе с тем, в районах расположения хвостохранилище радиоактивных отходов необходимо решить комплекс социально-экономических и экологических проблем. Таких как обеспечение трудовой занятости, создание рабочих мест, повышение стандартов уровня жизни и создание альтернативных источников дохода населения. При этом проведение медико-биологического исследования и оценка состояния здоровья жителей этих районов, проблемы обеспечения их безопасной питьевой водой и пищевых продуктов являются неременной компонентой по улучшению состояния дел не только в районах расположения хвостохранилище но и в населенных пунктах, соседствующих с этими опасными объектами.

В настоящее время для решения проблем, связанных с урановыми хвостохранилищами на территориях государств – участников СНГ, в том числе Республики Таджикистан реализуется Межгосударственная целевая программа «Рекультивация территорий государств – членов ЕвразЭС, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств» (далее Программа)[3].

Заказчик-координатор Программы: Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», заказчик программы от Республики Таджикистан – Министерство промышленности и новых технологий. Реализация Программы осуществляется на основе соответствующих контрактов (договоров), заключаемых с исполнителями программных мероприятий.

В качестве пилотного проекта по рекультивации выбраны наиболее опасные хвостохранилища в Республике Таджикистан – в районе г. Табошар (с 2012 года – г. Истиклол) и объекты в Кыргызской Республике.

Участие Республики Таджикистан в Программе позволит ей создать национальную систему обеспечения радиационной безопасности, включая организационные и медико-санитарные мероприятия по обеспечению радиационной безопасности населения, отработать ее элементы на практике и осуществить рекультивацию наиболее радиационного опасного объекта.

Основными целями указанной Программы являются:

- снижение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций с радиоэкологическими последствиями на территориях государств – участников Программы, подвергшихся воздействию уранодобывающих и перерабатывающих производств;

- отработка технологий по рекультивации объектов бывших урановых производств;

- обеспечение безопасных условий проживания и социальной реабилитации населения в этих регионах.

Решением Совета глав правительств СНГ от 29 мая 2015 года в программу внесены изменения, в том числе уточнено ее наименование в новой редакции: «Межгосударственная целевая программа «Рекультивации территорий государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств», и дана рекомендация правительствам государств – участников Программы продолжить ее реализацию.

Реализация Программы осуществляется в два этапа.

На первом этапе (2013-2016 годы) выполнены работы по разработке структуры и основных элементов системы обеспечения радиационной безопасности территорий государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих

производств, по проведению исследовательских, проектно-изыскательских работ и экспертиз проектов строительно-монтажных работ в государственных органах.

На втором этапе (2017-2023 годы) предусмотрено:

- выполнение работ по рекультивации выбранных объектов;
- совершенствование системы экологического и социально-гигиенического мониторинга действующих и закрытых уранодобывающих и перерабатывающих предприятий государств – участников Программы;
- создание медико-демографического регистра населения, проживающего в зонах наблюдения;
- подготовка кадров по управлению проектами и программами реабилитации бывших урановых производственных объектов.

Программа реализуется за счет взносов государств – участников Программы. Долевое участие государств – участников Программы составляет: Российской Федерации – 75 %, Республики Казахстан – 15 %, Республики Таджикистан – 5 %, Кыргызской Республики – 5 %.

Общая стоимость реализации Программы составляет 3 155 092,40 тыс. российских рублей.

Однако, несмотря на принятых совместных усилий, работы по рекультивации на выбранном участке в Республике Таджикистан, предусмотренного Программой, ещё не начаты.

Другой важный проект по обезвреживанию объектов уранового наследия в Таджикистане будет финансироваться за счет Европейского союза. В связи с этим Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), Европейская комиссия (ЕК), Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР), а также ряд других партнеров объединят усилия, чтобы обезвредить объекты уранового наследия в Центральной Азии.

Подготовка и последующее выполнение работ по реабилитации объектов уранового наследия в Таджикистане в рамках этого проекта осуществляется на основе Рамочного соглашения, подписанного между правительством Таджикистана и ЕБРР в 2019 году, предусматривающая выделение гранта из накопительного фонда в размере более 33 млн. евро для обезвреживания хвостохранилищ с радиоактивными отходами на площадках «Табощар» и «Дехмой» на севере Таджикистана.

Ожидается, что проект будет реализовываться в соответствии с передовым международным опытом и стандартами, и в рамках нормативно-правовой базы Республики Таджикистан. Будет проведено исследование различных отходов радиоактивного и нерадиоактивного загрязнения и связанные с ними риски, после чего будут разработаны подходящие рекультивационные стратегии и решения, адаптированные к местным условиям, с последующим производством рекультивационных работ на выбранных площадках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор Урановые хвостохранилища в Республике Таджикистан: проблемы и пути их решения Душанбе, 2009, 52 стр. (Под общей редакцией д.т.н., профессора, член-корреспондента НАН РТ Хакдодова М.М.)
2. Мирсаидов У.М., Ахмедов М.З., Махмудова М.М. и др. Радиационно-гигиенический мониторинг на объектах уранового наследия Таджикистана. В сборнике Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века. Минск, 2019. - Ч.2. – с.276-279.
3. Межгосударственная целевая программа. «Рекультивация территория государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств». Москва, 2015 г., 150 с.



**ПРОБЛЕМЫ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ, ОТХОДЫ,  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ**



# СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИМИТАЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

## STOCHASTIC MODEL FOR SIMULATING TIME SERIES OF METEOROLOGICAL ELEMENTS

**А. А. Бутько<sup>1</sup>, И. А. Курюхин<sup>1</sup>, В. А. Пашинский<sup>1</sup>, О. И. Родькин<sup>2</sup>  
А. А. Butsko<sup>1</sup>, A. A. Kirukhin<sup>1</sup>, V. A. Pashynski<sup>1</sup>, A. I. Rodzkin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь, butko\_andrei@mail.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь,  
aleh.rodzkin@rambler.ru

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

В статье представлены результаты разработки стохастической модели имитации временных метеорологических рядов (стохастический генератор погоды). Моделирование искусственных метеорологических рядов с дискретностью в одни сутки выполнено на основании метода Монте-Карло по следующим элементам: максимальная и минимальная температура воздуха, солнечная радиация, скорость ветра, относительная влажность воздуха, количество и интенсивность атмосферных осадков. При разработке стохастической модели использовались приземные сетевые наблюдения ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр» по ОМН Минск ( $\varphi = 53,92^\circ$ ,  $\lambda = 27,63^\circ$ ), полученные за период с 2000-2020 гг. Полученные имитируемые метеорологические ряды статистически идентичны фактическим рядам.

The article presents the results of the development of a stochastic model for simulating time meteorological series (stochastic weather generator). Modeling of artificial meteorological series with a discreteness of one day is performed on the basis of the Monte Carlo method for the following elements: maximum and minimum air temperature, solar radiation, wind speed, relative humidity, amount and intensity of precipitation. When developing the stochastic model, the ground-level network observations of the State Institution «Republican Hydrometeorological Center» for the Minsk OMN ( $\varphi = 53.92^\circ$ ,  $\lambda = 27.63^\circ$ ) obtained for the period from 2000-2020 were used. The resulting simulated meteorological series are statistically identical to the actual series.

*Ключевые слова:* погода, температура воздуха, солнечная радиация, скорость ветра, относительная влажность воздуха, количество и интенсивность атмосферных осадков, имитационная модель.

*Keywords:* weather, temperature, solar radiation, wind speed, precipitation, maximum half-hour rain, relative humidity, simulation model.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-293-296>

Среди современных математических методов моделирования используют стохастико-детерминистические модели, которые строятся на основе математически выраженных закономерностей, описывающих физико-химические процессы в объекте моделирования и вероятностных представлений о процессах в объекте исследований и позволяющих моделировать его поведение путем вычисления функций распределения вероятности переменных, характеризующих исследуемые свойства [1].

В качестве стохастического компонента стохастико-детерминистических моделей используется стохастический генератор для моделирования искусственных метеорологических рядов с заданными статистическими характеристиками, имитирующие наблюдаемые ряды, а также обеспечения моделирования погоды на территории не освещенных данными метеорологических и гидрологических наблюдений [2].

При разработке стохастической модели использовались приземные сетевые наблюдения ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр» по ОМН Минск ( $\varphi = 53,92^\circ$ ,  $\lambda = 27,63^\circ$ ) полученные за период 2000-2020 гг., по следующим метеорологическим элементам: суточная максимальная и минимальная температура воздуха на высоте 2 м над уровнем земной поверхности; суточное количество суммарной солнечной радиации на высоте 2 м над уровнем земной поверхности, суточное количество атмосферных осадков, интенсивность атмосферных осадков в теплый период, среднесуточная скорость ветра на высоте 10 м над уровнем земной поверхности, среднесуточная относительная влажность воздуха на высоте 2 м над уровнем земной поверхности.

Стохастический компонент генерации осадков представляет собой гамма-модель цепи Маркова. Возникновение осадков моделируется дискретным Марковским процессом с двумя состояниями первого порядка (сутки с осадками/сутки без осадков). Сутки с осадками определяется как сутки с наличием осадков от 0,1 мм и более.

Марковский процесс первого порядка позволяет определить вероятность выпадения осадков в  $i$ -ые сутки в зависимости от наличия или отсутствия выпадения осадков в предшествующие сутки  $i-1$ .

Так,  $P_i(w/w)$  вероятность суток с осадками в  $i$ -ые и предшествующие сутки  $i-1$ , а  $P_i(w/d)$  вероятность суток с осадками в  $i$ -ые сутки при отсутствия осадков в предшествующие сутки  $i-1$ . Последующие вероятности перехода могут быть получены как [3]:

$$P_i(d/w) = 1 - P_i(w/w); \quad (1)$$

$$P_i(d/d) = 1 - P_i(w/d), \quad (2)$$

где  $P_i(d/w)$  – вероятность суток без осадков в  $i$ -ые сутки и с осадками в предшествующие сутки  $i-1$ ;  $P_i(d/d)$  – вероятность суток без осадков в  $i$ -ые и предшествующие сутки  $i-1$ .

Определение наличия или отсутствия выпадения осадков в  $i$ -ые сутки выполняется по значению сгенерированного случайного значения  $U$  из интервала  $[0,1]$ , которое сравнивается с соответствующей вероятностью  $P_i(w/w)$  или  $P_i(w/d)$ . Если  $U \leq P_i(w/d)$ , то  $i$ -ые сутки определяют как сутки с осадками. Если  $U \geq P_i(w/d)$ , то  $i$ -ые сутки определяют как сутки без осадков.

Примеры матриц перехода для определения суток с осадками и без осадков для некоторых месяцев (январь, июль) представлены в таблице 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Матрица перехода для января

Тип дня	я	д
я	0,62	0,38
д	0,76	0,24

Таблица 2 – Матрица перехода для января

Тип дня	я	д
я	0,61	0,39
д	0,55	0,45

Для суток с осадками суточная сумма осадков генерируется на основании обратного метода двухпараметрического гамма-распределения, функция плотности которого имеет вид:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)}, \quad (3)$$

где  $f(x)$  – плотность распределения;  $\Gamma(\alpha)$  – гамма-функция;  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры формы и масштаба соответственно.

Стохастический компонент генерации суточного хода минимальной, максимальной температуры воздуха и солнечной радиации генерируется по формуле:

$$t_i(j) = \bar{m}_i(j) \cdot (1 + \chi_i(j) \cdot \bar{v}_i(j)), \quad (4)$$

где  $t_i(j)$  – фактические значения переменной;  $\bar{m}_i$  – математическое ожидание,  $\chi_i(j)$  – рекуррентный фильтр первого порядка;  $v_i$  – коэффициент вариации переменной  $j$  в  $i$ -ые сутки реализации ( $i = 1, 2 \dots 365$ ).

Коэффициент вариации для минимальной температуры воздуха изменяется от 0,18 до 0,78; для максимальной температуры воздуха от 0,113 до 0,775; для солнечной радиации 0,345 до 0,758.

Рекуррентный фильтр первого порядка, с помощью которого достигается центрирование и нормирование отклонения от среднего значения, основан на слабо стационарном порождающем процессе, предложенном Маталасом [4]:

$$\chi_i(j) = A \cdot \chi_{i-1}(j) + B \cdot \varepsilon_i(j), \quad (5)$$

где  $A, B$  –  $3 \times 3$  матрицы коэффициентов фильтра;  $\varepsilon$  –  $3 \times 1$  матрица стандартного нормального распределения независимого случайного компонента с нулевым средним и единичной дисперсией.

Матрицы  $A$  и  $B$  представлены в виде:

$$A = M_1 \cdot M_0^{-1}; \quad (6)$$

$$B \cdot B^T = M_0 - M_1 \cdot M_0^{-1} \cdot M_0^T; \quad (7)$$

где  $M_0$  – вариационно-ковариационная матрица;  $M_1$  – матрица с запаздывающими последовательными коэффициентами и коэффициентами взаимной корреляции;  $-1, T$  – инверсия и транспонирование матрицы;

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 & \rho_0(1,2) & \rho_0(1,3) \\ \rho_0(1,2) & 1 & \rho_0(2,3) \\ \rho_0(1,3) & \rho_0(2,3) & 1 \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} \rho_1(1) & \rho_1(1,2) & \rho_1(1,3) \\ \rho_1(2,1) & \rho_1(2) & \rho_1(2,3) \\ \rho_1(3,1) & \rho_1(3,2) & \rho_1(3) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где  $\rho_0(j,k)$  – коэффициент корреляции между переменными  $j$  и  $k$  в один и тот же день;  $\rho_1(j,k)$  – коэффициент корреляции между переменными  $j$  и  $k$  с переменной  $k$ , с запаздыванием на одни сутки по отношению к переменной  $j$ ;  $\rho_1(j)$  – коэффициент последовательной корреляции с запаздыванием в одни сутки для переменной  $j$ .

Полученная матрица коэффициентов фильтра А представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица А

0,564	0,377	0,064
-0,250	1,131	0,126
0,567	-0,238	0,533

Полученная матрица коэффициентов фильтра В представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Матрица В

0,227	0,000	0,000
0,150	0,211	0,000
0,198	-0,312	0,396

Полученная  $M_0$  – вариационно-ковариационная матрица представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Вариационно-ковариационная матрица  $M_0$

1,000	0,957	0,582
0,957	1,000	0,459
0,582	0,459	1,000

Уровень достоверности матрицы  $M_0$  меньше 0,05.

Полученная  $M_1$  – матрица с запаздывающими последовательными коэффициентами и коэффициентами взаимной корреляции представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Матрица с запаздывающими последовательными коэффициентами и коэффициентами взаимной корреляции  $M_0$

0,970	0,950	0,693
0,921	0,964	0,583
0,733	0,605	0,816

Уровень достоверности матрицы  $M_1$  меньше 0,05.

Суточная скорость ветра на высоте 10 м генерируется в  $i$ -ые сутки на основании обратного метода распределения

$$v_{10,i} = \beta(-\ln(U))^{1/\alpha}, \quad (10)$$

где  $U$  – значение сгенерированного случайного значения из интервала  $[0,1]$ ;  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры формы и масштаба.

По проведенным расчетам на основании данных за 20 лет параметр формы и масштаба изменяется от 2,009 до 2,591 и 1,621 до 2,555 соответственно.

Стохастический компонент генерации относительной влажности в  $i$ -ые сутки выполняется на основании распределения Симпсона [5]:

$$\varphi_i = \bar{\varphi} \cdot \frac{\varphi_{\min} + (U \cdot (\varphi_{\max} - \varphi_{\min}) \cdot (\bar{\varphi} - \varphi_{\min}))^{0,5}}{\varphi_{\min} + \bar{\varphi} + \varphi_{\max}} \quad U \leq \frac{\bar{\varphi} - \varphi_{\min}}{\varphi_{\max} - \varphi_{\min}}; \quad (11)$$

$$\varphi_i = \bar{\varphi} \cdot \frac{\varphi_{\max} - (\varphi_{\max} - \bar{\varphi}) \cdot \left( \frac{\varphi_{\max}(1-U) - \varphi_{\min}(1-U)}{\varphi_{\max} - \bar{\varphi}} \right)^{0,5}}{\varphi_{\min} + \bar{\varphi} + \varphi_{\max}} \quad U > \frac{\bar{\varphi} - \varphi_{\min}}{\varphi_{\max} - \varphi_{\min}}, \quad (12)$$

где  $\bar{\varphi}$  – среднемесячная относительная влажность воздуха;  $\varphi_{\min}$  – нижний предел распределения относительной влажности воздуха;  $\varphi_{\max}$  – верхний предел распределения относительной влажности воздуха.

Стохастический компонент генерации максимальной получасовой интенсивности выпадения осадков в  $i$ -ые сутки выполняется аналогично определению относительной влажности воздуха описанного выше.

Предложенная стохастическая модель может быть использована при решении широкого спектра практических задач в составе стохастического компонента стохастико-детерминистических моделей для моделирования искусственных метеорологических рядов с заданными статистическими характеристиками, имитирующих

наблюдаемые ряды, а также для моделирования погоды на территориях, не освещенных данными метеорологических и гидрологических наблюдений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смит, Д. М. Модели в экологии / Д. М. Смит. – М. : Мир, 1976. – 184 с.
2. *Semenov MA, Barrow EM (1997) Use of a stochastic weathergenerator in the development of climate change scenarios. Clim Change 35:397–414.*
3. *Richardson, C. W., and D. A. Wright. 1984. WGEN: A Model for Generating Daily Weather Variables. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8, 83 p.*
4. *Matalas, N. C. 1967. Mathematical assessment of synthetic hydrology. Water Resources Res. 3(4):937, 945.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ

## MODELING AND VISUALIZATION OF PROCESSES IN UNITS OF CONSTRUCTIONS

**В. И. Красовский, Е. П. Черевань**

**V. Krasovsky, E. Cherevan**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ,  
Г.Минск, Республика Беларусь  
vikras@iseu.by*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, the Republic of Belarus*

Использование моделей различных элементов конструкций позволяет упростить расчеты сложных изделий, которые составляют большинство в отраслях, связанных с производством энергетических устройств и узлов, встроенных в технологические процессы при производстве различных видов энергии. Визуализация воздействия на элементы изделий различных видов нагрузок позволяет обучающимся наглядно фиксировать протекание процессов, влияющих на механическую прочность, моделируя различные входные данные.

The use of modules of various structural elements makes it possible to simplify the calculations of complex products that make up the majority in industries related to the production of energy devices and devices embedded in technological processes in the production of various types of energy. Visualization of the impact on the elements of products of various types of deformation allows students to visually record the flow of processes that affect the mechanical strength by modeling various input data.

*Ключевые слова:* деформация, прочность, изгиб, программное обеспечение, поля напряжений, внутренние силы, анимация.

*Keywords:* deformation, strength, bending, software, stress fields, internal forces, animation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-296-299>

При изучении процессов деформации, связанных с освоением дисциплины «Прикладная механика» студентами специальностей «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» и «Ядерная и радиационная безопасность», часто возникают затруднения в понимании местонахождения наиболее опасных участков изделий с точки зрения их механической прочности.

Конкретные изделия, с которыми приходится сталкиваться инженерам, представляют общепринятыми элементами: брусками, балками, стержнями, пластинами. Поведение этих элементов в зависимости от их геометрических размеров и параметров внешних воздействий с трудом прогнозируется не только обучающимися, но и специалистами высокого уровня. Для понимания процессов, происходящих внутри элементов конструкций, предлагается на примере наиболее распространенных видов деформации в дисциплине «Прикладная механика», раздел «Сопротивление материалов», рассмотреть модели и визуализацию возникающих перемещений и напряжений.

Для визуализации процессов при различных видах деформации было использовано программное обеспечение Ansys Mechanical Structural, находящееся в открытом доступе. Программный пакет Ansys Mechanical Structural (<https://www.ansys.com/>) [1] предназначен для расчета конструкций. Он позволяет решать сложные инженерные задачи и принимать качественные и быстрые проектные решения. С помощью решателей анализа методом конечных элементов (FEA), поддерживаемых программой, возможно настраивать и автоматизировать решения задач, возникающих в различных сферах научных исследований и производства. При помощи Ansys Mechanical Structural становится возможной визуализация многих физических явлений и эффектов. При этом, в большинстве случаев, данные, полученные в ходе моделирования, практически совпадают с реальными значениями. В связи

с этим программный пакет является удобным инструментом для эффективного освоения учебного материала, так как даёт максимально наглядное и подробное представление об изучаемых явлениях и эффектах. С помощью Ansys Mechanical Structural учащийся имеет возможность создать модель требуемого эксперимента и в кратчайшие сроки получить результат исследования без проведения натурного опыта. По завершению исследований, с помощью инструментов Ansys Mechanical Structural существует возможность создания анимации исследуемых явлений в формате видеоролика, а также возможность импортировать визуализированные характеристики исследований в формате изображения для дальнейшего их использования в учебном процессе. Примером таких характеристик является поле напряжений в балке, находящейся под заданной нагрузкой. Использование моделирования с визуализацией сложных процессов, происходящих из-за влияния внутренних сил, позволяет облегчить их понимание обучающимися и понять суть происходящих процессов в изделиях. Программное обеспечение позволяет проводить моделирование практически с любым видом нагрузки. Размеры исследуемых элементов тоже могут изменяться в достаточно широких пределах.

Реализация анимации моделирования представлена на образовательном портале сайта МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ (<http://e-learning.iseu.bsu.by/>) [2].

В связи с перечисленными преимуществами Ansys Mechanical Structural был выбран в исследовании в качестве базовой программы. Для подтверждения возможностей применения Ansys Mechanical Structural в учебных целях был сделан анализ и визуализация напряжений, возникающих в результате изгиба балки при использовании двух материалов, а также создан ряд видеороликов, отражающих динамику и характер изменений напряжений. На рисунках можно наблюдать испытываемый объект и градуированную шкалу, демонстрирующую соответствие значений напряжений и цвета, а также поля напряжений, возникших в результате приложения нагрузки.

При проведении исследования обучающимся предлагается следующий алгоритм действий:

1. Создание исследуемого объекта.
2. Выбор схемы крепления объекта.
3. Создание сетки и выбор граничных условий.
4. Постобработка и анализ полученных результатов.

Рассмотрим один из примеров реализации моделирования. В качестве исследуемого объекта была выбрана балка квадратного профиля, геометрические размеры которой представлены на рис. 1. В качестве материалов выбраны сталь и алюминий.

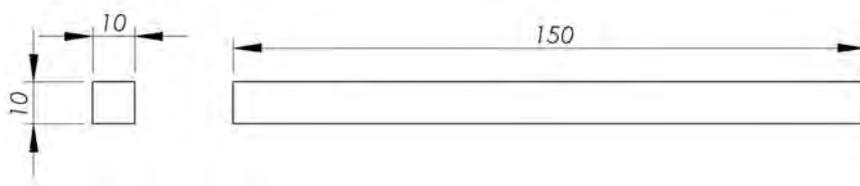


Рисунок 1. Геометрические размеры исследуемого объекта

Материалы и их характеристики были экспортированы из библиотеки Ansys. Свойствами, учитываемыми при выборе материала, являлись: плотность, модуль Юнга или модуль упругости первого рода, теплопроводность, удельная теплоёмкость, предел прочности на растяжение и максимальный предел прочности.

Для сравнительной наглядности предлагается три основные схемы крепления, а именно: заделка – шарнир, заделка - заделка и консольное закрепление. Перечисленные схемы представлены на рис.2-4. В работе, в качестве примера, использована схема, изображенная на рис.2.

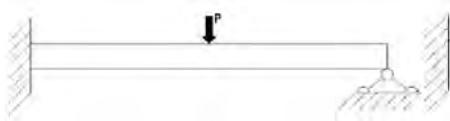


Рисунок 2. Заделка – шарнир

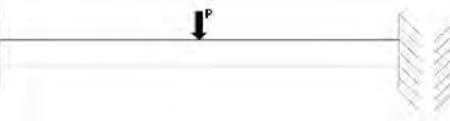


Рисунок 3. Заделка – заделка



Рисунок 4. Консольное закрепление

Исследуемый объект был разбит на 1900 конечных элементов размером 2\*2\*2 мм. Для создания гексаэдрической конформной сетки использована стандартная функция автоматического построения сетки. Конформная сетка – упорядоченная сетка, элементы которой удовлетворяют условию: если два элемента сетки пересекаются, то область их пересечения представляет собой их общую грань или ребро, в зависимости от вида конечного элемента (двумерный или трехмерный). Важно отметить, что полученный результат практически не должен зависеть от размера конечных элементов, что достигается проведением расчетов на сетках различной плотности. Внешний вид построенной сетки представлен на рис. 5.

С целью демонстрации применения программы в контексте учебного процесса были заданы переменные граничные условия, наглядно демонстрирующие разницу между получаемыми результатами. В качестве граничных условий были использованы различные материалы. В результате изменения таких условий студент может оценить поведение конструкций из этих материалов при прочих равных граничных условиях, что в дальнейшем

позволяет подбирать наиболее целесообразные материалы для создаваемых конструкций при определенных условиях эксплуатации.

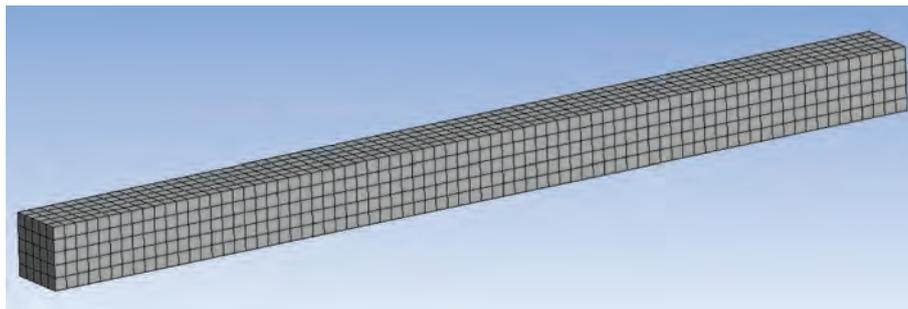


Рисунок 5. Вид построенной сетки

В работе представлены результаты исследований моделей из стали и алюминия. Время приложения нагрузки  $t=1$  секунда, характер изменения нагрузки – линейный. На рисунках, черным контуром показано начальное положение балки до деформаций.

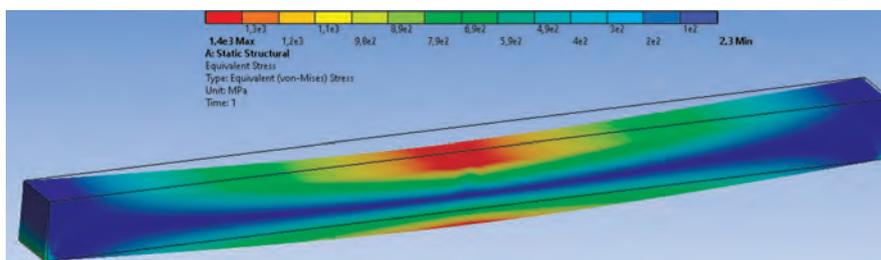


Рисунок 6. Поле напряжений на поверхности балки.  $P$  (нагрузка) = 6000 Н. Материал – сталь

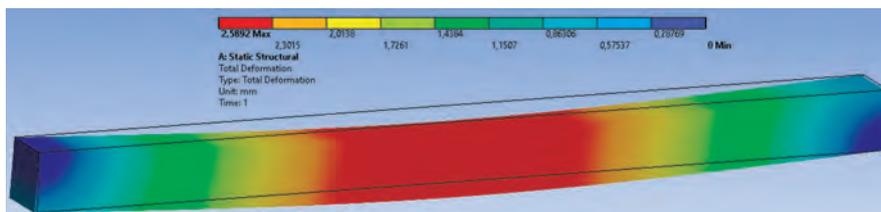


Рисунок 7. Поле перемещений на поверхности балки.  $P = 6000$  Н. Материал – сталь

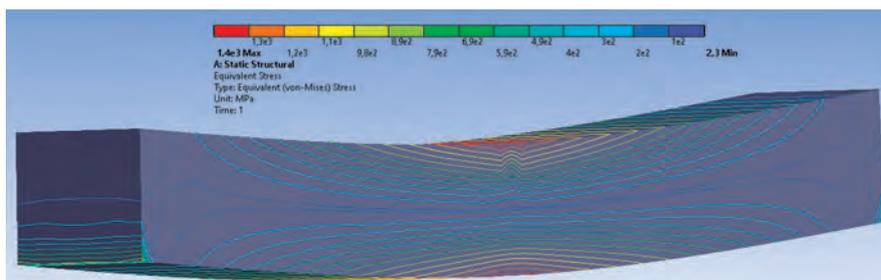


Рисунок 8. Распределение изолиний напряжений в балке.  $P = 6000$  Н. Материал – сталь

Из рис.8 можно сделать вывод, что при указанном значении нагрузки и способе крепления балки максимальные напряжения возникают на поверхности балки. Линия определенного цвета демонстрирует расположение слоя, имеющего постоянное значение напряжения. При проведении исследований со сталью максимальное напряжение, возникающее на поверхности балки, составило 1377,4 МПа, а максимальное перемещение- 2,59 мм. Важно отметить, что в программе присутствует функция сечения плоскостями. Она позволяет анализировать напряжения, возникающих внутри балки. Пример подобного сечения представлен на рис. 9.

Для сравнения проиллюстрируем поведение балки из алюминия. Граничные условия остальные остаются неизменными. Из рис.10 можно сделать вывод, что максимальное напряжение, возникающее на поверхности балки, составляет 1381,8 МПа. Из рис.11 видно, что максимальное перемещение при деформации равно 7,29 мм. Характер распределения изолиний напряжений по балке в случае применения алюминия в качестве материала балки имеет вид, как и на рис.8.

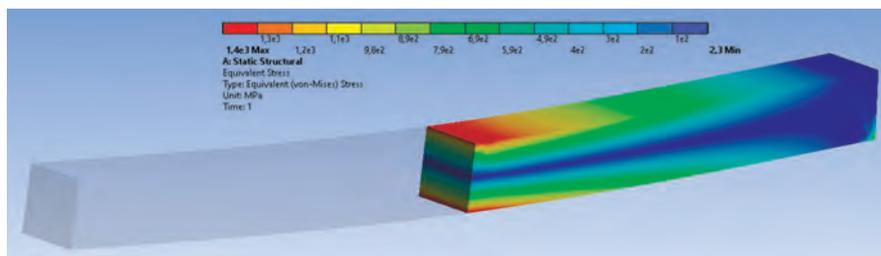


Рисунок 9. Сечение балки

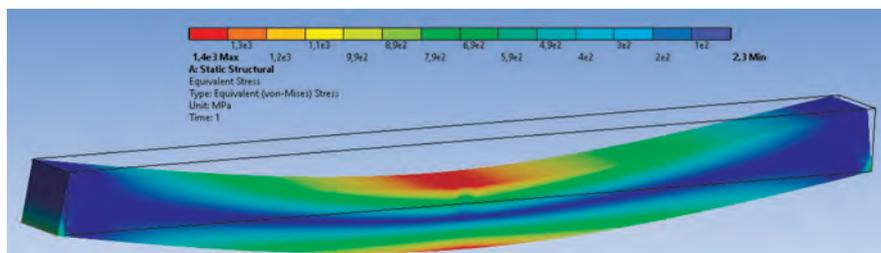


Рисунок 10 – Сечение балки с демонстрацией напряжений, возникающих в объёме.  $P = 6000$  Н. Материал – сталь.

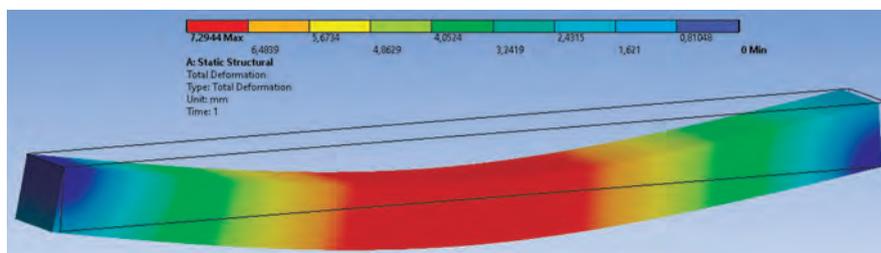


Рисунок 11. Поле перемещений.  $P = 6000$  Н. Материал – алюминий.

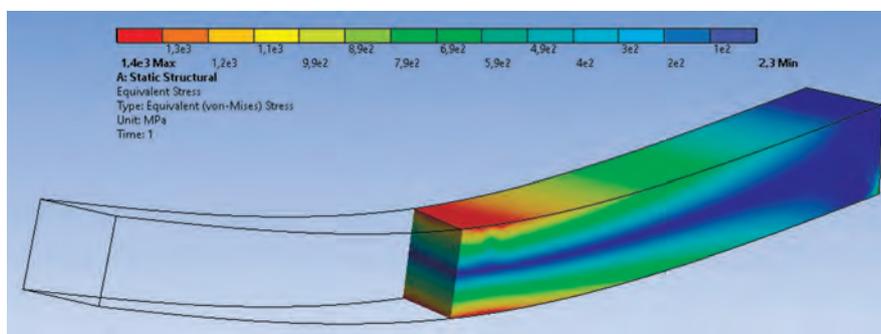


Рисунок 12. Поперечное сечение алюминиевой балки.

Полученные анимации для балок представляют цветную иллюстрацию внутреннего состояния исследуемого изделия с указанием соответствующих уровней напряжения и перемещения и изменениями их во времени. С помощью анимации обучающийся видит, какие процессы возникают внутри элемента.

Изображения, представленные на рис. 6-12 отображают цветовую гамму явлений, происходящих при деформации и возникающих напряжениях, позволяют визуальнo «прочувствовать» состояние деформированного объекта.

С полученными анимациями можно ознакомиться, пройдя по ссылке [3].

Проведенное исследование позволяет надеяться, что описанные малозатратные подходы к изучению традиционных дисциплин вызовут интерес у обучающихся.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.ansys.com/>
2. <http://e-learning.iseu.bsu.by/>
3. <https://www.youtube.com/channel/UCFouGSooBiiCFi3zrGoFEjg>

# АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВИЭ И УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

## ANALYSIS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF RES AND HYDROCARBON FUELS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

*Л. А. Липницкий<sup>1</sup>, И. Д. Фомин<sup>1</sup>, А. И. Ходасевич<sup>1</sup>, В. А. Ковалев<sup>2</sup>*  
*L. Lipnitski<sup>1</sup>, I. Fomin<sup>1</sup>, A. Khodasevich<sup>1</sup>, V. Kovalev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова  
г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь  
leonid-1@tut.by*

<sup>1</sup>*The Belarusian State University ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, the Republic of Belarus*

Рост потребления энергии и проблемы сохранения окружающей среды ставят вопросы перспектив развития углеводородных и возобновляемых источников энергии. В публикации приведены сравнения указанных энергетических ресурсов, дана их оценка, рассмотрены перспективы развития в мире, странах Европы и Беларуси. С учетом проведенного анализа определены перспективы развития углеводородного топлива и ВИЭ в Республике Беларусь.

Growth in energy consumption and environmental issues. The publication indicates the specified energy resources, gives their assessment, considers the development prospects in the world, European countries and Belarus. Taking into account the analysis of the prospects for the development of hydrocarbon fuel Belarus.

*Ключевые слова:* углеводородное топливо, возобновляемые источники энергии, топливо.

*Keywords:* hydrocarbon fuel, renewable energy sources, fuel.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-300-302>

Развитие мировой энергетики показывает непрерывный рост потребления топливно-энергетических ресурсов во всем мире. Экономический кризис, связанный с пандемией COVID-19, привел к определенному замедлению указанного процесса, в том числе к снижению производства нефти и газа, но не остановил имеющуюся тенденцию в целом. Так, за последние 30 лет потребление нефтепродуктов выросло в 1,4 раза, угля - в 1,7 раза, природного газа - в 1,9 раза, а ядерного топлива – в 1,3 раза [1].

Одновременно с ростом потребления энергии в ведущих странах мира происходит постепенный процесс перехода от традиционного углеводородного топлива к «зеленой энергии». Всё чаще возобновляемые источники энергии используют для производства тепловой и электрической энергии в целях сохранения окружающей среды от выбросов отходов, связанных с использованием углеводородного топлива. Борьба ведется в интересах улучшения экологической обстановки, сохранения чистого воздуха и против изменения глобального климата на планете.

Энергия углеводородных источников добывается путем целенаправленных действий человека и ведет к дополнительному нагреву окружающей среды. Последние исследования показывают, что средняя температура земной биосферы неуклонно повышается. Это вызывает негативные изменения в климате Земли.

Возобновляемые источники энергии – это естественные источники энергии, которые имеются в биосфере нашей планеты и могут пополняться за счет энергии солнца и естественных процессов. Данные источники не связаны с прямой человеческой деятельностью, что отличает их от невозобновляемых углеводородных источников топлива.

Применение самих возобновляемых источников энергии не приводит к дополнительной энергетической тепловой нагрузке и тем самым не способствует повышению температуры на Земле. Данные источники сами по себе являются безотходными и, соответственно, не загрязняют среду обитания.

Главное достоинство возобновляемых источников энергии – неисчерпаемость и экологическая чистота.

В Специальном докладе о возобновляемых источниках энергии и смягчении воздействий на изменение климата [2] были определены основные источники возобновляемой энергии:

- солнечная энергия;
- энергия ветра;
- энергия водных потоков рек;
- энергия морей и океанов;
- геотермальная энергия;
- энергия биомассы.

Углеводородное топливо – это горючее вещество, содержащее в своем составе соединения углерода и водорода. К углеводородному топливу в основном относятся жидкое нефтяное топлива и горючие газы. Классическое

углеводородное топливо получают из сырой нефти и природного газа, месторождения которых, как правило, находятся рядом друг с другом.

К достоинствам углеводородного топлива можно отнести следующее [3]:

- высокая энергетическая насыщенность;
- удобная, простая и разнообразная система транспортировки жидкого и газообразного топлива;
- возможность производства различных видов энергоносителей, позволяющих удовлетворять различные потребности в энергии;

Основными и главными недостатками данного топлива являются:

- интенсивное истощение запасов сырья;
- выбросы парниковых газов;
- нарушение экологического равновесия, засорение воздушного и водного бассейна.

На сегодняшний день нефть остается основным источником топлива в мире, на ее долю приходится 32% от общего потребления ресурсов, за ней следующими по уровню идут уголь – 27 % и газ -22% [1]. На долю ВИЭ приходится пока что несколько процентов мирового потребления энергетических ресурсов, но скорость роста производства энергии за счет возобновляемых источников опережает все другие способы получения энергии. За последние 30 лет рост производства электроэнергии за счет ВИЭ вырос в 7 раз.

В странах Европейского Союза в 2020 году был зафиксирован первый серьезный результат, относящийся к использованию возобновляемых источников энергии. Доля электроэнергии, полученной за счет солнца, ветра, биомассы и гидроресурсов, составила 38%, а за счет нефти, газа и угля - 37% [4]. Столь успешный рост доли ВИЭ в общем производстве электроэнергии связан в первую очередь с активным развитием солнечной и ветроэнергетики. В то же время выработка электроэнергии за счет использования природного газа сократилась только на 4%, что связано с его низкой стоимостью и незначительными выбросами в атмосферу. На этом фоне гораздо значительнее произошло за 2020 г. сокращение потребления в Европе угля (на 20%) и ядерного топлива (на 10%). Газ с успехом совместно с ВИЭ вытесняет уголь, у которого в Европе нет перспектив, из энергетической сферы.

ЕС планирует, к 2050 получить статус нейтрального региона в плане углеродосодержащих выбросов. Активный переход от бензиновых и дизельных к электрическим автомобилям снизит использование моторного топлива на 13,7 млн. баррелей в сутки [4].

Касаясь общей ситуации в мире, необходимо отметить, что углеводороды на сегодняшний день составляют 85% мирового энергобаланса и на них завязаны многие сферы экономики и страны. Кроме того, около миллиарда людей на планете вообще не имеют доступа к электричеству, на производство которого в основном ориентированы ВИЭ. Технологии активного потребления электрической энергии, такие как быстро заряжаемые емкие аккумуляторы, умные электрические сети и другие, тоже пока до конца не отработаны.

В России, где прибыль от углеводородов составляет около 30% от доходов бюджета страны, на долю ВИЭ приходится около 1,5 % в общем энергобалансе. Это связано не только с тем, что ископаемые источники приносят большую долю прибыли, но и с климатическими особенностями значительной доли регионов страны, где энергетический потенциал возобновляемой энергетики ограничен. Тем не менее Россия активно рассматривает программы развития возобновляемых источников энергии.

Потребление энергии в Республике Беларусь составляет 27,0 млн т н.э. по состоянию на 2018 г., что сопоставимо с потреблением энергии в Венгрии и Норвегии [5]. Основная доля энергии потребляется в промышленности, вторым по потреблению является жилищный комплекс.

Беларусь сильно зависит от импорта углеводородного топлива, которое поставляется в основном из России. В частности, Беларусь является одним из крупнейших импортеров природного газа (17 млн т н.э.). Беларусь импортирует такое же количество нефти, значительная доля которой идет на реэкспорт после переработки, в частности на Украину.

На долю возобновляемых источников энергии в 2018 г. в Республике Беларусь приходилось только 6% от общего энергобаланса. В Беларуси представлены пять способов получения энергии за счет возобновляемых источников энергии: ветра, солнца, движения водных потоков, биомассы и биогаза. При этом отмечается существенный рост производства энергии с использованием ВИЭ. За счет солнца, ветра, воды производство энергии за последние 15 лет выросло в 15 раз. Производство биогаза за 10 лет выросло 5,5 раза [1].

В производстве электрической энергии доминирующую роль играет использование природного газа (97,3%). С вводом атомной электростанции планируется, что доля ядерной энергетики в общем энергобалансе республики составит 40%, а доля газа составит менее 60%. На долю возобновляемых источников в производстве электроэнергии в 2018 г. приходилось 2 %. За счет ВИЭ в Беларуси вырабатывается около 550 млн. кВт\*ч. Доля различных технологий в производстве электроэнергии возобновляемыми источниками представлена на рис. 1.

Производство энергии с использованием биомассы является одним из перспективных. 40% территории республики покрыта лесами, половина которой составляет древесина. К ресурсам биомассы можно отнести древесные отходы, дрова и быстрорастущую ольху, которые оценивают в 2,2 млн т н.э. в год. Биомассу из твердых отходов используют 7 тепловых станций и 3000 котельных.

Значителен потенциал биогаза, который можно получить за счет животноводческих и птицеводческих ферм, бытовых и сельскохозяйственных отходов. Наибольший интерес представляют энергия, которую можно получить из произведенного навоза и сточных вод.

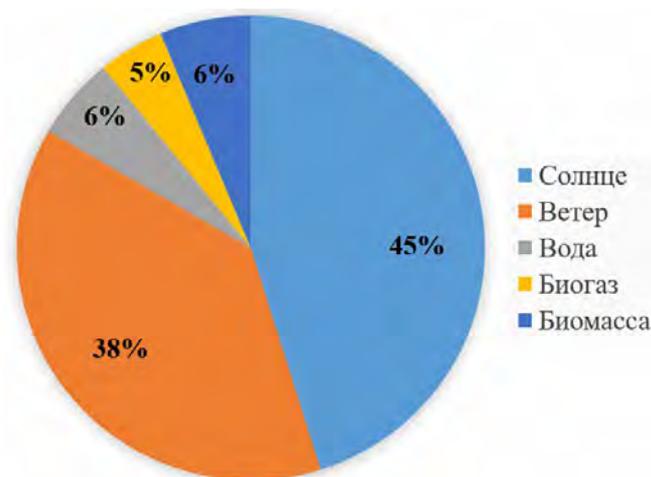


Рис. 1. Процентное соотношение различных технологий в производстве электроэнергии возобновляемыми источниками в Республике Беларусь

Гидроэнергетика республики имеет ограниченный потенциал, но есть возможность ее развития за счет малой энергетики в центральных и северных регионах страны. По оценкам экспертов гидропотенциал республики оценивается в 850 МВт.

Ветропотенциал республики оценивается величиной до 1 600 МВт, при этом можно построить 1840 ветряных электростанций. Существует 108 установок по получению энергии ветра, расположенных в Минской, Могилевской и Гродненской областях. Для Беларуси характерна низкая скорость ветра, однако с учетом создания турбин, рассчитанных на эту скорость, возможен пересмотр указанных показателей.

Солнечная энергия является наиболее перспективным направлением в развитии ВИЭ, поскольку потенциал этой энергии достаточно высок, особенно на юге и юго-востоке республики. Солнечная энергия может быть получена как за счет фотоэлектрических систем, так и путем использования гелиоколлекторных установок. Солнечный потенциал оценивается в 49,7 млн т н.э. / год.

Оценивая сложившиеся энергетические и экономические особенности страны и имеющиеся в Беларуси энергетический потенциал ВИЭ, можно прийти к заключению, что в ближайшей перспективе возобновляемая энергетика не может рассматриваться в качестве реальной альтернативы углеводородному топливу. В то же время очевидна необходимость развития ВИЭ в качестве элемента стратегии энергетической независимости республики. Однако с учетом развития атомной энергетики и соответствующим существенным сокращением потребления газа целесообразно постепенное замещение его возобновляемыми источниками энергии. Деятельность по развитию ВИЭ, которые будут постепенно заменять углеводородные виды топлива, надо рассматривать как необходимую долгосрочную перспективу увеличения энергетического потенциала республики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цилибина В. М. Возобновляемая энергетика становится самым быстро развивающимся видом генерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belchemoil.by/news/analitika/vozobnovlyаемaya-energetika-stanovitsya-samym-bystro-razvivayushhimsya-vidom-generacii>. – Дата доступа: 24.03.2021.
2. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012. -1088 p.
3. Ископаемое топливо: преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electrowelder.ru/index.php/news/55-energetics/1480-fossil-fuel.html>. – Дата доступа: 24.03.2021.
4. The European Power Sector in 2020. An analysis by Agora Energiewende and Ember. – 2021 – 18 p.
5. Belarus energy profile [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/belarus-energy-profile>. – Дата доступа: 24.03.2021.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ RESEARCH AND COMPARISON OF OPTIMIZATION OF COMPUTER PROGRAMS

**Л. А. Липницкий, П. К. Шалькевич, М. А. Трейвас, Е. П. Черевань**  
**L. A. Lipnitski, P. K. Shalkevich, M. A. Treyvas, E. P. Cherevan**

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова  
г. Минск, Республика Беларусь gloomyhit@gmail.com  
The Belarusian State University ISEI BSU, Minsk, the Republic of Belarus

Улучшение быстродействия создаваемого программного продукта является одним из важнейших моментов в информационной индустрии. Оптимальные значения скорости работы программы достигаются при помощи различных методов оптимизации кода. В этой работе представлены основные пути решения данной проблемы.

Improving the performance of the created software product is one of the most important moments in the information industry. Optimal values of the speed of the program are achieved using various methods of code optimization. This paper presents the main ways to solve this problem.

*Ключевые слова:* оптимизация, быстродействие, создание программ, информационные технологии.

*Keywords:* optimization, performance, program creation, information technologies.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-302-305>

При создании программы часто возникает проблема в выборе референтного метода оптимизации. Поток выполнения – наименьшая единица обработки информации компьютером. Поток выполнения находится внутри выполняемого процесса. Несколько потоков выполнения могут быть реализованы в пределах одного и того же процесса и вместе использовать оперативную память компьютера. Такое явление называется многозадачностью. С помощью данной функции достигается увеличение производительности компьютера.

Конкурентность – это свойство программы или компьютера, заключающееся в одновременном выполнении нескольких процессов. Конкурентность в программировании реализована с помощью установления определенных управляющих потоков. С их помощью остальные процессы избегают ожидания завершения всех остальных вычислений – как это реализуется в последовательном программировании.

Параллельное исполнение является подмножеством конкурентного исполнения и предполагает наличие нескольких вычислительных устройств, которые будут одновременно выполнять множество задач.

Параллельные вычисления задействуют несколько вычислительных ядер процессора. Из-за одновременной работы всех управляющих потоков и задействования всего рабочего цикла ядра за время исполнения параллельные вычисления невозможно реализовать с помощью одноядерного процессора. В этом и состоит основное отличие от конкурентных вычислений, которые сконцентрированы на пересечениях основных циклов вычислений. Этапы выполнения самого процесса могут быть разделены на временные промежутки – если процесс не прерывается до конца временного промежутка, то он предоставляет другому процессу возможность начать вычисление. Принцип конкурентного вычисления обычно реализован в качестве многопоточности, которая позволяет использовать преимущества параллелизации, т.е. быстро и эффективно использовать ресурсы компьютера.

Параллельные вычисления – метод формирования вычислений компьютера, позволяющий программам разрабатываться в качестве комплекта взаимодействующих вычислений, функционирующих одновременно. Данный термин не только включает в себя комплекс задач для разработки программ, но и создает эффективно манипулирующие аппаратные исполнения. Данная теория включена в отдельную область утилитарной теории программных алгоритмов.

Существует много способов осуществления параллельных расчетов. Это может быть любая вычислительная операция, которая реализована в качестве процесса операционной системы. Вычисления могут реализовываться в качестве набора потоков в одном процессе операционной системы. Параллельные утилиты могут иметь вещественное исполнение или выполняться последовательно на одном вычислительном блоке, реализуя поэтапно шаги дня осуществления каждой операции, или параллельно предоставляя всем процессам отдельный вычислительный блок, подключенный в одну сеть.

Главной проблемой при разработке программ, основанных на параллельных вычислениях, является обеспечение последовательности взаимосвязей между разными процессами, а также регулированием ресурсов, выделяемых для каждого из них.

В определенных параллельных системах передача информацией между параметрами не видна разработчику, в иных должна показываться отчетливо. Явные взаимодействия между компонентами можно разделить на три типа:

Явное взаимодействие с помощью разделяемой памяти. Процессор запускает каскад исполнения, принадлежащий процессу. Каждый поток передает данные другим потокам с помощью общего участка оперативной памяти. Потоки могут создаваться посредством языков программирования, библиотек, декларативно или автоматически, используя встроенные возможности компилятора. Данный вид одновременного программирования нуждается в форме передачи управления для согласования общей работы потоков.

Явное взаимодействие через обмен сообщениями. Для каждого процессора включается один процесс, действующий информацией с остальными процессами, выполняющимися на остальных процессорах. Передача информации осуществляется библиотекой или языком программирования. Обмен сообщениями между процессами может осуществляться асинхронно, или используя метод «рандеву», временно блокирующий отправителя до того момента, когда его сообщение не придет получателю.

Системы с разделяемой оперативной памятью считаются более сложными для понимания, нежели параллельные системы, которые базируются на передаче сообщений, и обычно считаются более плохим методом для параллельного программирования. Обмен сообщениями между несколькими системами может быть выполнен на процессорах даже без разделяемой памяти.

Гибридный способ взаимодействия между компонентами заключается в запуске на всех существующих узлах системы многопоточного процесса, распределяющего потоки этого узла между всеми процессорами. Через общую для всех процессов оперативную память производится обмен данными на узле в этом потоке, а передача сообщений осуществляется за счет обмена информацией между всеми узлами. Количество узлов определяет количество процессов, а общее количество процессоров определяет все количество потоков.

Многопоточность – это метод расчета, являющийся свойством программы, который заключается в параллельном выполнении нескольких составных задач, не мешая реализации друг другу и без какого-либо временного порядка. При расчете больших задач подобное разделение общего массива на составные части позволит использовать ресурсы компьютера наиболее эффективно. Главной задачей многопоточности является выполнение всех потоков в пространстве процесса, но реализующийся процесс имеет один или несколько главных потоков.

Многопоточная реализация какой-либо системы упрощает вычисления за счёт манипуляций общим адресным пространством, уменьшения времени на создание потока, вынесения чередования в выполнения взаимосвязанных задач, распараллеливания вычислений. Основная особенность данных процессов заключается в меньших временных затратах на начало операции, чем на основную работу. Это позволяет даже на устройствах с небольшими вычислительными мощностями выполнять множество асинхронных операций параллельно.

Just in time-компиляция расширяется как динамическая компиляция – набор методов для увеличения производительности программ за счет преобразования кода программы в машинный код прямо во время непосредственной работы самой программы. Данная операция позволяет повысить скорость выполнения за счёт уменьшения потребления оперативной памяти и как следствие затрат времени на выполнение расчетов. Данный алгоритм базируется на динамической компиляции байт-кода.

JIT-компиляция позволяет также применять динамическую рекомпиляцию и адаптивную оптимизацию, благодаря чему данный вид компиляции демонстрирует наиболее высокие результаты, нежели статическая компиляция.

JIT-компиляция также может применяться и к отдельной части выполняемой программы.

JIT-компиляция имеет определенную структуру, предоставленную на рис.1.

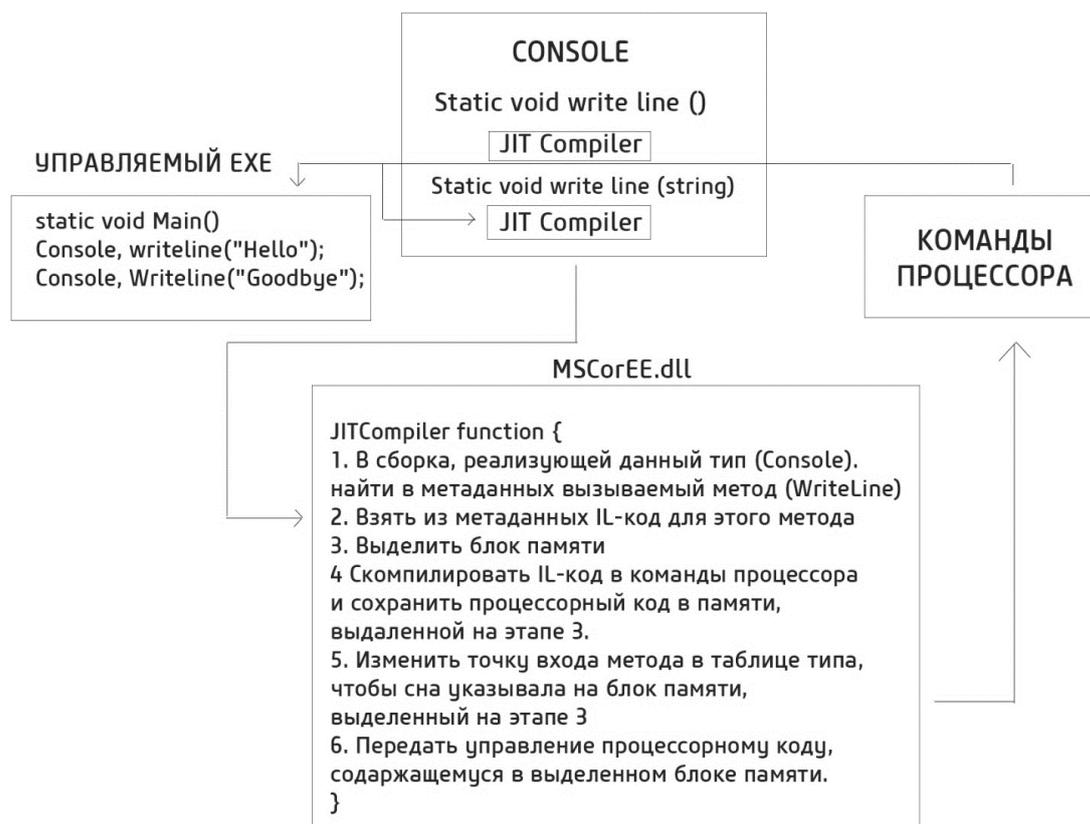


Рисунок 1 – Принцип работы Just-in-time compilation

Динамически компилируемая среда подразумевает собой среду, компилятор в которой вызван в момент непосредственного расчета. Данная функция может скомпилировать динамически сгенерированный код.

Приоритетная задача использования JIT – достижение высокой производительности за наименьшее количество времени, оставляя достоинства динамической компиляции.

Компиляторы, занимающиеся превращением исходного кода в машинный код, намного проще в исполнении, так как большую часть методов по улучшению было реализовано самим компилятором.

JIT-компиляция эффективней, нежели обычная интерпретация исходного кода. JIT демонстрирует высокую производительность, нежели статическая компиляция, из-за оптимизаций, реализуемых исключительно во время работы самой программы.

Компиляция реализуется только для компьютера, на котором включено исполняемое приложение.

Среда собирает данные о выполняющейся программе, а затем производит ее оптимизацию. Почти все компиляторы используют информацию и данные о предшествующих активациях данного приложения.

Среда способна масштабно оптимизировать исходный код без явных потерь достоинств динамического компирирования. Наиболее легкая перестройка кода для наиболее эффективного использования кэша.

JIT содержит в себе компиляцию исходного кода в машинный код, а также реализацию этого кода. Результат поступает в оперативную память и исполняется в тот же момент, без переходного сохранения или запуска в качестве восторенной программы. Сейчас для сложных систем ради улучшения устойчивости и надежности не все участки памяти используются в качестве машинного кода. Ради безопасного включения все части памяти должны быть заранее отмечены в качестве выполняемых, но для повышения уровня безопасности показатель выполнения осуществим только после удаления показателя допущения записи.

Представленные методы позволяют работать с большими файлами, приложениями, рассчитывающими большие объемы данных, или постоянно возникающими запросами с наименьшими затратами времени и наиболее эффективным использованием ресурсов вычислительной машины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Основные принципы программирования: конкурентность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tproger.ru/translations/programming-concepts-concurrency>. – Дата доступа: 21.03.2021.

2. Синхронность и асинхронность процессов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/453192>. – Дата доступа: 21.03.2021.

3. Многопоточность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C>. – Дата доступа: 07.03.2020.

4. Асинхронность (компьютерное программирование) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.qaz.wiki/wiki/Asynchorny\\_\(computer\\_programming\)](https://ru.qaz.wiki/wiki/Asynchorny_(computer_programming)). – Дата доступа: 21.03.2021.

## СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПИВОВАРЕННОГО СОЛОДА DECLINE OF POWER-HUNGRYNESS OF PROCESS OF PRODUCTION OF BREWING MALT

***В. А. Пашинский<sup>1</sup>, О. В. Бондарчук<sup>2</sup>***

***V. A. Pashynski<sup>1</sup>, O. V. Bondarchuk<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь, [pashynski@mail.ru](mailto:pashynski@mail.ru)  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь,  
Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

Приведены результаты исследования расхода энергии на сушку светлого солода при обработке пивоваренного ячменя неоднородным электрическим полем. По сравнению с солодом, зерно которого не подвергалось обработке, расход энергии меньше на 0,03 Гкал, что составляет 4,286 кг у.т. в пересчете на 1 т исходного зерна влажностью 14%.

Research results are resulted expense of energy on drying of light malt at treatment of brewing barley the heterogeneous electric field less than on 0,03 Gkal, that makes 4,286 kg of u.t. in a count on 1 t of initial grain by humidity 14% as compared to a malt grain of which was not exposed to treatment.

*Ключевые слова:* пивоваренный ячмень, напряженность электрического поля, солод, влагопоглощение, сушка, энергоемкость сушки, экстракт солода.

*Keyword:* brewing barley, tension of the electric field, malt, dehumidification, drying, power-hungryness of drying, extract of malt.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-305-308>

В Республике Беларусь в 2017 году под пивоваренный ячмень выделили 84,7 тысячи гектаров земли и получили более 205 тысяч тонн пивоваренного ячменя [1]. Тем не менее, госзаказ на его заготовку в объеме 150 тысяч тонн выполнен не полностью, а основной урожай оказался невостребованным отечественными пивоварами. По оценке специалистов концерна “Белгоспищепром”, у производителей едва наберется 58 тысяч тонн пивоваренного ячменя, который отвечает всем требованиям переработчиков. Главный недостаток – повышенное, более 12 процентов, содержание в зерне белка, следовательно, показатели качества солода будут неудовлетворительными.

Нами предложен способ [2] интенсификации процесса производства солода с помощью воздействия неоднородного электрического поля на зерновку. При этом механизм интенсификации процесса производства солода из пивоваренного ячменя заключается в том, что при воздействии на пивоваренный ячмень переменного неоднородного электрического поля высокой напряженности в результате высоковольтной поляризации происходит разрушение связи адсорбционных молекул воды, образуя свободную воду. Оставаясь в объеме зерна, свободная вода влияет на образование в зерне фитогормонов – гиббереллиновых кислот. Эти фитогормоны вызывают рост растения, а так же индуцируют экспрессию генов  $\alpha$ -амилазы, последние расщепляют крахмал на моносахара, которые в дальнейшем сбраживаются.

При внесении семян в электрическое поле в них и в рабочей зоне, создающей это поле, протекают сложные электрические процессы, которые взаимосвязаны и взаимообусловлены. В электрическом поле на семена действуют пондеромоторные силы, обусловленные свободными зарядами семени ( $\vec{F}_e$ ), смещенными поляризованными зарядами ( $\vec{F}_i$ ) и зарядами, появляющимися на границах раздела слоев семени, так называемая электрострикционная сила ( $\vec{F}_s$ ). Сила ( $\vec{F}_e$ ) – результат взаимодействия поля со свободными зарядами, которые семена могут приобрести при взаимодействии коронного заряда, трения и т. д. Если объемную плотность зарядов семени обозначить через  $\rho$ , то

$$\vec{F}_e = \int_V \rho \vec{A} d\tau. \quad (1)$$

Взаимодействие смещенных зарядов семян с внешним электрическим полем приводит к появлению силы  $\vec{F}_i$ .

$$\vec{F}_i = -\frac{1}{2} \int_V \vec{A}^2 \text{grad} \varepsilon dv, \text{ или } \vec{F}_i = \int_V n \vec{p} \text{grad} |\vec{E}| dv, \quad (2)$$

где  $\text{grad} \varepsilon$  и  $\text{grad} |\vec{E}|$  – градиенты, учитывающие неоднородность диэлектрической проницаемости и электрического поля в семени;  $n$  – число диполей в единице объема;  $dv$  – элемент объема;  $\varepsilon$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость семени;  $\vec{p}$  – электрический момент.

Из (2) следует, что сила  $\vec{F}_i$  зависит не только от напряженности электрического поля, но и от его неоднородности, поляризуемости семян, а последняя – от их биологического состояния и химического состава. Необходимое условие появления силы  $\vec{F}_i$  – неоднородность электрического поля.

При помещении семян с относительной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_1$  в поле двух электродов, на поверхностях ячменя, обращенных к положительно заряженному электроду, наводится отрицательный заряд  $Q_-$ , а на противоположной стороне – положительный  $Q_+$ . На эти заряды действует электрическое поле и если оно неоднородно, то возникают две различные по направлению и значению силы:

$$\vec{F}_i = Q_- \vec{E}_1 \quad (3)$$

$$\vec{F}_i = Q_+ \vec{E}_2. \quad (4)$$

Силы  $\vec{F}_i$  и  $\vec{F}_i''$  – направлены под углом  $\alpha$ , отличным от  $180^\circ$ . Тогда по теореме косинусов получим

$$F_i = \sqrt{(F_i')^2 + (F_i'')^2 + 2F_i'F_i'' \cos \alpha}. \quad (5)$$

Поляризационная сила  $F_n$  создана разноименно заряженными электродами и зависит от угла  $\alpha$ , который определяется пространственным расположением электродов относительно семени. При симметричном расположении семени

$$\vec{F}_i = 2\vec{E}Q \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right).$$

Зависимость  $A = \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  от  $\alpha$  с ростом угла  $\alpha$  и сила  $\vec{F}_i$  уменьшаются.

Электрострикционная сила  $\vec{F}_c$  вызывает внутри семени деформацию (сжатие или растяжение отдельных слоев). Деформация приводит к изменению плотности семени, что изменяет ее диэлектрическую проницаемость. С учетом этого

$$\vec{F}_c = \frac{1}{2} \int_V \text{grad} \left( E^2 \frac{d\varepsilon}{d\tau} \right) dv,$$

где  $\tau$  – плотность семени, кг/м<sup>3</sup>;  $d\varepsilon/d\tau$  – изменение диэлектрической проницаемости семени при его деформации.

Природа электрострикционной силы более сложная, чем силы взаимодействия поля со свободными зарядами и поляризационной силы. Семена ячменя имеют слоистую неоднородную структуру, диэлектрическая проницаемость семени неодинакова поэтому получить ее аналитическую зависимость от номера слоя семени сложно. Вместе с тем раскрытие характера этой силы, влияние ее на поляризационную силу очень важно.

Известно, что внутренние слои семени имеют большую влажность и плотность, чем внешние. Нормальная составляющая вектора электрического смещения при переходе от слоя к слою остается неизменной:

$$D_i = \varepsilon_c E_c = \varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_2 E_2 = \dots = \varepsilon_m E_m,$$

где  $E_c, E_1, E_2, \dots, E_m$  – напряженности электрического поля во внешней среде и в слоях семени.  $\varepsilon_c, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m$  – диэлектрическая проницаемость воздуха и слоев семени. Диэлектрическая проницаемость при рассмотрении слоев семени от внешних к внутренним увеличивается, а напряженность электрического поля уменьшается. Вследствие этого на поверхности семени и на границах слоев наводятся заряды с определенной поверхностной плотностью.

В результате воздействия зарядов внутри семени его слои сжимаются, растягиваются и изгибаются. (Тарушкин). Число силовых линий в том или ином слое зависит от его диэлектрической проницаемости. Чем больше диэлектрическая проницаемость, тем меньше напряженность электрического поля и тем меньше число силовых линий проходит через этот слой.

В зависимости от соотношения диэлектрических проницаемостей веществ отдельных слоев,

$$\varepsilon_c < \varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3$$

последние могут сжиматься или растягиваться. При условии электрострикционные силы внутренние слои семени растягивают, а если

$$\varepsilon_c < \varepsilon_1 < \varepsilon_2 > \varepsilon_3$$

сжимают. Сжатие или растяжение слоев семени может привести к изменению влагоудерживающей способности, что существенно может повлиять на процесс замачивания.

В случае  $\varepsilon_c < \varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3$  взаимодействие заряда каждого слоя с зарядом электрода создает определенные силы. Взяты условия три слоя семени и построены векторы этих сил. Пренебрегая тем, что точки приложения этих сил к семени разные, то их можно сложить. Суммарная сила:

$$\vec{F}_c = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_a.$$

$\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_a$  – силы, действующие на поверхностные заряды семян;  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4, \vec{F}_5$  – на заряды слоев семени. Суммарная сила для  $m$  слоев:

$$\vec{F}_c = \sum_{i=1}^m \vec{F}_i.$$

При  $\varepsilon_c < \varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3$  внутренние заряды максимально усиливают поляризационную силу. Если же это условие нарушается, то заряды, наведенные внутри семени, могут несколько уменьшить эту силу.

Направление действия поляризационной силы зависит от диэлектрической проницаемости среды. Если диэлектрическая проницаемость среды меньше, чем у всех слоев семени, то оно притягивается к электродам. В противном случае выталкивается из области поля с большей напряженностью в область с меньшей напряженностью.

Экспериментальными исследованиями установлены оптимальные технологические параметры обработки пивоваренного ячменя: напряженность электрического поля 1,284 МВ/м; время обработки одной партии ячменя 3 с; количество обработок одной партии ячменя 3 раза. При этом энергоемкость процесса составляет 1,17 кВт·ч/т обработанного пивоваренного ячменя.

Сушку солода проводят подогретым воздухом с соблюдением определенного температурного режима (при сушке светлого солода температуру постепенно повышают с 25 до 75 – 80 °С, а при сушке темного – с 25 до 100–150 °С).

У сухого солода ростки после сушки становятся хрупкими, и их удаляют (отбивают на специальной машине), так как готовому пиву ростки придают горький и неприятный вкус. В процессе сушки влажность зеленого солода снижается с 40 – 50 до 4% при получении светлого и до 2% при получении темного солода.

При производстве солода теплота расходуется на сушку свежепросоженного солода. Расход определяется на основании материального и теплового баланса сушилки [3].

Количество испаряемой влаги из солода при сушке, кг, можно определить по уравнению:

$$W = G_{\text{вл}}(w_{\text{вл}} - w_c) / (100 - w_c) = G_c(w_{\text{вл}} - w_c) / (100 - w_{\text{вл}}),$$

где  $G_{\text{вл}}$  и  $G_c$  – масса свежепросоженного и свежесушенного солода, кг;

$w_{\text{вл}}$  и  $w_c$  – влажность свежепросоженного и свежесушенного солода, %.

Материальный баланс влаги, кг, солодовенной сушилки определяется по уравнению:

$$W = Ld_2 - Ld_0,$$

где  $W$  – количество влаги, удаляемой из солода при сушке, кг;

$L$  – расход воздуха в сушилке, кг;

$d_2$  и  $d_0$  – влагосодержание свежего и отработанного воздуха, кг/кг, для расчета принимаем  $d_2 = 0,010$  кг/кг,  $d_0 = 0,022$  кг/кг [3];

Тогда расход воздуха в сушилке, кг, можно определить по формуле

$$L = \frac{W}{d_2 - d_0}.$$

Основная масса влаги из солода при сушке удаляется при температурах до 50 °С, чтобы не происходила клейстеризация крахмала пивоваренного зерна. В конце периода сушки количество удаляемой влаги невелико, но для достижения конечной цели сушки температура поднимается в зависимости от типа получаемого солода.

Расход тепловой энергии на сушку солода, кДж, определяется по уравнению:

$$Q_{\text{суш}} = [L(I - I_0) + G_c C_c (t_2 - t_1) - W C_{\text{в}} t_1] / \eta,$$

где  $I$  и  $I_0$  – энтальпия свежего и отработанного воздуха, кДж/кг, для расчета приняты  $I = 46,47$  кДж/кг,  $I_0 = 86,37$  кДж/кг [3];

$t_1$  и  $t_2$  – начальная и конечная температура солода, °С, для расчета приняты  $t_1 = 17$  °С,  $t_2 = 80$  °С;

$G_c$  – масса свежесушеного солода, кг;

$C_c$  и  $C_w$  – удельная теплоемкость высушенного солода и воды, кДж/(кг·°С), для расчета принимаем  $C_c = 1,42$  кДж/(кг·°С);  $C_w = 4,1868$  кДж/(кг·°С) [3];

$\eta$  – КПД сушилки, учитывающий потери тепла в окружающую среду, для расчета примем равным 0,8.

Результаты расчета сведены в табл. 1. Из таблицы видно, что количество испаряемой влаги из солода, зерно которого предварительно обрабатывали неоднородным электрическим полем, меньше на 2,9 %, а количество энергии на сушку такого солода меньше на 0,03 Гкал в пересчете на 1 т исходного зерна влажностью 14 % по сравнению с солодом, зерно которого не подвергалось обработке.

*Таблица 1 – Результаты расчета потребности в тепловой энергии на сушку светлого солода в расчете на 1 т исходного зерна влажностью 14 %*

№ образца	Масса свежесушеного солода, кг	Количество испаряемой влаги, кг	Расход воздуха в сушилке, кг	Расход тепловой энергии на сушку солода, Гкал
Контроль	1322	427,6	35633	0,439
Зерно подвергнутое электрической обработке	1293	398,6	33217	0,409
Разница ±	- 29	- 29	- 2416	- 0,03

#### **Заключение**

По результатам исследований видно, что расход энергии на сушку светлого солода при обработке пивоваренного ячменя неоднородным электрическим полем меньше на 0,03 Гкал, что составляет 4,286 кг у.т. в пересчете на 1 т исходного зерна влажностью 14% по сравнению с солодом, зерно которого не подвергалось обработке.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Продукт by [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://produkt.by/news/kachestvo-pivovarenno-go-yachmenya-v-etom-godu-vyshe-proshlogodnego> – Дата доступа: 14.08.2018.
2. Способ обработки пивоваренного ячменя в сухом виде : пат. 22032 Респ. Беларусь, МПК С12С 1/02 О. В. Бондарчук, В. А. Пашинский, Н. Ф. Бондарь; заявитель Учреждение образования «Белорусский аграрный технический университет». – № а 20160040; заявл. 10.02.2016; опубл. 30.10.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. Уласнасці / – 2017. – №5. – С. 21.
3. Киселева Т. Ф. Технология отрасли. Технологические расчеты по производству солода: учебное пособие / Т. Ф. Киселева; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2005. – 120 с.

## **МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ ЗАГРУЗКИ MINIMIZATION OF LOSSES IN POWER TRANSFORMERS BY OPTIMIZATION OF THEIR LOAD**

**В. А. Пашинский, П. С. Величко  
V. A. Pashynski, P. S. Velichko**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь, pashynski@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, the Republic of Belarus*

Приведена методика определения расчетной мощности трансформатора трансформаторной подстанции методом эффективного числа электроприемников с целью минимизации потерь в стали и меди трансформатора путем повышения коэффициента загрузки до оптимального значения не менее 0,75.

The method of determination of calculation power of transformer of transformer substation is resulted by the method of effective number of electro-receivers with the purpose of minimization of losses in steel and copper of transformer by the increase of load factor to the optimum value no less than 0,75.

*Ключевые слова:* трансформатор, электрическая нагрузка, эффективное число электроприемников, потери энергии.

*Keyword:* transformer, electric loading, effective number of electro-receivers, losses of energy.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-308-311>

Современное состояние использования трансформаторных мощностей свидетельствует о том, что их загрузка составляет в среднем не более 35 %. Это приводит к значительным потерям в трансформаторах. Для повышения эффективности электропотребления необходимо снижение непроизводительных потерь электроэнергии в элементах систем электроснабжения. Одним из путей решения этой проблемы является создание оптимального режима работы трансформаторных подстанций при условии обеспечения надежного питания узла нагрузки.

Необходимо учитывать то, что в общей структуре затрат электроэнергии на её транспортирование и распределение часть потерь электроэнергии в трансформаторах превышает 20% [1].

В настоящее время в промышленно развитых странах осваивают выпуск высокоэффективных трансформаторов со сниженными потерями холостого хода (х.х.) и нагрузочными потерями. В Европе замена трансформаторов на современные обеспечивают экономию затрат на транспорт электроэнергии, равную 2 миллиардам евро. В результате реализации мероприятий в европейском трансформаторостроительстве потери х.х. для условного трансформатора (напряжением 220 кВ мощностью 200 МВ·А) за последние 50 лет снижены более чем втрое, а нагрузочные потери вдвое.

Потери х.х. приносят убытки в несколько раз больше, чем нагрузочные потери, составляя основную часть капитальных затрат. Убытки от потерь х.х. особенно существенны для трансформаторов малых мощностей (до 1000 кВ·А).

Снижение потерь х.х. трансформаторов достигается за счет:

- повышения качества электротехнической стали за счет увеличения магнитной проницаемости;
- применения аморфных сталей, потери в которых ниже в 3 – 4 раза, чем у обычных сталей;
- использования электротехнической стали толщиной до 0,18 мм;
- проектирования сердечника трансформатора с низким уровнем индуктивности.

Учитывая сложившуюся в современных условиях стабильную неравномерность суточных графиков электрических нагрузок, требующую изменения схемы питания узла нагрузки, рассмотрим возможные варианты переключений в зависимости от загрузки трансформаторов с целью экономии электроэнергии и определим функциональную зависимость потерь активной мощности трансформаторов при изменении электрической нагрузки и правильном ее определении.

Как известно, потери в трансформаторах в симметричном номинальном режиме складываются из потерь в стали и меди [2]:

$$\Delta P_i = \Delta P_{xxi} + \Delta P_{кзи} K_3, \quad (1)$$

где  $\Delta P_{xxi}$ ,  $\Delta P_{кзи}$  – потери х.х. и короткого замыкания (к.з.)  $i$ -го трансформатора, которые принимаются по справочным данным трансформаторов завода изготовителя; – коэффициент загрузки  $i$ -го трансформатора, который рекомендуется не менее 0,75.

Потери в работе трансформатора мощностью  $S_1$  можно определить, как потери при его фактической нагрузке  $S_{11}$  [2]:

$$\Delta P_1 = \Delta P_{xx1} + \frac{S_{11}}{S_1} \Delta P_{кз1}. \quad (2)$$

Зависимость удельных приведенных потерь мощности  $[\Delta P]_{T^*}/S$  (ном.т) от коэффициента загрузки трансформаторов представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что интенсивный рост удельных потерь в трансформаторах серии ТМ мощностью от 630 до 1600 кВ·А наблюдается при низких коэффициентах загрузки, а загрузка трансформаторов ниже 0,7 не экономична.

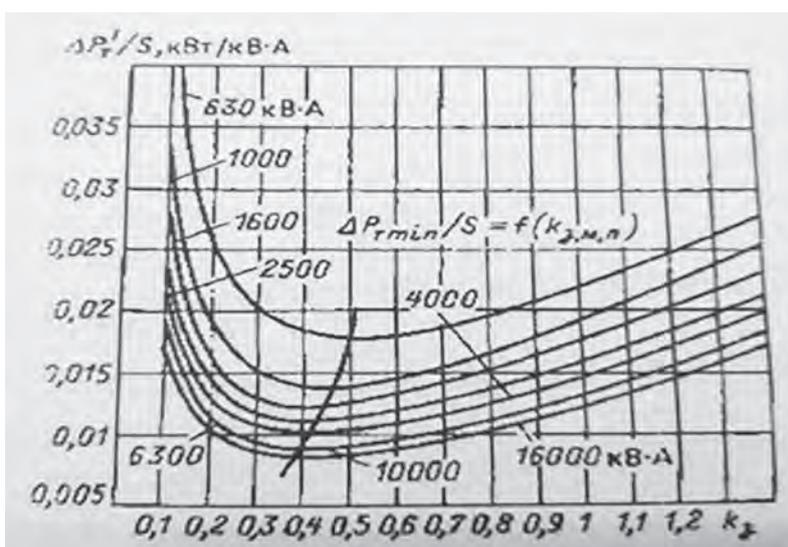


Рис. 1 – Зависимость удельных приведенных потерь мощности трансформаторов серии ТМ от коэффициента загрузки  $k_3$

Поэтому задача оптимальной загрузки трансформаторов является актуальной и соответствует максимально-му значению КПД трансформатора:

$$\eta_T = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{P_T''}{P_2 + \Delta P_T''}, \quad (3)$$

где  $P_2$  – активная мощность, поступающая из сети;

$P_1$  – активная мощность, отдаваемая трансформатором во вторичную сеть;

$\Delta P_T''$  – приведенные потери активной мощности в трансформаторе.

Передача реактивной мощности вызывает потери активной мощности и энергии в элементах сети. Поэтому снижение транспортировки реактивной мощности позволит снизить потери активной мощности. Если в узле энергосистемы реактивная мощность уменьшается на  $Q_p - \Delta Q$ , то потери активной мощности от узла до источника энергии определяются выражением:

$$\Delta P'' = (Q_p - \Delta Q)^2 R / U_n^2, \quad (4)$$

где  $U_n^2$  – номинальное напряжение в узле энергосистемы;

$R$  – активное сопротивление цепи от узла до источника энергии. Компенсацию реактивной мощности возможно производить с помощью компенсирующих устройств. Однако установка компенсирующих устройств целесообразна, когда эффект снижения потерь активной мощности и энергии при компенсации реактивной мощности будет больше приведенных затрат, связанных с проектированием, капитальными вложениями и эксплуатацией компенсирующего устройства. При этом простой срок окупаемости капиталовложений не превысит пять лет.

Учитывая сложившуюся в современных условиях стабильную неравномерность суточных графиков электрических нагрузок, требующую изменения схемы питания узла нагрузки, рассмотрим возможные методики определения расчетных нагрузок.

Методы расчета электрических нагрузок, применяемые при проектировании систем электроснабжения, подразделяют на две группы: основные и вспомогательные.

К основной группе относятся методы расчета по:

– установленной мощности и коэффициенту спроса; средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузок;

– средней мощности и отклонению расчетной нагрузки от средней (статический метод);

– методом эффективного числа электроприемников (метод упорядоченных диаграмм).

К вспомогательным методам относят расчеты по:

– удельному расходу электроэнергии на единицу продукции при заданном объеме выпуска продукции за определенный период времени;

– удельной нагрузке на единицу производственной площади.

Метод расчета электрических нагрузок выбирается следующим образом:

1) при определении расчетных нагрузок по отдельным группам приемников и узлам напряжением до 1000 В цеховых сетей следует использовать метод эффективного числа электроприемников (упорядоченных диаграмм) или статический метод;

2) при определении расчетных нагрузок на высших ступенях системы электроснабжения, начиная с цеховых шинопроводов или шин цеховых трансформаторных подстанций и кончая линиями, питающими предприятия, рекомендуется применять методы расчета, основанные на использовании средней мощности и коэффициентов мощности  $\cos \varphi$ , формы  $K\phi$  и отклонения;

3) при ориентировочных расчетах на высших ступенях системы электроснабжения можно применять метод расчета по установленной мощности и коэффициенту спроса  $K_c$ , а в некоторых случаях по удельным показателям потребления электроэнергии.

Все вышеперечисленные методы расчета электрических нагрузок применяются при проектировании системы электроснабжения промышленных предприятий. Они могут случайно применяться и при проектировании электрических сетей сельскохозяйственного назначения, если предприятия, которые питаются от этих сетей, по составу оборудования и режиму работы аналогичны промышленным. Наиболее точным методом расчета электрических нагрузок является метод эффективного числа электроприемников.

Эффективным числом электроприемников называется такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает то же значение расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности реальных электроприемников.

Эффективное число электроприемников определяют по формуле [5]:

$$n_э = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum n \cdot p_n^2}, \quad (5)$$

где  $P_n$  – групповая установленная (номинальная) мощность ЭП, кВт;  $p_n$  – установленная (номинальная) мощность одного ЭП, кВт;  $n$  – число ЭП.

Формулой (3) можно пользоваться для любого числа электроприемников.

Определение значений расчетных нагрузок ( $P_p$ ,  $Q_p$ ,  $S_p$ ,  $I_p$ ), проектируемого объекта в основном сводится к нахождению числа  $n_э$ .

По известной величине  $n_э$ , с использованием таблицы в зависимости от  $K_p = f(n_э, K_n)$  находят величину коэффициента расчетной нагрузки  $K_p$ . Далее, применяя известные формулы, определяют искомые величины.

$$P_p = K_p \sum_{i=1}^n k_i p_n; \quad (6)$$

$$Q_p = 1,1 \sum k_u p_n t g \varphi \text{ (для } n < 10); \quad (7)$$

$$Q_p = \sum k_u p_n t g \varphi \text{ (для } n > 10); \quad (8)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (9)$$

$$I_p = S/\sqrt{3} \cdot U_H. \quad (10)$$

Для значительного числа электроприемников (несколько десятков), когда расчеты получатся громоздкими, а потому затруднительными, применяют упрощенную формулу для расчета числа  $n_3$  (вместо формулы 3):

$$n_3 = \frac{2 \sum P_n}{P_{\text{нмакс}}}, \quad (11)$$

где  $P_{\text{нмакс}}$  – наибольшая мощность электроприемника группы.

В результате расчета по упрощенной формуле (11) может оказаться  $n_3$  больше  $n$ , тогда следует принимать  $n_3 = n$ . Для случая, когда для электроприемников электроустановки отношение  $P_{\text{нмакс}} / P_{\text{нмин}} \leq 3$ , то также принимают  $n_3 = n$ . Здесь  $P_{\text{нмакс}}$ ,  $P_{\text{нмин}}$  – номинальные мощности соответственно наиболее мощного и наименьшего по мощности электроприемников рассчитываемой группы ЭП.

При решении данной задачи упрощенную формулу при необходимости целесообразно применить только при расчете нагрузок по зданию в целом.

### Заклучение

1. Минимизировать потери активной мощности в цеховых трансформаторах возможно путем оптимизации трансформаторных мощностей в нормальном и послеаварийном режимах.

2. Снижение потерь активной мощности в силовых трансформаторах обеспечивается улучшением качества электроэнергии, а также обновлением трансформаторного парка, выполненного по высокоэффективным технологиям.

3. Снижения потерь х.х. достигается за счет:

- повышения качества электротехнической стали с повышенной магнитной проницаемостью со сниженными удельными потерями на перемагничивание и вихревые токи;
- проектирования сердечника трансформатора для работы с низким уровнем индуктивности;
- применения аморфных сталей, потери в которых в 3–4 раза меньше чем в обычных сталях;
- использования листовой стали со сниженной толщиной листа (до 0,18 мм).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Энергосберегающее оборудование. Восточноевропейский журнал передовых технологий, № 6, 2012. – с. 12.
2. Держский В. Г. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в распределительных сетях. / В. Г. Держский, В. Ф. Скиба // Энергосбережение · Энергетика · Энергоаудит, № 6, 2009. – с. 20 – 21.
3. Проектирование электроустановок. Практикум: учебно-методическое пособие/ П. В. Кардашов, Н. И. Павликов, О.В. Бондарчук. – Минск : БГАТУ, 2019. – 144 с.
4. Кирисов И.Г. Минимизация потерь в силовых трансформаторах при изменении режима нагрузки. / И. Г. Кирисов, Т. И. Овчаренко // Энергосбережение · Энергетика · Энергоаудит, № 6, 2014. – с. 49 – 56.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ СЕМЯН САЛАТОВ К ПОСЕВУ ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGIES OF PREPARATION OF SALAD SEEDS FOR SOWING

**В. А. Пашинский, В. В. Сивуха**  
**V. Pashynski, V. Sivukha**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь, pashynski@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, the Republic of Belarus*

Приведена обзорная информация о возможности подготовки семян к посеву, с целью повышения всхожести и урожайности, путем воздействия на их переменного неоднородного электрического поля высокой напряженности.

An overview is given on the possibility of preparing seeds for sowing in order to increase germination and productivity by exposing them to a variable non-uniform electric field of high intensity.

*Ключевые слова:* семена, электрическое поле, поляризация, заряд.

*Keyword:* seeds, electric field, polarization, charge.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-311-314>

Качество семенного материала в решающей степени определяет качество и количество получаемого урожая. Сельскохозяйственное производство предъявляет к семенам определённые требования, установленные государственными стандартами.

Производство семян включает ряд технологических мероприятий: послеуборочное хранение, предпосевная обработка, обеззараживание, посев. На каждой стадии производства и хранения на семена возможно негативное влияние природно-климатических и хозяйственных факторов, которые снижают их качество. При неудовлетворительных условиях хранения или выращивания семена теряют естественную всхожесть, заражаются болезнями, повреждаются насекомыми-вредителями или при механической обработке. Специалисты сельскохозяйственного производства и учёные постоянно ищут способы и средства для повышения посевных качеств семян. Следует учесть, что эффективность предпосевной обработки семян в значительной мере зависит от тех условий, в какие они попадают. Чаще всего стимулирующие рост и развитие методы показывают аналогичные результаты при их использовании в различных условиях, но уровень их эффективности будет при этом разным. В настоящее время разработаны различные методы предпосевной подготовки семян.

Все методы предпосевной обработки семян условно разделяются на три класса: механические, физические и химические. Механические методы подготовки семян (очистка, сортировка на фракции по плотности, размерам, электросепарация и т. д.) используются во всех без исключения системах, предваряя физические и химические методы воздействия.

К химическим методам относятся: замачивание в растворе микроэлементов, использование стимуляторов роста, осмообработка, протравливание, инкрустация. На сегодняшнее время существует широкий спектр химических средств, влияющих на урожай сельскохозяйственных культур. В большинстве случаев это сложные химические соединения, устойчивые к внешним воздействиям (воздух, солнечное излучение, вода и пр.) и не разлагающиеся в природе даже в течение многих лет. Эти химические соединения включаются в кругооборот веществ на планете и, будучи смертельно опасными для человека и животных, распространяются по всей биосфере. К тому же химические способы обработки семян имеют высокую себестоимость.

Наибольший интерес для получения экологически чистой продукции представляют физические факторы воздействия электромагнитного поля, такие как гамма-излучение, рентгеновские, ультрафиолетовые, видимые оптические, инфракрасные, СВЧ излучение, радиочастотные, магнитное и электрическое поле, облучение альфа- и бета-частицами, ионами различных элементов, гравитационным воздействием и т.д. Использование гамма и рентгеновского облучения опасно для жизни человека, а потому малоприспособно для эксплуатации в сельском хозяйстве. Актуальным является исследование воздействия электромагнитных полей при выращивании зерновых, пасленовых, масличных, бобовых, бахчевых культур и корнеплодов [1].

Электрическое поле (как постоянное, так и переменное) является довольно известным фактором воздействия на различные биологические среды и объекты, в том числе и на семена. Некоторыми исследователями установлено влияние электрообработки на отдельные характеристики зерновок (всхожесть и т.д.), получены определенные результаты и выполнено их математическое описание. Однако, как правило, авторы рассматривают только один или несколько параметров электрического поля и оценивают их количественное влияние, не объясняя природу и механизм полученных изменений.

Такой подход является некорректным, поскольку электрическое поле – это форма материи, оказывающая комплексное воздействие на биологические объекты как на макро-, так и на микроуровне. При этом изменяется протекание целого ряда внутриклеточных процессов, что далее вызывает более масштабные эффекты (изменение характеристик зерна). Таким образом, можно вести речь в определенной степени об информационном, управляющем воздействии, которое при весьма низких энергозатратах способно обеспечить значительный эффект.

При внесении семян в электрическое поле в них и в рабочей зоне, создающей это поле, протекают сложные электрические процессы, которые взаимосвязаны и взаимообусловлены. В электрическом поле на семена действуют пондеромоторные силы, обусловленные свободными зарядами семени ( $\vec{F}_e$ ), смещенными поляризованными зарядами ( $\vec{F}_i$ ) и зарядами, появляющимися на границах раздела слоев семени, так называемая электрострикционная сила ( $\vec{F}_n$ ) [2]. Сила ( $\vec{F}_e$ ) – результат взаимодействия поля со свободными зарядами, которые семена могут приобрести при взаимодействии коронного заряда, трения и т. д. Если объемную плотность зарядов семени обозначить через  $\rho$ , то

$$\vec{F}_e = \int_r \rho \vec{A} d\tau. \quad (1)$$

Взаимодействие смещенных зарядов семян с внешним электрическим полем приводит к появлению силы  $\vec{F}_i$  (296).

$$\vec{F}_i = -\frac{1}{2} \int_0^v A^2 \text{grad} \varepsilon dv, \text{ или } \vec{F}_i = \int_0^v n \overline{p} \text{grad} |\vec{E}| dv, \quad (2)$$

где  $\text{grad} \varepsilon$  и  $\text{grad} |\vec{E}|$  – градиенты, учитывающие неоднородность диэлектрической проницаемости и электрического поля в семени;  $n$  – число диполей в единице объема;  $dv$  – элемент объема;  $\varepsilon$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость семени;  $P$  – электрический момент.

Из (2) следует, что сила  $\vec{F}_i$  зависит не только от напряженности электрического поля, но и от его неоднородности, поляризуемости семян, а последняя – от их биологического состояния и химического состава. Необходимое условие появления силы  $\vec{F}_i$  – неоднородность электрического поля.

При помещении семян с относительной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_1$  в поле двух электродов, на поверхностях ячменя, обращенных к положительно заряженному электроду, наводится отрицательный заряд  $Q_-$ , а на противоположной стороне – положительный  $Q_+$ . На эти заряды действует электрическое поле и если оно неоднородно, то возникают две различные по направлению и значению силы:

$$\vec{F}'_i = Q_- \vec{E}_1 \quad (3)$$

$$\vec{F}''_i = Q_+ \vec{E}_2. \quad (4)$$

Силы  $\vec{F}'_i$  и  $\vec{F}''_i$  – направлены под углом  $\alpha$ , отличным от  $180^\circ$ . Тогда по теореме косинусов получим

$$F_i = \sqrt{(F'_i)^2 + (F''_i)^2 + 2F'_i F''_i \cos \alpha}. \quad (5)$$

Поляризационная сила  $F_i$  создана разноименно заряженными электродами и зависит от угла  $\alpha$ , который определяется пространственным расположением электродов относительно семени. При симметричном расположении семени

$$\vec{F}_i = 2EQ \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right).$$

Зависимость  $A = \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  от  $\alpha$  с ростом угла  $\alpha$  и сила  $\vec{F}_i$  уменьшаются.

Электрострикционная сила  $\vec{F}_c$  вызывает внутри семени деформацию (сжатие или растяжение отдельных слоев). Деформация приводит к изменению плотности семени, что изменяет ее диэлектрическую проницаемость.

Ввиду высокой сложности и малоизученности указанных клеточных процессов целесообразно их рассматривать не прямым исследованием и моделированием, а путем изучения воздействий, более доступных для наблюдения. К указанным воздействиям относятся, в частности, электрические силы, действующие на отдельные элементы семени, механические силы, а также энергия электромагнитного поля, поглощаемая клетками.

Силы, действующие на частицы в электрическом поле, подразделяют на электрические и механические. К электрическим силам относятся:

- электрическая кулоновская сила;
- результирующая сила, действующая на диполь; под действием этой силы происходит притягивание разноименно заряженных частиц и отталкивание одноименно заряженных;
- пондеромоторная сила, которая возникает только в неоднородных электрических полях;
- сила зеркального отображения.

К механическим силам относятся, прежде всего, сила тяжести и сила сопротивления среды.

Заряды внутри семени, вызванные воздействием внешнего электрического поля создают электрострикционную силу, которая либо сжимает, либо растягивает отдельные слои семени. Происходит деформация биомембран, что является определяющим фактором изменения их проницаемости.

Деформация слоев зерна приводит к изменению его влагоудерживающей способности, что может оказать существенное влияние на процессы замачивания, активизации ферментов и растворения запасных веществ эндосперма.

Вследствие поглощения энергии проникающего электромагнитного поля происходят локальные микроразрушения цитоплазматических оболочек растительных клеток зерновых культур, являющихся основным препятствием в диффузионно-осмотических процессах, которые оказывают существенное влияние на водопоглощение.

Семена содержат физико-химически и механически связанную влагу. Первая обладает невысокой энергией связи, что приводит к быстрому смещению динамического равновесия между свободной и связанной влагой в зерне при изменении внешних факторов, таких как напряженность электрического поля и температура. При их повышении разрушаются связи адсорбционных молекул воды, часть их десорбируется с активных центров, образуя свободную воду. Оставаясь в объеме зерна, свободная вода влияет на физико-химические свойства биополимеров, вызывает повышение гибкости и подвижности боковых цепей их макромолекул. Что в дальнейшем способствует более раннему образованию в зерне фитогормонов – гиббереллиновых кислот (ГК).

Схема действия гиббереллина при прорастании зерновки ячменя представлена на рисунке 1.

Фитогормоны в прорастающих семенах способствуют расщеплению крахмала. На биохимическом уровне установлена способность гиббереллинов индуцировать экспрессию генов  $\alpha$ -амилазы и других гидролитических ферментов в алейроновом слое эндосперма при прорастании семян злаков.

Таким образом, зерно обладает мощной ферментативной системой, активность которой зависит от состояния окружающей среды. Изменяя температуру зерна и напряженность электрического поля, можно регулировать активность ферментов, следовательно, и управлять биохимическими и технологическими свойствами зерна.

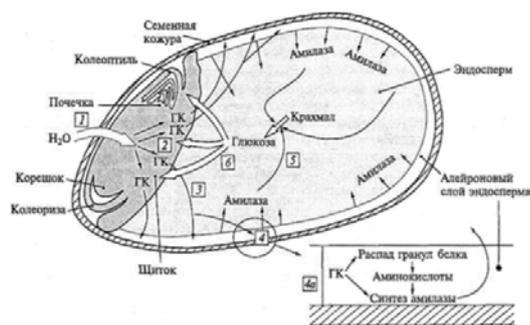


Рис. 1 – Зерновка злаков при прорастании

Установлено, что при помещении зерна в электрическое поле возникают токи, обусловленные поляризацией, перераспределением потока электрической индукции, обусловленные слоистой структурой и неоднородностью химического состава. Показано, что для предварительной обработки семян следует брать сухой материал, так как при использовании влажного материала токи будут проходить по поверхности зерна, не затрагивая внутренних слоев, соответственно, не будут создаваться напряжённости внутри зерновки и воздействие будет малоэффективно.

Протекание токов внутри зерна, обусловленное поляризацией, связано с поглощением энергии источника поля. Это ведет к нагреву зерновок. Количество поглощенной энергии сильно зависит от частоты. Так как исследованиями установлено, что при низких частотах (50...100 Гц) вектор напряженности электрического поля ( $E$ ) совпадает с вектором поляризации ( $P$ ), то в этом случае процессы в семени являются столь медленными, что потери энергии в зерне и его нагрев незначительны.

#### Закключение

1. Исследование способов подготовки семян к посеву, в том числе и физических, находится среди приоритетов устойчивого развития сельскохозяйственной отрасли и поддерживается правительствами многих стран, включая Республику Беларусь.

2. Разработка способа интенсификации процесса предпосевной обработки семян путем воздействия на них переменного неоднородного электрического поля высокой напряженности с целью повышения всхожести и урожайности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Басов А. М. Электротехнология / А.М.Басов и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
2. Прищеп Л. Г. Эффективная электрификация защитного грунта. – М.: Колос, 1980. – 208 с.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ENERGY AND ENVIRONMENTAL ESTIMATIONS OF THE EFFICIENCY OF POWER OBJECTS ON THE BASIS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

**Г. И. Сидоренко<sup>1</sup>, С. В. Артемчук<sup>2</sup>**  
**G. Sidorenko<sup>1</sup>, S. Artsiamchuk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия, sgenergom@yandex.ru

<sup>1</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь, artemchuk56@mail.ru

<sup>2</sup>Belarusian State University, ISEU BSU, Minsk, Republic of Belarus

Структура производства энергии в мире меняется в сторону увеличения доли возобновляемых источников энергии. Произошло значительное снижение удельных капитальных вложений в объекты возобновляемой энергетики. На принятие решений значительно влияют оценки энергетической и экологической эффективности жизненных циклов энергообъектов. Включение энергетических и экологических показателей в систему оценок при выборе наиболее эффективных энергетических технологий крайне необходимо и позволит более объективно принимать решение.

The energy production structure in the world is changing towards an increase in the share of renewable energy sources. There was a significant decrease in specific capital investments in renewable energy objects. Decision making is significantly influenced by assessments of the energy and environmental efficiency of the life cycles of power objects. The inclusion of energy and environmental indicators in the assessment system when choosing the most efficient energy technologies is extremely necessary and will allow more objective decision-making.

*Ключевые слова:* возобновляемая энергетика, энергетическая эффективность, экологическая эффективность, энергетический срок окупаемости, коэффициент энергетической эффективности, потенциал глобального потепления, потенциал окисления, потенциал эвтрофикации.

*Keywords:* renewable energy, energy efficiency, ecological efficiency, energy payback period, energy efficiency factor, global warming potential, oxidation potential, eutrophication potential.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-314-318>

Многие страны мира всё более активно начинают переходить к устойчивому и ресурсосберегающему пути развития. Структура производства энергии в мире меняется в сторону увеличения доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с последовательным снижением доли углеродной (невозобновляемой) энергетики. Согласно данным в 2020 г. 27 стран Евросоюза впервые получили больше электроэнергии из возобновляемых источников, чем из ископаемых. Доля угля, газа и нефти снизилась до 37%, тогда как ветер, солнце, гидроэнергия и биомасса обеспечили 38 % суммарного объема производства электроэнергии в ЕС, увеличив объемы производства на 10% [1].

За последнее десятилетие в мире с 2010 по 2020 гг. произошло значительное снижение удельных капитальных вложений на строительство энергообъектов на основе ВИЭ. Снижение удельных капитальных вложений на строительство ВЭС составило до 40% и СФЭС до 60%. Для ГЭС, МГЭС, ГеоЭС и БиоТЭС значения капитальных вложений снизились, но не так значительно.

Наиболее динамично развивающимися отраслями ВИЭ являются солнечная и ветровая энергетика, обеспечившие пятую часть всей электроэнергии в ЕС.

В настоящее время в зарубежной практике наряду с экономическими показателями для оценки эффективности энергообъектов используют энергетические и экологические показатели.

В качестве энергетических показателей принимаются: срок энергетической окупаемости (Energy payback time (EPBT)); коэффициент энергетической эффективности (Energy return on investment(EROI).

Срок энергетической окупаемости показывает время, в течение которого рассматриваемый энергообъект произведённой энергией компенсирует затраты энергии на его создание, эксплуатацию и снятие с эксплуатации. Коэффициент энергетической эффективности представляет собой отношение произведённой энергии на этапе эксплуатации к затраченной энергии в течение жизненного цикла энергообъекта, который состоит из трёх основных этапов: строительство, эксплуатация и снятие с эксплуатации. В качестве основных экологических показателей принимаются: потенциал глобального потепления (Global warming potential (GWP)); потенциал окисления (Acidification potential (AP)); потенциал эвтрофикации (Eutrophication potential (EP)).

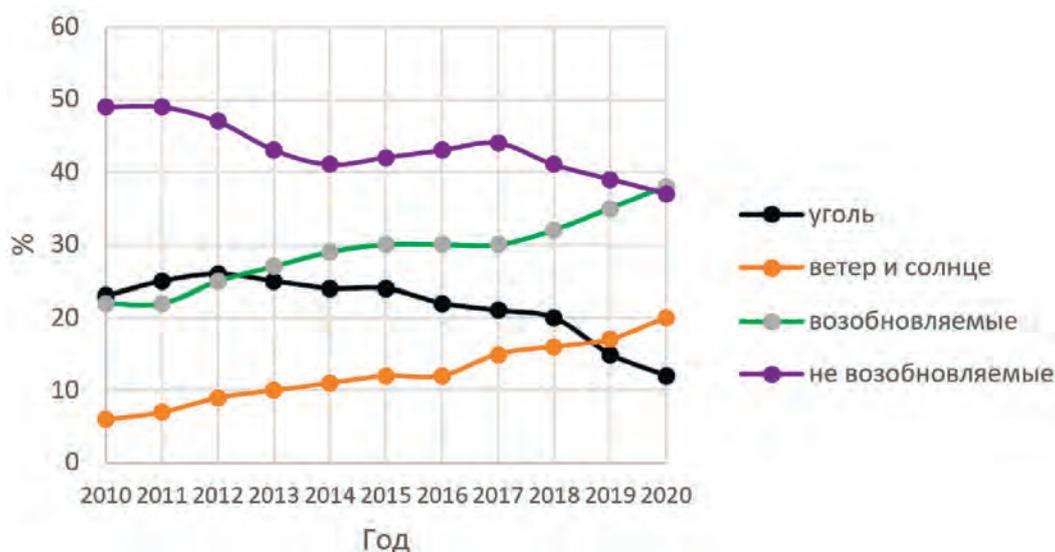


Рис.1 – Динамика роста в % соотношении доли производства электроэнергии возобновляемыми источниками энергии в ЕС-27 и снижение доли полученных от не возобновляемых. Энергетический сектор Европы в 2020 году, публикация Ember и Agora Energiewende от 25 января 2021 года [1]

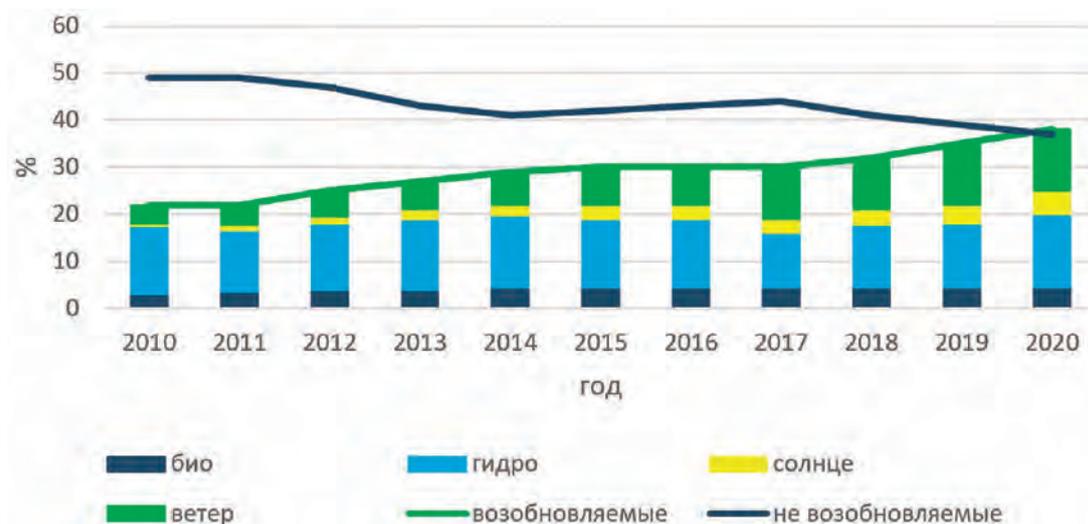


Рис. 2 – Долевое распределение в производстве электроэнергии между возобновляемыми источниками энергии в ЕС-27 [1]. Энергетический сектор Европы в 2020 году, публикация Ember и Agora Energiewende от 25 января 2021 года [1]

Потенциал глобального потепления – показатель, определяющий степень воздействия различных парниковых газов на глобальное потепление; потенциал окисления – показатель характеризующий воздействие на окружающую среду от выбросов загрязняющих веществ, способных образовывать кислоты; потенциал эвтрофикации – показатель, характеризующий ухудшение качества воды в результате накопления в воде биогенных элементов.

Значения показателей экологической эффективности определяются на основе следующих загрязняющих веществ: потенциал глобального потепления рассчитывается на основе CO, CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> и измеряется в кгCO<sub>2</sub>экв; потенциал окисления – SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и HCl и измеряется в кгSO<sub>2</sub>экв; потенциал эвтрофикации – PO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> и NO<sub>x</sub> и измеряется в кгPO<sub>4</sub>экв. Каждый из типов загрязняющих веществ имеет свой удельный вес (табл. 1).

Таблица 1 – Экологические показатели и типы загрязняющих веществ [2]

Экологический показатель	Тип загрязняющего вещества	Удельный вес, ед.	Единица измерения
GWP	CO <sub>2</sub>	1	кгCO <sub>2</sub> экв
	CO	3	
	CH <sub>4</sub>	25	
AP	SO <sub>2</sub>	1	кгSO <sub>2</sub> экв
	NO <sub>x</sub>	0,7	
	HCl	0,9	
EP	PO <sub>4</sub>	0,13	кгPO <sub>4</sub> экв
	NH <sub>3</sub>	0,33	
	NO <sub>x</sub>	0,08	

Результаты многочисленных исследований показывают, что, как правило, ВИЭ, в особенности СФЭС и ВЭС энергетически и экологически эффективнее, чем объекты невозобновляемой энергетики. Ниже в табл. 2 приведены значения экологических и энергетических показателей для энергообъектов возобновляемой и невозобновляемой энергетики.

Отдельно следует отметить, что энергетическая эффективность энергообъектов на основе ВИЭ (в особенности ветровой и солнечной энергетики) за последние 5–10 лет значительно повысилась. Срок энергетической окупаемости наземных ВЭС составляет от 6,6 до 8,5 месяцев; СФЭС 2,5 – 3,8 года и МГЭС 1,28 – 2,71 года соответственно [2]. Следует отметить, что на снижение значений сроков энергетической окупаемости, энергообъектов на основе ВИЭ связано с тем, что в мире за последние 15–20 лет произошло существенное развитие и усовершенствование технологий производства энергетического оборудования и элементов энергообъектов. Больше всего данная тенденция прослеживается для таких энергообъектов, как ВЭС и СФЭС, для которых основная доля затрат энергии в течение жизненного цикла приходится на изготовление основного энергетического оборудования (ветротурбины и ФЭП). Так, например, доля энергозатрат на основное энергетическое оборудование ВЭС составляет порядка 70–85%, а для СФЭС 80–90%.

Увеличение экономической конкурентоспособности энергообъектов на основе ВИЭ, а также их более высокая энергетическая и экологическая эффективность по сравнению с невозобновляемыми источниками энергии способствуют всё более интенсивному развитию энергообъектов на основе ВИЭ в мире.

Таблица 2

Наименование Энергообъекта		Потенциал глобального потепления, гСО <sub>2</sub> экв на кВт·ч	Потенциал окисления, мгSO <sub>2</sub> экв на кВт·ч	Потенциал эвтрофикации, мгPO <sub>4</sub> экв на кВт·ч	Срок энергетической окупаемости, лет
<b>Возобновляемые источники энергии</b>					
ГЭС	Крупные	3.5 – 19.0	18.0 – 29.0	2.5 – 4.0	н. д.
	Малые	11.0 – 23.0	42.0 – 50.0	5.0 – 7.0	2.0 – 6.5
СФЭС	Тонкоплёночные (CIS)	15.0 – 22.0	390.0 – 445.0	24.0 – 29.0	1.4 – 1.8
	Мультикристаллический кремний (mc-Si)	23.0 – 33.0	528.0 – 570.0	44.0 – 52.0	2.4 – 3.0
	Аморфный кремний (a-Si)	25.0 – 36.0	547.0 – 590.0	50.0 – 59.4	3.5 – 4.0
ВЭС	Наземные	6.9 – 18.0	61.0 – 70.5	4.1 – 6.0	0.6 – 0.9
	Морские	5.0 – 13.1	49.5 – 60.0	2.7 – 3.8	н. д.
ГеоЭС		41.0 – 50.0	853.0 – 910.0	138.0 – 155.0	н. д.
БиоГЭС		15.1 – 49.0	190.0 – 225.0	24.8 – 30.3	5.0 – 7.5
<b>Невозобновляемые источники энергии</b>					
ТЭС	На угле	757.0 – 1085.0	5740.0 – 6300.0	750.0 – 810.0	2.5 – 5.1
	На газе	398.0 – 499.0	3814.0 – 4100.0	609.0 – 640.0	1.9 – 2.3
АЭС		30.0 – 40.0	820.0 – 900.0	61.0 – 70.0	н. д.

Согласно прогнозам, установленная мощность энергообъектов на основе ВИЭ, в особенности ветровой и солнечной энергетики в мире, как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе будет продолжать возрастать. Также согласно прогнозам, в мире будет увеличиваться и доля ВИЭ в общем производстве энергии.

В настоящее время энергетическая отрасль России по-прежнему остаётся централизованной (несмотря на то, что свыше 65% территории страны относится к зонам децентрализованного энергоснабжения) и ориентированной на использование невозобновляемых источников энергии. Развитие децентрализованной региональной энергетики, в том числе с использованием энергетических технологий на основе ВИЭ идёт крайне низкими темпами (значительно меньше мировых) несмотря на то, что в настоящее время энергообъекты на основе ВИЭ (в особенности ВЭС и СФЭС) являются вполне экономически конкурентоспособными с невозобновляемыми источниками энергии. Кроме этого области использования ВИЭ очень обширны, они могут работать, как автономно, так и совместно с существующими источниками энергии и снабжать энергией потребителей, не подсоединённых к распределительным сетям централизованных источников энергии.

Среди основных причин, препятствующих развитию ВИЭ в России, помимо недостатка государственной поддержки, ориентированность энергетической отрасли на невозобновляемые источники энергии, централизованного характера системы энергоснабжения можно также выделить и недостаток теоретических и практических научных исследований и обосновывающих эффективность использования ВИЭ. Вместе с тем в зарубежной практике такие исследования активно проводятся, в частности, к ним относятся оценки энергетической и экологической эффективности жизненных циклов энергообъектов, которые показывают, что энергообъекты на основе ВИЭ (в особенности ВЭС и СФЭС) в подавляющем большинстве случаев энергетически и экологически эффективнее, чем невозобновляемые источники энергии.

Выбор наиболее эффективных вариантов энергообъектов в России в настоящее время осуществляется только на основе показателей экономической эффективности. Определение энергетической и экологической эффективности жизненных циклов энергообъектов, в том числе на основе ВИЭ не производится, что не позволяет комплексно подходить к оценке их эффективности. Вместе с тем включение энергетических и экологических показателей в систему оценок при выборе наиболее эффективных энергообъектов крайне необходимо, так как это позволит более объективно, полно и комплексно подходить к оценке их эффективности. В России существует большое количество децентрализованных и энергодефицитных регионов и районов со слабой сетевой инфраструктурой, изношенными энергетическими фондами, но с большим потенциалом ветровой, солнечной, гидравлической энергии и т. д., где использование энергообъектов на основе ВИЭ, таких как ВЭС, СФЭС, ГЭС, МГЭС и др. не только экономически, но и значительно энергетически и экологически эффективнее, чем использование невозобновляемых источников энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. The European Power Sector in 2020 Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://static.agora-nergiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2020\\_01\\_EU-Annual-Review\\_2020/A-EW\\_202\\_Report\\_European-Power-Sector-2020.pdf](https://static.agora-nergiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2020_01_EU-Annual-Review_2020/A-EW_202_Report_European-Power-Sector-2020.pdf) – (Дата обращения: 20.03.21).

2. Сидоренко Г. И., Михеев П. Ю. Оценка экологической эффективности жизненных циклов энергетических объектов на основе ВИЭ. / Г. И. Сидоренко, П. Ю. Михеев // Экология и промышленность России. 2017. – № 5. – С. 44 – 49.

3. *Baharwani V., Meena N., Dubey A.* Life Cycle Analysis of Solar PV System: A Review. International Journal of Environmental Research and Development. 2014. Vol.4. P.183–190.

4. *Simon D., Hook M., Wall G.* A review of life cycle assessments on wind energy systems. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2012. Vol. 7. P.678–687.

**КЕМСКАЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ  
КАК РАЦИОНАЛЬНЫЙ ПУТЬ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КАРЕЛИИ  
KEMSKAYA WIND POWER PLANT  
IS A RATIONAL WAY OF KARELIA'S ENERGY SUPPLY**

**Г. И. Сидоренко, В. Е. Стругов  
G. I. Sidorenko, V. E. Strugov**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Российская Федерация  
Peter the Great St. Petersburg Politechnic University / Civil Engineering Institute, Russia  
sgenergom@yandex.ru*

Выполнен анализ топливно-энергетического комплекса Карелии и определена его энергоэффективность. Проведены исследования ветровых ресурсов Карелии и определены наиболее благоприятные места для строительства ВЭС. Представлены результаты исследования структуры скорости ветра в г.Кемь. Обоснован рациональный путь развития энергетики Карелии на основе использования энергии ветра. Определены параметры Кемской ВЭС.

The analysis of the Karelia's fuel and energy complex has been carried out and its energy efficiency has been determined. Studies of Karelia's wind resources have been carried out and the most favorable places for the construction of wind power plants have been determined. The results of studying the structure of wind speed in the city of Kem are presented. The rational way of development of the power industry in Karelia based on the use of wind energy has been substantiated. The parameters of the Kemskaaya wind power plant have been determined.

*Ключевые слова:* Республика Карелия, энергетическая эффективность, ветроэнергетические ресурсы, ветровая электростанция, Кемь, параметры, производство электроэнергии, коэффициент использования установленной мощности.

*Keywords:* Republic of Karelia, energy efficiency, wind energy resources, wind power plant, Kem, parameters, electricity production, capacity factor.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-318-321>

### Introduction

Karelia's fuel-energy complex includes hydropower plants (with total power 632, 8 MW), heat power plants (478 MW total), and big amount of the boiler plants. All the heat power plants use imported fuel.

In the structure of the fuel-energy resources consumption there were essential changes connected with coal and black oil replacement with natural gas and biofuel. The volume of fuel-energy resources consumption in Karelia is not so high. Fuel-energy resources expense in housing and communal services on the person makes nearby 1,2 tons of coal equivalent (t.c.e.) per person. The Republic of Karelia is at the level of Germany on fuel-energy resources expense per capita – approximately 6,7 t.c.e./person in a year (2000).

One of the major indicators of power efficiency is fuel-energy resources expense on 1000\$ of Gross Regional Product (GRP) production. The comparative characteristic of the regions of North-West Federal District of Russian Federation under the charge fuel and energy resources is given. For Karelia it is 1,3 t.c.e./1000\$ GRP (2000) and 1,5 t.c.e./1000\$ GRP (2008). This value is much bigger than average value in North-West Federal District and 4 times bigger, than in the USA. Certainly, it is partly caused by presence of power-consuming industries and a frigid climate.

For an estimation of a perspective current consumption at level of 2030 the approach within the model [1] is used. Particularly, in one of scenarios development of the Pudozhsky mega-project focused on extraction of ores of nonferrous metals is supposed. Only electric power requirement for this project is estimated in 4 TW h.

Substantially volume of local and renewable energy sources usage will depend on predicted volumes of fuel and energy consumption in Republic. The real current consumption mostly corresponds to the moderate development scenario.

## Materials and methods

In Karelia the further development of hydroenergy, windenergy and bioenergy is the most perspective. Which resources has the Republic for this purpose? For renewable resources estimation the special software (ENERGOM) was used.

The analyses of energy potential of wind resources of Karelia region is given. With the help of the ENERGOM software the renewable energy sources estimation was received. The study of spatial-time distribution of renewable energy sources demands regular and prolonged observations. We replenished, systematized and treated the observations on the basis of contemporary informational know-how, including the databases of wind energy resources and software for observations treatment. In accordance with these techniques two groups of databases, “Wind Energy Resources” and “Observations”, were developed [2-5].

The ENERGOM system has been used for wind energy research. New results in wind energy resources research of Karelia are received. In particular, on fig. 1 the distribution of the wind maximum speeds for every day in a long-term period is shown. As a result of wind resources study the new results and estimations of economic potential of wind energy resources for Karelia are received. Economic potential of Karelia makes 0,7 million t.c.e. The real potential, that can be conversed by 2030, is estimated in 0,44 million t.c.e.

Total renewable energy sources potential is estimated approximately in 6,3 million t.c.e (fig.2) [4].

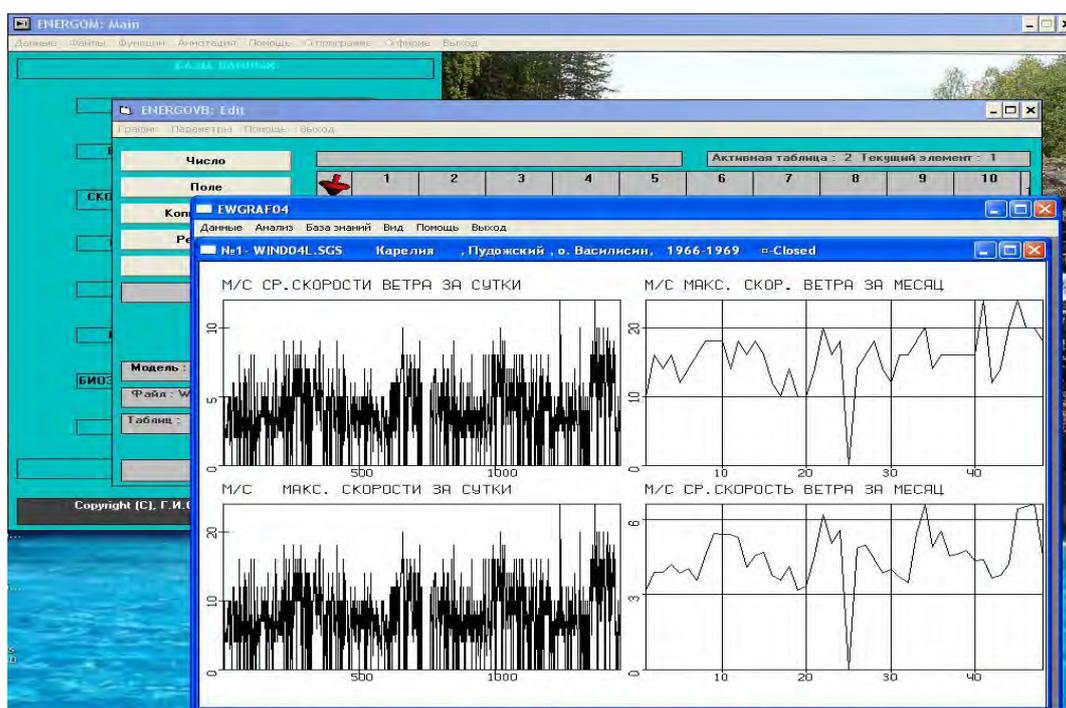


Fig. 1 – Results of wind energy investigations (Software ENERGOM)

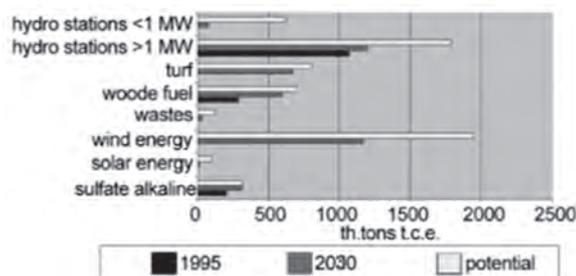


Fig. 2 – The estimations of renewable energy resources of the Republic of Karelia

## Results

For large-scale wind power engineering development in Karelia coastal areas of the White sea, the Onega and Ladoga lakes are optimum. Besides, the Karelian coast of the White sea possesses moderate and uniform winds, without strong and heavy impulses within a year. These are the areas authors offer to build large Wind power plant.

There was considered step-by-step wind power development with large wind power plants construction in the area of White Sea seashore, notably near city Kem. Wind resources of this district are examined rather good at the aspect of climate and wind power conditions [4]. The wind directions that contain largest power are determined. These are south-

southeast and east-southeast directions. Thus east-southeast occupies one of last positions on frequency number. That's why it is more reasonable to array wind power station perpendicularly to the south-southeast – west – northwest direction.

As a platform of possible construction field the suburb of Kem, Puh Navolok cape, an island Popov and Goreliha Mountain have been considered. There are power lines 110 kV and 330 kV in close proximity to the city of Kem. Area of Kem obtains enough territory for placing wind powerstation. In addition, power line presence close to the city makes it easier to connect future power station to regional network. As a part of Kems kaya power station it is supposed to establish MW wind turbines. Such decision was accepted on the basis of comparison of turbines with various capacities [5].

All the calculations were made taking into account cold climate of the region. By this time world practice of wind power engineering development has stored sufficient experience of building of stations in regions with a frigid climate. Similar complexes are established in the countries of Europe, North America, Russia and China. By the end of 2008 the total established capacity of stations in which wind turbines work at temperatures below the temperatures corresponding to a normal operating mode of installation, has reached practically 3000 MW. It has allowed to generate standard requirements to wind turbines, placed in areas with a cold or polar climate.

At the estimation of economic efficiency of wind power station project in the areas with cold climate to which Kem concerns as well there have been considered the losses of energy connected with an ice formation on blades and negative temperatures of air.

Around Kem the risk of rime on wind turbine elements makes 32 days in a year.

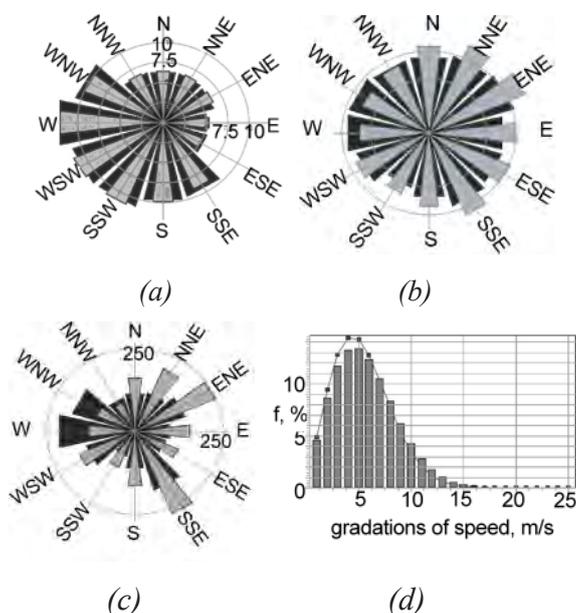


Fig. 3 – Results of investigation wind velocity structure in place Kem.  
 a) prevailing direction of wind; b) directions appropriate to the greatest speeds of wind;  
 c) directions greatest on a wind energy; d) distribution of speeds of wind on gradation

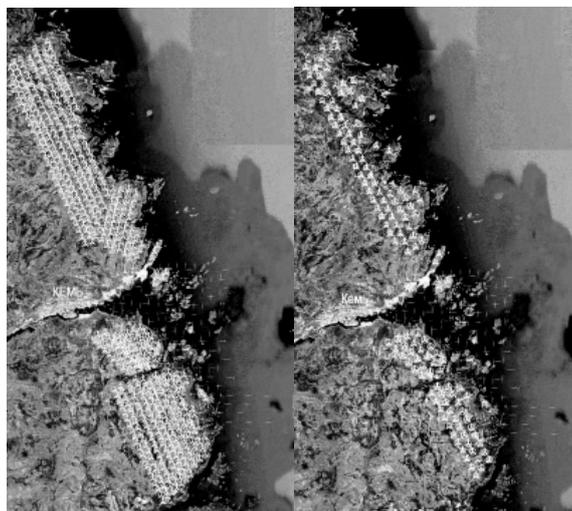
#### Wind turbines and area selection for the 1000 MW wind power plant

At the analysis and choice of wind turbines there were considered following wind turbines: Enercon E 82 and Enercon E 126. Areas that shown the biggest level of electric output are shown at the fig. 4. Results of WPP electricity production and capacity factor calculation are given in the Table 1.

Wind power plant (WPP) with Enercon E126 wind turbines occupies 2.5 times smaller area than WPP that includes Enercon E82 wind turbines. These are additional expenses on roads, foundations, electrical part, land rent. At the same time wind turbines Enercon E82 show higher output and capacity factor. Moreover, generating cost in the case of Enercon E82 and Enercon E126 turbines make respectively 7,7 c€/kW h and 8,7 c€/ kW h (for effective rate  $r = 12\%$ ). Therefore, the basic variant is considered to be the WPP including wind turbines Enercon E82 as an optimum for this region.

Table 1

Value	Enercon E82	Enercon E126
Electricity production, TWh	2,44	1,83
Hours of plant's installed capacity utilization, h	2710	2037
Capacity factor, %	27,8	20,9



(a) (b)

Fig. 4 – a) Positioning scheme of Enercon E 82 wind turbines; b) Positioning scheme of Enercon E 126 wind turbines

### Discussion

Thus, wind energy sector development in Karelia is proved and expediently. To search a rational way of development it is important to take into account changes in carbon balance of region. One of the rational ways of Karelia's development in view of resource, economic and ecological aspects (carbon balance) and restrictions is found.

In this variant further development of the large-scale and small hydro energetics and wind energetics are supposed. The balance is covered by input of heat power plant on natural gas with total power 500-1000 MW. Also it is necessary to build heat power plant on natural gas with total power 180 MW in Petrozavodsk and power plants on biomass.

### References

1. Sidorenko G.I., Sidorenko D.G. Model of optimization and rational use of Karelia's renewable energy resources. Journal "Ecology of Industrial Manufacturing", №4, 2007. pp.10-22.
2. Climatic Factors of Renewable Sources of Energy // V.V. Elistratov [et al.]. Ed.: V.V. Elistratov, N.V. Kobysheva and G.I. Sidorenko, 2010, - SPb.: Nauka, - 235 p.: ill
3. Zubarev, V., Minin, V., Stepanov, I., 1989, "Use of wind energy in northern regions", Nauka, Leningrad, Russia.
4. Sidorenko, G., 1993, "Space-time distribution and integral estimates of renewable energy sources of Karelia", Tiedonantoja 15, Vol.1, University of Joensuu, Finland, 19-38.
5. Sidorenko G.I. Kemskaaya Wind Power Plant in Karelia // Applied Mechanics and Materials. 2014. №672-674. REET-2014. pp.240-245

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ MODELING THE FLUX OF SOLAR RADIATION

**Е. А. Уткина, Г. И. Сидоренко**  
**E. Utkina, G. Sidorenko**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
sgenergom@yandex.ru utkina.ea@edu.spbstu.ru  
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg, Russia*

Существует ряд методик, позволяющих определить поток солнечного излучения на принимающую поверхность. Наилучшие результаты дает методика Берда. Ее улучшение возможно введением поправочных коэффициентов. Моделирование потока солнечного излучения, построенное на данном подходе, дает достаточно точные результаты для решения практических задач. Для повышения достоверности расчетов целесообразно более широко использовать базы данных актинометрических наблюдений, полученных в постах наблюдений на территории бывшего СССР.

There are a number of methods to determine the flux of solar radiation onto the receiving surface. The best results are obtained by Byrd's method. Its improvement is possible by introducing correction factors. Simulation of the solar radiation flux, based on this approach, gives sufficiently accurate results for solving practical problems. To increase the reliability of calculations, it is advisable to use more extensively the databases of actinometric observations obtained at observation posts on the territory of the former USSR.

*Ключевые слова:* возобновляемая энергия, методика Берда, поток солнечного излучения, солнечные технологии.

*Keywords:* renewable energy, Byrd's method, solar flux, solar technology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-321-324>

Для оценки экономической эффективности солнечных технологий необходимо иметь данные о поступлении солнечного излучения (СИ) на принимающую поверхность. Поток СИ зависит от ряда факторов: климатические условия, географическое положение солнечной установки и других.

Существует ряд методик, позволяющих определить поток СИ на горизонтальную поверхность. Согласно результатам расчетов среднеквадратичных ошибок отклонения расчетных значений потока СИ от наблюдаемых для различных методик [1], наименьшую погрешность имеет методика Бёрда [2]. Данная методика проста в использовании и дает возможность рассчитать все составляющие потока СИ без использования дополнительных данных.

Для повышения достоверности полученных данных были введены поправочные коэффициенты, зависящие от типа поверхности, излучения, а также сезона года [1, 3]. Поправочные коэффициенты были рассчитаны по методу наименьших квадратов. За критерий выбора лучшего коэффициента принималось требование минимальной суммы квадратов расхождения наблюдаемых и расчетных данных в каждом месяце года для 50 различных станций, расположенных на постсоветском пространстве. Значения поправочных коэффициентов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения поправочных коэффициентов

Тип поверхности	Прямое излучение	Диффузное излучение
Следящая	$K_{\text{след}}^{\text{пр}} = 0,9$	–
Горизонтальная	$K_{\text{гор}}^{\text{пр}} = 1,14$ - зима $K_{\text{гор}}^{\text{пр}} = 0,91$ - лето	$K_{\text{гор}}^{\text{диф}} = 1,05$

С учетом поправочных коэффициентов зависимости для расчета потока СИ на горизонтальную поверхность при чистом небе имеют вид:

– для прямого СИ:

$$E_{\text{гор}}^{\text{пр}} = E_c * \cos \theta_z * \tau_R \tau_{O_3} \tau_{\text{газ}} \tau_{H_2O} \tau_A K_{\text{гор}}^{\text{пр}}, \quad (1)$$

– для диффузного СИ:

$$E_{\text{гор}}^{\text{диф}} = (E_c * \cos \theta_z * \tau_{O_3} \tau_{\text{газ}} \tau_{H_2O} \tau_{AA} * (0,5(1 - \tau_R) + B_a(1 - \tau_{AS_i}))) / (1 - M_i^* + M_i^{*1.02}) K_{\text{гор}}^{\text{диф}}, \quad (2)$$

где  $E_c$  – солнечная постоянная, 1367 Вт/м<sup>2</sup>;  $\theta_z$  – угол падения солнечных лучей на горизонтальную поверхность;  $\tau_R$  – коэффициент пропускания, учитывающий релеевское рассеивание СИ;  $\tau_A$  – коэффициент пропускания, учитывающий ослабление СИ аэрозолями;  $\tau_{AA}$ ,  $\tau_{AS}$  – коэффициенты пропускания, учитывающие аэрозольное поглощение и рассеивание СИ;  $\tau_{O_3}$ ,  $\tau_{\text{газ}}$ ,  $\tau_{H_2O}$  – коэффициенты пропускания, учитывающие поглощение СИ озоном, газами и водой;  $K_{\text{гор}}^{\text{пр}}$ ,  $K_{\text{гор}}^{\text{диф}}$  – поправочные коэффициенты для расчета прямого и диффузного СИ на территории бывшего СССР.

Плотность полного СИ при чистом небе:

$$E_{\text{гор}}^{\text{полн}} = (E_{\text{гор}}^{\text{пр}} + E_{\text{гор}}^{\text{диф}}) / (1 - r_3 * r_{a_i}), \quad (3)$$

где  $r_3$ ,  $r_{a_i}$  – альбедо земной поверхности и атмосферы.

Данная методика была использована для моделирования потока СИ в пос. Новомихайловский (Краснодарский край). Для определения достоверности моделирования результаты расчета были сопоставлены с экспериментальными данными о приходе солнечной радиации на горизонтальную поверхность, которые были получены студентами Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ) в 2016 году. Продолжительность светового дня в выбранные даты составляла 15 часов (восход солнца приходился на 5:00, закат на 20:00). Для каждого часа были рассчитаны потоки СИ. Полученные значения потоков СИ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения потока СИ в течение светового дня в п. Новомихайловский (Южный лагерь СПбПУ) \*

Дата	04.07	05.07	06.07	07.07	08.07	09.07	11.07	12.07	13.07	14.07
5:00										
$E_{гор}^{пр}$	0.64	0.56	0.48	0.41	0.34	0.28	0.16	0.11	0.06	0.02
$E_{гор}^{полн}$	1.15	0.97	0.80	0.65	0.51	0.39	0.20	0.12	0.07	0.02
6:00										
$E_{гор}^{пр}$	52.48	51.68	50.79	49.90	49.02	48.06	52.48	45.12	44.09	43.08
$E_{гор}^{полн}$	85.05	83.97	82.77	81.58	80.38	79.08	85.05	75.06	73.65	72.25
7:00										
$E_{гор}^{пр}$	161.30	160.14	159.11	157.95	156.80	155.65	153.12	151.86	150.60	149.23
$E_{гор}^{полн}$	218.04	216.71	215.50	214.16	212.82	211.49	208.54	207.07	205.60	204.00
8:00										
$E_{гор}^{пр}$	286.79	285.73	284.67	283.49	282.32	281.14	278.66	277.37	276.07	274.65
$E_{гор}^{полн}$	359.96	358.78	357.61	356.30	354.99	353.68	350.93	349.48	348.04	346.46
9:00										
$E_{гор}^{пр}$	408.28	407.31	406.34	405.26	404.18	403.09	400.71	399.51	398.31	397.00
$E_{гор}^{полн}$	493.61	492.55	491.49	490.31	489.12	487.94	485.33	484.03	482.72	481.29
10:00										
$E_{гор}^{пр}$	511.56	510.74	509.82	508.91	507.99	506.98	504.85	503.74	502.63	501.51
$E_{гор}^{полн}$	605.78	604.89	603.91	602.91	601.92	600.83	598.53	597.32	596.12	594.91
11:00										
$E_{гор}^{пр}$	586.10	585.38	584.65	583.85	583.05	582.17	580.40	579.43	578.39	577.34
$E_{гор}^{полн}$	686.24	685.46	684.68	683.82	682.95	682.00	680.09	679.05	677.93	676.80
12:00										
$E_{гор}^{пр}$	624.85	624.31	623.70	622.99	622.28	621.57	620.07	619.09	618.30	617.32
$E_{гор}^{полн}$	727.93	727.36	726.69	725.93	725.17	724.41	722.79	721.74	720.89	719.84
13:00										
$E_{гор}^{пр}$	624.26	623.79	623.32	622.73	622.14	621.54	620.10	619.37	618.52	617.73
$E_{гор}^{полн}$	727.30	726.80	726.29	725.65	725.01	724.37	722.82	722.04	721.13	720.27
14:00										
$E_{гор}^{пр}$	584.36	583.93	583.56	583.05	582.53	581.95	580.69	580.03	579.21	578.39
$E_{гор}^{полн}$	684.37	683.89	683.50	682.95	682.40	681.76	680.41	679.69	678.81	677.93
15:00										
$E_{гор}^{пр}$	508.81	508.45	508.08	507.62	507.16	506.61	505.41	504.67	503.93	503.09
$E_{гор}^{полн}$	602.81	602.42	602.02	601.52	601.02	600.43	599.13	598.33	597.53	596.62
16:00										
$E_{гор}^{пр}$	404.72	404.50	404.07	403.64	403.20	402.66	401.36	400.71	399.95	399.07
$E_{гор}^{полн}$	489.72	489.48	489.01	488.53	488.06	487.47	486.05	485.33	484.50	483.55
17:00										
$E_{гор}^{пр}$	282.90	282.55	282.20	281.73	281.26	280.67	279.37	278.66	277.84	276.90
$E_{гор}^{полн}$	355.64	355.25	354.86	354.33	353.81	353.16	351.71	350.93	350.01	348.96
18:00										
$E_{гор}^{пр}$	157.49	157.15	156.80	156.34	155.76	155.19	153.81	153.12	152.20	151.40
$E_{гор}^{полн}$	213.63	213.22	212.82	212.29	211.62	210.95	209.35	208.54	207.47	206.54
19:00										
$E_{гор}^{пр}$	49.72	49.46	49.11	48.67	48.23	47.79	46.67	45.98	45.29	44.61
$E_{гор}^{полн}$	81.34	80.98	80.50	79.91	79.31	78.72	77.18	76.24	75.30	74.36
20:00										
$E_{гор}^{пр}$	0.42	0.40	0.37	0.33	0.29	0.26	0.19	0.15	0.11	0.08
$E_{гор}^{полн}$	0.68	0.62	0.56	0.49	0.42	0.36	0.24	0.18	0.13	0.08

\* - все данные предоставлены в Вт/м<sup>2</sup>

Энергия падающего солнечного излучения на горизонтальную поверхность была найдена по следующим формулам:

– для прямого СИ:

$$W_{\text{гор}}^{\text{пр.расч}} = \int_{t_{\text{восх}}}^{t_{\text{зах}}} E_{\text{гор}}^{\text{пр}} dt, \quad (4)$$

– для полного СИ:

$$W_{\text{гор}}^{\text{полн.расч}} = \int_{t_{\text{восх}}}^{t_{\text{зах}}} E_{\text{гор}}^{\text{полн}} dt, \quad (5)$$

где  $t_{\text{восх}}$ ,  $t_{\text{зах}}$  – время восхода и захода Солнца.

С помощью полученных данных, представленных в таблице 2, а также формул (4-5), был найден приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность при чистом небе для каждого расчетного дня. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Приход солнечной радиации в п. Новомихайловский (Южный лагерь СПбПУ)\*

Дата	04.07	05.07	06.07	07.07	08.07	09.07	11.07	12.07	13.07	14.07
$W_{\text{гор}}^{\text{экспер.}}$	4929	5347	5393	5723	4034	5338	3859	5274	5583	5716
$W_{\text{гор}}^{\text{пр.расч}}$	5245	5236	5227	5217	5207	5196	5178	5159	5146	5131
$W_{\text{гор}}^{\text{полн.расч}}$	6333	6323	6313	6301	6290	6277	6258	6235	6220	6204

\* - все данные предоставлены в Вт\*ч/м<sup>2</sup>

Выводы:

1. Сопоставление результатов моделирования потока СИ на горизонтальную поверхность при чистом небе (прямое СИ) с экспериментальными измерениями показывает возможность использования такого подхода при решении практических задач (средняя погрешность составила около 9%).

2. Целесообразно более широко использовать базы данных актинометрических наблюдений, полученных в постах наблюдений на территории бывшего СССР.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аронова, Е.С. Методика расчета реальной плотности солнечного излучения при проектировании фотоэлектрических энергоустановок / Е.С.Аронова, В.А. Грилихес// Научно-технические ведомости СПбГПУ.2006. Т.1. № 6. Естественные и технические науки. С. 62-66.

2. Bird, R.E., Hulstrom, R.L. A simplified clear sky model for direct and diffuse insolation on horizontal surface / R. E.Bird, R.L.Hulstrom // SERI/TR-642-761, Solar Energy Research Institute (SERI/NREL). 1981. P. 7-10.

3. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения: учебное пособие / В.В.Елистратов, В.А. Грилихес., Е.С.Аронова. СПб: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2009. 101 с.

## ГЛУБОКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНЫХ НА ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЕ

## DEEP UTILIZATION OF BOILER'S SMOKE GASES ON WOOD BIOMASS

**А. Р. Хамицевич, А. А. Бутько, Л. А. Липницкий**  
**A. R. Khamitsevich, A. A. Butko, L. A. Lipnitsky**

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь

alexunderson001@gmail.com

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, the Republic of Belarus

В данной работе рассматривается возможность экономии топлива при глубокой утилизации дымовых газов котельных на быстрорастущей древесной биомассе. В качестве биомассы предлагается использовать иву.

This paper discusses the possibility of fuel saving with deep utilization of flue gases from boilers using fast-growing woody biomass. It is proposed to use willow as biomass.

*Ключевые слова:* глубокая утилизация, дымовые газы, ива, энергетическая политика, котельные, древесная биомасса, температура дымовых газов.

*Keywords:* deep utilization, smoke gases, boiler, wood biomass, energy policy, willow, temperature of smoke gases.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-324-327>

С развитием общества и с увеличением роста энергопотребления в энергетике разрабатывается ряд мероприятий по энергоэффективности. Необходимость связана с экономией энергии, полученной в основном за счет сжигания органического топлива, запасы которого быстро истощаемые, а промышленные предприятия и котельные, где происходят процессы сжигания, являются основным источником загрязнения атмосферы, гидросферы, почвы, флоры и фауны.

Альтернативным и выгодным источником энергии для производства теплоты и электричества является биотопливо, которое включает в себя: древесную биомассу (дрова, отходы деревообработки, опилки, стружка, щепа, кора), древесные пеллеты, отходы растениеводства.

Одно из перспективных направлений – выращивание и использование быстрорастущей древесины. В связи с ростом спроса на энергоносители, потребность в которых с экологической точки зрения возрастает, а также с недостатком собственных энергоносителей, есть необходимость создания условий для выращивания промышленных энергетических плантаций. Быстрорастущие древесные породы, такие как ива, являются выгодным источником энергии за счет главного преимущества – растения при сжигании выделяют в атмосферу такое количество углерода, которое поглотило в процессе фотосинтеза за время жизни. Растение является быстрорастущим в климатических условиях Республики Беларусь и может быть одним из источников топлива для котельных. Быстрорастущая ива – возобновляемый и доступный ресурс по приемлемой цене. При сгорании энергетической ивы снижены выбросы вредных веществ, а также древесная зола, полученная при сжигании, является ценным удобрением.

В Беларуси в настоящее время, как и во всем мире, использование сельскохозяйственных угодий для производства биомассы на энергетические цели имеет неуклонную тенденцию к росту.

В странах ЕС плантации быстрорастущих древесно-кустарниковых пород занимают около 70000 га, среди которых ведущее место принадлежит Швеции (~ 15000 га), Дании, Польше, Венгрии, Италии (~ 7000 га на каждую страну) и Германии (~ 6000 га). Так, только в Германии ожидается, что при реализации программы OPTFUEL к 2021 г. суммарная площадь плантаций возрастет до 450000 га, в Великобритании до 350000 га, а Швеции до 30000 га. В то же время наблюдается увеличение площадей в Хорватии, Литве, Латвии, Франции, Чехии, Греции и Македонии. [1].

Для эффективного возделывания плантаций древесно-кустарниковых пород с коротким периодом роста в условиях Беларуси необходимо решение целого ряда задач энергетической, экономической, и экологической направленности.

В процессе работы котельной, независимо от вида топлива, образуются уходящие дымовые газы. Глубокая утилизация излишнего тепла, образованного во время технологических процессов, позволяет уменьшить теплотери котла, повышает эффективность котельной на древесной биомассе, а также позволяет обеспечить экономию топлива и уменьшить вредные выбросы в атмосферу [2].

Экономическая эффективность котельных на древесной биомассе может быть существенно улучшена за счет количества содержания общей влаги в составе древесины. При увеличении влажности древесного топлива эффективность глубокой утилизации тепла возрастает за счет прироста полезного тепла, связанного с конденсацией влаги в котле. Повышенная влажность древесной биомассы увеличивает влагосодержание продуктов сгорания, что способствует охлаждению уходящих газов.

В работе рассматривается эффективность глубокой утилизации тепла дымовых газов при сжигании быстрорастущей породы с коротким периодом роста. В качестве древесно-кустарниковой породы с коротким периодом роста использована ива белая (*Salix alba*), внесенная в Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород Республики Беларусь – Волмянка (378).

Сравнительная эффективность использования древесной биомассы оценена на основании собственных экспериментальных данных основных теплотехнических характеристик [3] и техническим требованиям ТУ ВУ 100725266.009-2010 (Топливо из быстрорастущей древесины), ТУ ВУ 400058047.001-2017 (Гранулы топливные «Пеллеты»).

Для получения результатов расчета и проведения анализа использованы данные котельного оборудования водотрубного котла КВ-Рм-1-95, находящегося в котельной № 1 РУП «Логойский комхоз», работающего на щепе и отходах деревообработки (опилках, коре, стружке, ДВП, ДСП, МДФ) и не нуждающегося в постоянном контроле обслуживающим персоналом. Котельная обслуживает промышленные и коммунальные объекты различного назначения [3].

Котельное оборудование оснащено загрузочным устройством, обеспечивающим подсушку топлива перед вводом в топку. Для равномерного распределения топлива предусмотрена подвижная колосниковая решетка, способствующая максимальному сжиганию биомассы с влажностью до 60%. Конструкция котла обеспечивает надежное охлаждение и дает возможность равномерного прогрева его элементов при растопке в рабочем режиме. В котельном агрегате организована подача воздуха вентиляторами по зонам, что обеспечивает равномерный прогрев. Для более интенсивного сжигания древесных отходов в топке котла организована позонная подача воздуха вентиляторами. В котле автоматизирован процесс подачи топлива и удаления золы. Данные котельного агрегата:

КПД-85 %, номинальная теплопроизводительность 300-5000 кВт, рабочее давление – 0,6МПа [4]. Схема автоматизации теплоты дымовых газов с механическими примесями представлена на рисунке 1 [5].

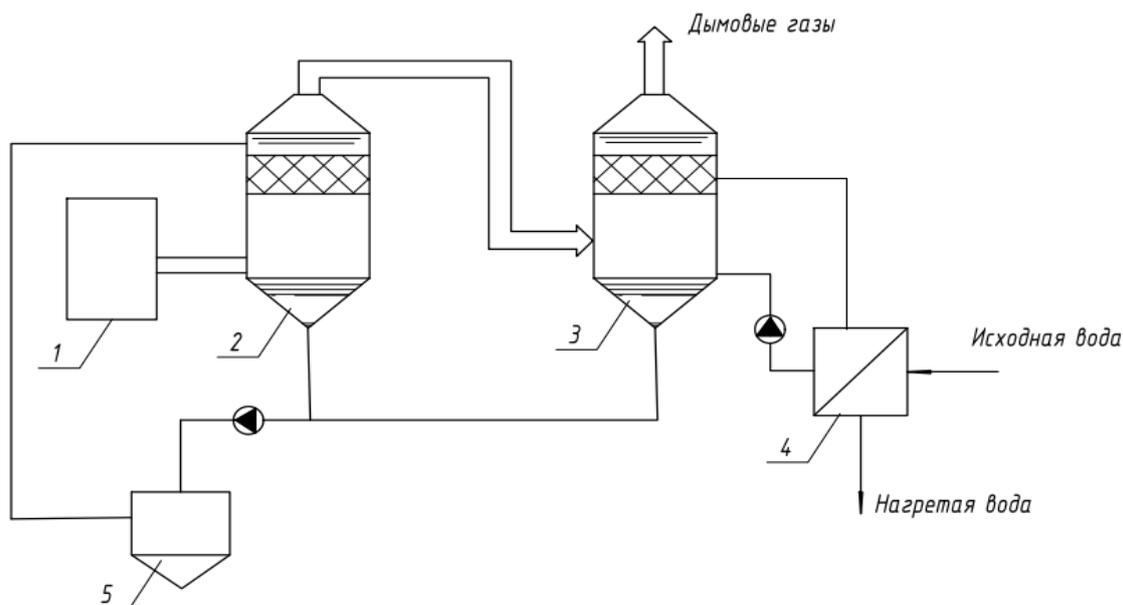


Рис. 1 – Схема автоматизации теплоты дымовых газов

1 – котел; 2 – скруббер очистки газов; 3 – скруббер-утилизатор; 4 – теплообменник; 5 – отстойник.

Выполнены конструктивный, гидравлический и тепловой расчет контактного аппарата для глубокой утилизации дымовых газов при различных теплотехнических характеристиках сжигаемой биомассы.

Исходными данными для расчета выступили: элементный состав топлива, температура уходящих газов, температура мокрого термометра.

В результате расчета были получены данные об энергетической эффективности процесса глубокой утилизации продуктов сгорания.

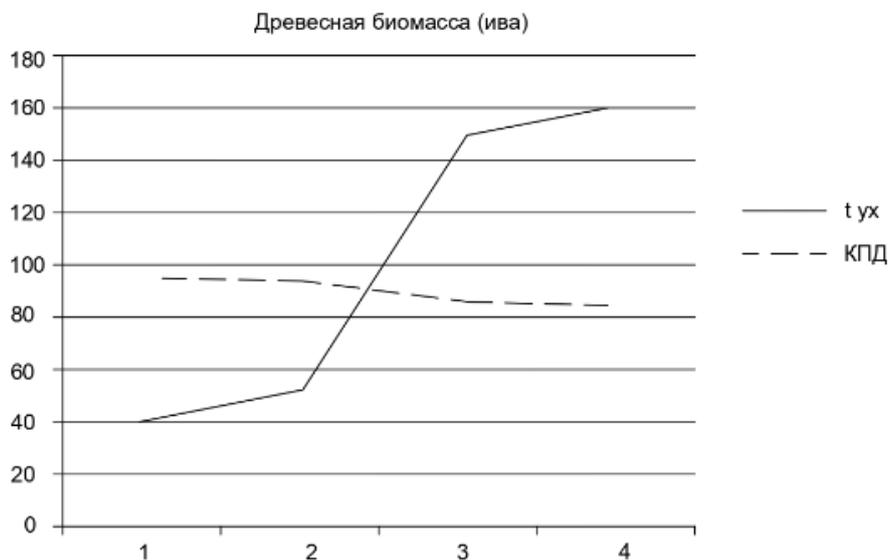


Рис. 2 – Зависимость КПД котла от температур уходящих газов при сжигании древесной биомассы

Графики зависимости КПД котла от температур уходящих газов представлены на рисунках 2,3 и показывают, что при увеличении температуры дымовых газов, КПД котла снижается.

Полученный результат свидетельствует об увеличении эффективности работы котельного агрегата при низких температурах уходящих дымовых газов. Таким образом, процесс позволяет достигнуть таких результатов как: полезное использование тепла дымовых газов для нужд химводоподготовки, подпитки, горячего водоснабжения, также способствует снижению вредных выбросов в атмосферу. Целесообразность применения данного решения зависит от: стоимости энергоресурсов на предприятии и котельных, продолжительности периода получения тепловой энергии, возможности полезной утилизации тепла дымовых газов.

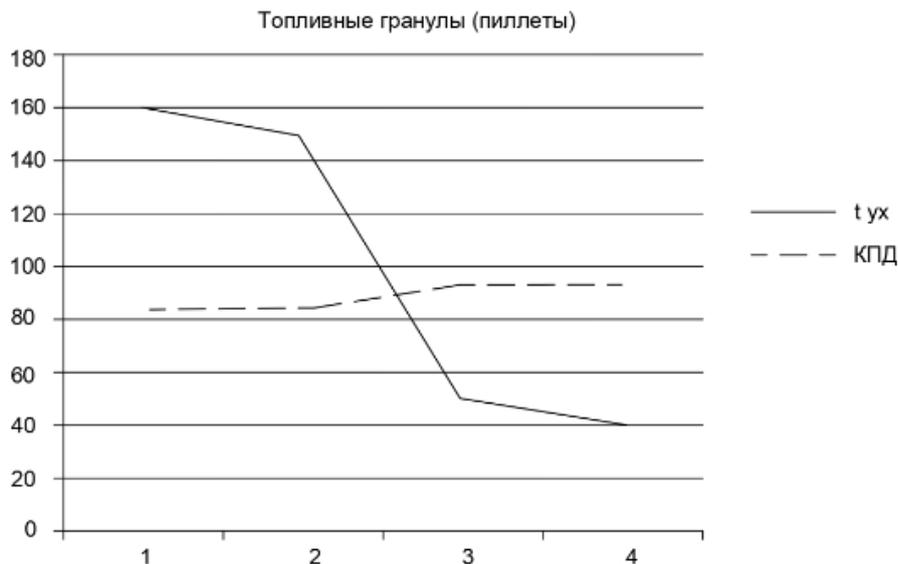


Рис. 3 – Зависимость КПД котла от температур уходящих газов при сжигании пеллет

Экономия первичного топлива при использовании уходящих газов котла (число часов работы утилизационной установки - 7500 ч/год, содержании влаги в топливе из быстрорастущей древесины  $W = 6\%$ ,  $W = 40\%$ ), составит около 240 и 155 т/год соответственно.

- для древесной биомассы:

$$B = \frac{Q_y \cdot T \cdot 3600}{Q_n \cdot \eta} = 241871,6$$

- для пеллет:

$$B = \frac{Q_y \cdot T \cdot 3600}{Q_n \cdot \eta} = 155031,061,$$

где  $Q_y$  – количество утилизируемой теплоты;  $T$  – число часов работы утилизационной установки в году;  $Q_n$  – низшая теплота сгорания;  $\eta$  – КПД по высшей теплоте сгорания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бутько А.А. Технично-экономические аспекты производства щепы при возделывании ивы белой (*Salix alba*) / Бутько А.А. Пашинский В.А., Родькин О.И. // Экология: журнал БГУ № 3 (38)/2017. – Минск: МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, 2017.– с. 92-100.
2. Аронов, И.З. Использование тепла уходящих газов газифицированных котельных / И.З. Аронов. – М.: Энергия, 1967. – 192 с.
3. Бутько, А.А. Оценка и моделирование энергетического потенциала биомассы ивы на примере клона SALIX VIMINALIS / А. А. Бутько, О. И. Родькин, Е. В. Иванова // Экол. вестн. – 2014. – № 1 (27). – С. 80–88.
4. Белкотломаш. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://belboiler.by/mvt/series\\_kv\\_rm](https://belboiler.by/mvt/series_kv_rm) – Дата доступа: 05.03.2020.
5. Информационная система МЕГАНОРМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294814/4294814877.htm> – Дата доступа: 02.06.2018.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕРНЫХ САПРОПЕЛЕЙ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ С ЕСТЕСТВЕННОЙ АЭРАЦИЕЙ COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF LAKE SAPROPELS AND BOTTOM SEDIMENTS IN SYSTEMS WITH NATURAL AERATION

Л. М. Шаповалова, Е. Ю. Куршина, В. Б. Нурматова, С.А. Мирзалимова  
L. M. Shapovalova, E. Y. Kirshina, V. B. Nurmatova, S. A. Mirzalimova

Научно-исследовательский институт окружающей среды и природоохранных технологий при Госкомэкологии РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан  
dagon49@mail.ru

Research Institute of Environment and Environmental Protection technologies under the State Committee for Ecology and Environmental Protection of Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

В статье представлены результаты исследований систем с естественной аэрацией (СЕА), используемых для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в странах Средней Азии, как в городах, так и в небольших населенных пунктах. Были изучены СЕА искусственного и естественного происхождения с глубинами 2,0-4,0 м. Показано, что по своим гидрологическим характеристикам СЕА приближаются к естественным водоемам озерно-прудового комплекса – эвтрофным озерам. Установлено, что в процессе эксплуатации в них накапливаются донные отложения, наибольшая мощность которых отмечается в начальной части СЕА. Формирование донных отложений происходит в анаэробных условиях при активном участии бактериальной микрофлоры в процессах минерализации. По таким показателям как влажность, зольность, содержание органических веществ донные отложения СЕА схожи с сапропелями эвтрофных озер.

The article presents the results of studies of systems with natural aeration (NAS) used for the treatment of domestic wastewater in the countries of Central Asia, both in cities and in small settlements. NAS of artificial and natural origin, with depths of 2.0-4.0 m were studied. It was shown that in their hydrological characteristics NAS are close to natural reservoirs of the lake-pond complex - eutrophic lakes. It has been established that during the operation bottom sediments accumulate in them, the greatest thickness of which is noted in the initial part of the NAS. The formation of bottom sediments occurs under anaerobic conditions with the active participation of bacterial microflora in the processes of mineralization. In terms of moisture, ash content and organic matter content, NAS bottom sediments are similar to sapropels of eutrophic lakes.

*Ключевые слова:* Системы с естественной аэрацией, донные отложения, влажность, зольность, сапропель.

*Keywords:* Systems with natural aeration, bottom sediments, humidity, ash content, sapropel.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-327-331>

Для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод городов и небольших населенных пунктов широкое распространение получили системы с естественной аэрацией (СЕА), представляющие собой неглубокие водоемы как естественного, так и искусственного происхождения, работающие в контактном или проточном режиме. Очистка сточных вод в СЕА основана на процессах самоочищения водоемов. Время пребывания в таких системах составляет от нескольких дней до нескольких месяцев

По своим гидрологическим характеристикам СЕА приближаются к естественным водоемам озерно-прудового комплекса, в которых идут процессы как разложения поступающих в водоемы веществ, так и их накопления, которые далее входят в состав иловых отложений.

Анализ СЕА, используемых для очистки хозяйственно-бытовых стоков показал, что эти водоемы согласно классификации В. И. Жадина [1] соответствуют эвтрофным (политрофным) озерам: глубина от 2 до 12 м, слабопроточные, со значительным поступлением биогенных элементов, теплые, вода прогревается до дна, температурная стратификация отсутствует.

Образующиеся в озерах иловые отложения в зависимости от морфологии водоема, географического положения, условий стока (общего содержания взвешенных веществ, количества неорганических веществ и т.д.) могут иметь различную зольность, влажность и мощность. Подобные озерные отложения носят название сапропель. Сапропели образуются из следующих основных компонентов: поступающие в водоем минеральные и органические вещества, неорганические компоненты биогенного происхождения, а также органические вещества отмерших водных организмов [2].

Сапропели эвтрофных озер по классификации Лундквиста определяются как богатые органическим веществом без заметных на глаз минеральных включений, желеобразной консистенции, светлеют при высушивании.

Формирование сапропелей происходит в анаэробных условиях в результате физико-химических и биологических преобразований остатков растительных и животных организмов, при различной степени участия минеральных и органических компонентов, которые активно взаимодействуют друг с другом. В составе органического вещества донных отложений присутствуют продукты распада высшей водной растительности (макрофитов) и, непосредственно, захороненные остатки макрофитов [3]. В слабопроточных озерах, в настоящее время, формируются силикатно-органические, органо-силикатные, карбонатные и смешанные осадки с содержанием органического вещества 30-70 %. Сапропели имеют самые широкие области применения в качестве органо-минеральных и органо-известковых удобрений, стимуляторов роста растений, минеральных кормовых добавок, буровых растворов, материалов для известкования почв, строительного производства и др. [4].

Целью данной работы было определение характеристик донных отложений в СЕА с замедленным водообменом, таких как зольность, влажность, морфологическое строение и их сравнение с сапропелями эвтрофных озер.

Климат на территории, где располагаются исследуемые СЕА, относится к засушливому континентальному типу. Средняя температура июля изменяется по равнинной территории с 26°C на севере до 30°C на юге, максимальная достигает 45-47°C. Средняя температура января опускается до 0°C на юге и до -8°C на севере. Осадки в основном выпадают в зимне-весеннем периоде. Годовое количество осадков на равнине составляет 80-200 мм, в предгорьях 300-400 мм, на западных и юго-западных склонах горных хребтов достигает 600-800 мм. Минимум осадков приходится на летний период. Безморозный период года длится 210 дней. Преобладающее направление ветров восточное и северо-восточное.

Исследования проводились как для СЕА естественного, так и искусственного происхождения.

СЕА естественного происхождения представляют собой систему водоемов, образованных неровностями дна. Протяженность системы колеблется в пределах 1,5-3,0 км. Время пребывания 30-40 дней. Глубины сооружений лежат в пределах 4,0-2,0 м, причем наибольшие глубины находятся в первых водоемах системы. Подача сточных вод на СЕА проводилась напорными трубопроводами. Сооружения располагаются в 15-20 км от границ городов. Сточные воды в СЕА поступали без предварительной механической очистки.

СЕА искусственного происхождения представляют собой систему из двух последовательно соединенных прудов с противоточной фильтрацией, выполненным из укатанного суглинка. Глубина прудов порядка 2,5 м. В каждом пруду, поперек потока, по дну, равномерно расположены 4 затопленные дамбы, высота которых составляет 1,8 м, а общая площадь - 40% от общей площади пруда. На затопленных дамбах высажены определенные виды высшей водной растительности. Перед подачей в биологические пруды доочистки сточные воды проходили систему предварительной механической очистки, включающей решетки, песколовку и отстойник. Из СЕА очищенная вода подавалась на орошение технических культур или рельеф местности.

Отбор проб донных отложений СЕА проводился по сезонам года с периодичностью 2 раза в сезон. Донные отложения СЕА естественного происхождения отбирались в трех точках средней части первого водоема ( $T_1$ ), средней ( $T_2$ ) и конечной частях ( $T_3$ ) сооружений. Донные отложения в биологических прудах доочистки отбирались в первом междамбовом участке первого пруда ( $T_4$ ) и в последнем междамбовом участке второго пруда ( $T_5$ ).

Отбор донных отложений СЕА производился как из-под воды, так и при отсутствии подачи сточных вод в момент проведения ремонтных работ. Подача сточных вод в этот период осуществлялась в заранее подготовленный накопитель.

На каждом месте отбора проб случайным образом трубкой «Владимирова» отбирались три пробы, которые затем помещались в герметичный пластиковый пакет. В лабораторных условиях пробы перемешивались, после чего образцы донных отложений анализировались на влажность и зольность. Обезжизнение донных отложений проводилось при атмосферном давлении на модельной установке. Микроскопирование образцов - под световым микроскопом с увеличением  $\times 250$ .

Изучались СЕА естественного происхождения городов Ахангаран, Фергана, Нукус (Республика Узбекистан), Ашхабад (Республика Туркменистан). Расход сточных вод, поступающих на очистку, составлял 12000-20 000 м<sup>3</sup>/сут. Основные показатели сточных вод, поступающих в СЕА: рН - 6,7-7,5, ХПК - 150-185 мг/л, БПКп - 87,0-110,0 мг/л, взвешенные вещества - 90,0-100,0 мг/л. Взвешенные вещества представлены органоминеральным абисестомом. Все сооружения находились в эксплуатации не менее 30 лет.

Обследование СЕА естественного происхождения показало, что прибрежная, мелководная часть сооружений представляет собой полосу не более 2,0-2,5 м от уреза воды, густо заросшую полупогруженной растительностью, в состав ассоциации которой входят такие виды как *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *Sirpus litoralis*. В толще воды постоянно присутствует фито- и зоопланктон, численность которого постепенно увеличивается по мере удаления от места подачи сточных вод. В составе фитопланктона в летний период преобладают зеленые водоросли, а в составе зоопланктона - низшие ракообразные, такие как ветвистоусые, веслоногие и коловратки. В зимний период фитопланктон представлен диатомовыми водорослями, зоопланктон представлен единичными экземплярами веслоногих ракообразных. Погруженная растительность, представленная *Potamogeton filiformis* и *Chara vulgaris*, массово встречается, начиная с середины СЕА.

Обследование биологических прудов доочистки г. Душанбе (Республика Таджикистан) показало, что на всех затопленных дамбах произрастает специально высаженный *Phragmites australis*, а в междамбовых участках - погруженная растительность. Биомасса фито- и зоопланктона, представлена теми же видами, что и в СЕА естественного происхождения, распределена равномерно по всей длине сооружений.

Подводная часть растений на всем протяжении СЕА покрыта бактериально-водорослевыми-протозойными обрастаниями.

Температура воды в летний период лежит в пределах 23-25°C на поверхности и 21-23°C в придонных слоях воды. Растворенный кислород в летний период присутствует во всей толще воды в пределах 10-14 мг/л. В зимний период температура воды в мелководной прибрежной части понижается до 0-2°C, а в открытой глубоководной части на поверхности она составляет 8-10°C, а в придонной части 5-7°C. Таким образом стратификация как летом, так и зимой отсутствует. В последних водоемах на водной поверхности кратковременно, на 1-2 недели может образовываться ледяной покров, толщиной не более 1,0-2,0 см.

В процессе эксплуатации СЕА образуются донные отложения с открытой поверхностью, над которой имеется лишь слой воды. В донных отложениях начальной части СЕА естественного происхождения преобладают бактериальные обрастания. Это объясняется тем, что со сточными водами постоянно поступает органо-минеральный абисестон. Бактериально-водорослевыми-протозойными обрастания донных отложений начинают встречаться после зоны интенсивного выпадения абисестона.

В связи с тем, что сточные воды подаются в биопруды после предварительного отстаивания, донные отложения в них по всей протяженности сооружений покрыты бактериально-водорослевыми-протозойными обрастаниями.

Все отобранные пробы донных отложений черного цвета с маслянистым блеском, пробы последних секций СЕА могут иметь черный цвет с зеленоватым оттенком.

Донные отложения имеют желеобразную консистенцию, однородную текстуру с незначительной примесью растительных остатков, запах сырой земли с примесью слабого битумного запаха. При подъеме на поверхность донные отложения отдают до половины содержащихся в них воды в течение первых суток, при высыхании светлеют.

Усредненные характеристики донных отложений СЕА представлены в таблице.

Таблица – Усредненные характеристики донных отложений СЕА

Точка отбора	Режим работы СЕА					
	Рабочий			Профилактический		
	г. Ахангаран (Узбекистан)					
Влажность	Зольность	Мощность донных отложений, м	Влажность	Зольность	Мощность донных отложений, м	
г. Ахангаран (Республика Узбекистан)						
T <sub>1</sub>	84,5	26,7	0,75	64,5	29,6	0,52
T <sub>2</sub>	81,9	53,9	0,4	52,2	50,3	0,21
T <sub>3</sub>	80,6	62,3	0,2	34,8	63,8	0,11
г. Фергана (Республики Узбекистан)						
T <sub>1</sub>	86,3	19,3	0,9	–	–	–
T <sub>2</sub>	82,3	42,6	0,5	–	–	–
T <sub>3</sub>	79,6	60,3	0,3	–	–	–
г. Нукус (Республика Узбекистан)						
T <sub>1</sub>	80,6	31,2	0,8	65,3	32,5	0,5
T <sub>2</sub>	78,3	54,3	0,32	58,6	53,9	0,21
T <sub>3</sub>	73,1	65,3	0,18	45,3	70,3	0,07
г. Ашхабад (Республика Туркменистан)						
T <sub>1</sub>	90,6	25,6	0,7			
T <sub>2</sub>	85,7	44,5	0,31			
T <sub>3</sub>	80,4	55,9	0,25			
г. Душанбе (Республика Таджикистан)						
T <sub>4</sub>	83,5	38,6	0,42	–	–	–
T <sub>5</sub>	77,3	58,6	0,12	–	–	–
Эвтрофные озера						
[3]	92	33	–	–	–	–
[5]	90-97	42-63	–	–	–	–
[4]	80-90	30-70	–	–	–	–

Анализ данных, представленных в таблице, показал, что влажность донных отложений по мере удаления от начальной части сооружений к конечной снижается, а зольность увеличивается. Наибольшая мощность донных отложений отмечается в начальной части сооружений и практически сходит на нет в последнем водоеме сооружений.

Мощность донных отложений в биологических прудах доочистки значительно меньше, чем в СЕА естественного происхождения, вследствие преобладания в составе взвешенных веществ мелкодисперсных фракций, преимущественно органического происхождения.

Присутствие большого количества бактериальной микрофлоры в донных отложениях [5] начальной части СЕА способствует интенсивной деградации органических загрязнений и уменьшению донных отложений. Поэтому процессов заиливания начальной части СЕА не наблюдается.

По классификации Штина [1] донные отложения начальной части СЕА по зольности можно отнести к органическому типу (зольность 30-40%), а донные отложения средней и конечной части - к минерально-органическому (зольность 30-70%), а по групповому составу автохтонного органического вещества - к планктоно-макрофитному.

Сравнение характеристик сапропелей и донных отложений СЕА (Таблица) показало их сходство по таким показателям как влажность, зольность, содержание органических веществ. Донные отложения первых водоемов СЕА могут быть использованы в сельском хозяйстве, садоводстве и лесоводстве как органическое удобрение и кондиционер почвы.

Исследованиями определена характеристика донных отложений СЕА различного типа. Установлено, что по таким показателям как влажность, зольность, содержание органических веществ донные отложения СЕА сходны с сапропелями эвтрофных озер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Штин, С. М. Озерные сапропели и их комплексное освоение / Штин С.М. – Изд. МГУ, 2005. – 374 с.
2. Stankevica, K. Freshwater sapropel (gyttja): its description, properties and opportunities of use in contemporary agriculture / Stankevica K. [et al.] - Agronomy Research, 2016. 14(3). – P. 929–947
3. Страховенко, В.Д. Генезис органоминеральных отложений озер центральной части Барабинской низменности (Юг Западной Сибири) / Страховенко В.Д [и др.] - Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 9. – С. 1231–1243.
4. Курзо, Б. В. Теоретические аспекты современного осадконакопления в озерах и их практическое приложение / Курзо Б.В. – Вестник БГУ. Сер. 2.2006. № 2. – С. 115–120
5. Кузнецов, С.И. Микрофлора озёр и её геохимическая деятельность / Кузнецов С.И. - АН СССР. НИИ биологии внутр. вод. Л. Наука. Ленингр. Отд. 1970. – 440 с.



# **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**



# ПРОБЛЕМА ЭКСПАНСИИ ВРАНОВЫХ ПТИЦ В ГОРОДАХ И ПУТИ РЕШЕНИЯ THE PROBLEM OF EXPANSION OF BIRDS IN THE CITIES AND WAYS OF SOLUTION

*М. А. Богачёва, А. В. Хандогий*  
*M. A. Bogachova, A. V. Khandogiy*

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
handogiy@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Несмотря на стремительную урбанизацию ландшафтов и активную застройку городов, все чаще возникают ситуации конфликтного сосуществования людей и птиц в городах. Нами была проанализирована проблема увеличения численности врановых птиц в городах, на основе собственных исследований и данных за предыдущие года.

Despite the rapid urbanization of landscapes and the active development of cities, situations of conflict coexistence of people and birds in cities are increasingly emerging. We analyzed the problem of increasing the number of corvids in cities, based on our own research and data for previous years.

*Ключевые слова:* врановые, ландшафты, численность, урбанизация.

*Keywords:* corvids, landscapes, numbers, urbanization.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-335-337>

Местами своего обитания птицы выбирают зеленые зоны, окраины города. Однако, чем выше уровень синантропности вида, тем активнее он осваивает город.

Многообразия и специфика форм использования пространства птицами предопределены их важнейшими биологическими особенностями и традиционно представляют собой объект пристального изучения орнитологов [1].

Врановые птицы хорошо чувствуют себя в городах, так как у них нет здесь естественных врагов и присутствует обилие пищи. Врановые птицы привыкли жить рядом с человеком, поэтому их скопления можно наблюдать прямо в жилых дворах. Главенствующие положение занимают галки, грачи и серые вороны, их чаще всего можно заметить у мусорных контейнеров. На численность врановых птиц в микрорайоне или районе, влияют наличие зеленых и парковых зон, доступность пищи и мест для гнездования [2].

Роль врановых в городах трудно оценить однозначно. С одной стороны, несомненно, что при чрезмерно возросшей численности их деятельность наносит весьма ощутимый вред коммунальному хозяйству и оказывает негативное воздействие. Но в некоторой степени это компенсируется санитарной ролью врановых и их средообразующей деятельностью, поскольку гнезда ворон активно используются некоторыми видами хищных птиц – чеглоками, ушастыми совами и др.

Присутствие птиц в городе имеет и положительное значение, прежде всего, птицы выступают естественными регуляторами численности вредных насекомых. Также, птицы являются индикаторами общего состояния города. Такими индикаторами выступают: грач, серая ворона, сизый голубь, домовые воробьи и другие виды.

Иногда, врановые выбирают рудеральные зоны (пустыри и свалки), а также парки и открытые зелёные пространства. Здесь присутствует корм, в виде пищевых отходов, много доступных мест для гнездования. Чаще всего в таких зонах, птицы создают ночёвочные скопления [3].

В естественных биотопах врановые располагают свои гнёзда на высоких деревьях, прячут гнезда в пышных кронах. Исходя из этого, в антропогенных ландшафтах они предпочитают заброшенные здания, водонапорные башни и т.п., однако, возле мест гнездования ночёвок не создают [1].

Большое скопление птиц на одной территории, создаёт не мало неудобств. А наличие ночёвочных скоплений в черте города, приводит к недовольству населения [5]. Поэтому, перед орнитологами стоит задача не только обнаружения ночёвочных скоплений, но и оценка их потенциального ущерба и поиск решения проблемы.

Ночёвки птиц интересны не только с точки зрения орнитологии. Скученность большого количества птиц в одном месте изменяет ландшафты вокруг.

Врановые птицы в местах гнездования и ночёвок оказывают прямое и косвенное воздействие на растительность. Их экскременты оставляют ожоги на растениях, они могут обламывать ветки деревьев и переносить орнитохорные растения на большие расстояния. Врановые являются одной из основных групп птиц, которые повреждают, а иногда и полностью уничтожают посевы зерновых культур, наносят вред птицеводству, загрязняют архитектурные памятники, они виновны в сокращении численности ценных охотничье-промысловых и редких видов птиц. В то же время массовые скопления птиц вызывают эпизоотии, в том числе опасные для человека.

Птицы являются хозяевами и переносчиками паразитов людей и домашних животных. Помёт птиц загрязняет памятники архитектуры города, крыши зданий, что способствует развитию коррозионных процессов [5].

Всех птиц, обитающих в городе, можно разделить на несколько групп, по-разному реагирующих на возрастание антропогенного воздействия: первые увеличивают плотность населения в урбанизированных районах, вторые избегают измененных ландшафтов, а третьи сохраняют один и тот же уровень плотности в различно измененных человеком районах [1].

Нами был выбран маршрутный метод исследования, сводящийся к регистрации птиц, встреченных нами на заранее выбранной полосе учёта. Маршрутный учёт, хотя и не даёт возможности точно во все сезоны установить абсолютную численность птиц, позволяет за значительно короткое время обследовать значительные площади, установить относительную численность птиц и её изменения. При определении видового состава врановых птиц нами использовался визуальный метод. Суть визуального метода состоит в том, что в данном случае мы визуально определяли врановых птиц. В визуальном определении врановых мы не испытывали никаких трудностей, поскольку они легко отличаются по стандартным диагностическим признакам.

В ходе проведения собственных исследований, на территории города Минска были обнаружены многочисленные места ночёвочных скоплений врановых птиц (табл. 1)

*Таблица 1 – Места ночёвочных скоплений врановых*

Место	Количество особей (в тыс.)
Сквер (ул. Берута)	1,5
Сквер (ул. Матусевича)	2
Парк «Комсомольское озеро»	3
Костел Святой Троицы	0,7
Военное кладбище (ул. Козлова)	1,0
Парк Челюскинцев	1,5
Парк «50-летия Октября»	1,3
Сквер БГПУ	0,5
Станция метро «Могилевская»	1,5
Парк «Курасовщина»	1,3
Парк «60-летия Великого Октября»	3
Парк Горького	1
Свалка «Тростенецкая»	1,5
Сквер (Гимназия №19)	2,0

Проанализировав таблицу, становится ясно, что четкой зависимости между местами ночёвочных скоплений нет. Птицы образуют скопления как в больших отдаленных парках, так и в скверах в центре города. Таким образом, любой район города Минска, может стать местом для ночёвочных скоплений врановых. А любая зелёная зона города – привлекательна для птиц. Предпочитают врановые крупные парковые зоны, например, Комсомольское озеро, где численность ночёвки может достигать до 3 тысяч особей.

В холодное время года, птицы стараются занять меньшие территории, например, скверы и небольшие парки, так птицам легче сохранять тепло, защищаться от ветра. Примером небольших ночёвок можно считать ночёвки в сквере БГПУ, возле Костёла Святой Троицы. Нередко можно пронаблюдать как зимой птицы на ночёвках разбиваются на более мелкие стаи, для тех же целей.

Фактор хищничества неактуален для врановых птиц, в городах у них нет естественных врагов, что тоже указывает на то, что главным фактом наличия ночёвок, является наличие кормовой базы [4].

Главными функциями зеленых насаждений современного города являются: санитарно-гигиеническая, рекреационная, декоративно-художественная. Зеленые насаждения улучшают микроклимат городской территории. Они создают естественную тень, понижают тепловую радиацию, снижают уровень шума, увеличивают влажность воздуха, осаждают пыль, улучшают ионный режим атмосферного воздуха. Но самое главное, зеленые зоны в городах, являются местом обитания для многих видов. Здесь, птицам комфортнее всего создавать места для гнездования, для ночёвок, добывать пищу.

Нами были проанализированы «молодые» районы города Минска, которые активно застраивались и разрастались последние десятилетия. Ранее пригородные территории, превращаются в многоэтажные застройки, а вновь возведенные зеленые зоны, являются молодыми, что приводит к тому, что птицы лишаются естественных мест обитания (табл.2)

Таблица 2 – Врановые г. Минска в городских застройках разных лет (Каменная горка, Уручье)

Городская застройка (годы застройки)	Грач (ос./км <sup>2</sup> )		Серая ворона (ос./км <sup>2</sup> )		Галка (ос./км <sup>2</sup> )	
	Гнездовой период	Вне гнездовой период	Гнездовой период	Вне гнездовой период	Гнездовой период	Вне гнездовой период
1960-1970-х гг.	–	142.3±32.5	236,5±31,9	73.0±21.3	–	352.1±105.4
1970-1990-х гг.	–	–	–	–	–	–
1990-2000-х гг.	162,6 ± 44,8	55,3 ± 27,4	202.6±66,4	50.4±20,1	62.3±19,3	300.2±95.4
2000-2020-х гг.	56,7±19.2	148.1±24.8	6.9±2.6	21.3±5.3	47.6±21.3	136.3±37.7

Как видно из таблицы, с каждым десятилетием, численность изучаемых видов остаётся довольно высокой, но перераспределяется в условиях одного и того же города, что говорит о том, что птицы находят благоприятные места для своего обитания. В тоже время, показатели плотности населения врановых птиц остаются высокими для городских застроек, что свидетельствует об экспансии врановых птиц в г. Минске и создает проблему напряженных взаимоотношений горожан и птиц.

Для ограничения численности птиц требуется повысить уровень санитарного состояния города. Необходимо контролировать подкормку птиц. Регулирование мест для кормления птиц, своевременный вывоз мусора и другие меры по сокращению доступных для птиц кормов, являются самыми действенными, доступными и гуманными методами контроля птиц в городах.

С нашей точки зрения, могут применяться и другие методы контроля численности врановых птиц. В отношении некоторых видов птиц используют противоприсадные средства. Их устанавливают на карниз здания, это защищает здания и не даёт птицам создавать места гнездования. Подобные средства устанавливают также на опоры линий электропередач.

Еще одним средством контроля численности птиц и их защиты, является наклейка силуэтов птиц на прозрачные объекты: окна, стены, противозумовые ограждения вдоль скоростных шоссе [5].

Яркий свет отпугивает птиц, поэтому в местах большого их скопления или на местах ночёвок, можно использовать приборы, создающие резкие яркие вспышки света, однако, использовать данные установки можно только вдали от жилых районов, чтобы не нарушать качество жизни человека. Также, эффективно действует метод использования лент с голографической поверхностью.

Ещё популярно использование чучел хищников, их дополняют акустическими сигналами. Для эффективности, чучело стоит заменять, чтобы птицы не привыкали к неподвижному чучелу, либо использовать подвижные чучела. Эффект от подвижных моделей, также не может быть постоянным, птицы быстро привыкают к повторению одного и того же сигнала.

Акустические установки имитируют голоса хищников, выстрелы и другие. Они часто используются на взлётно-посадочных полосах аэродромов, на крышах высотных зданий [5].

Также, для уменьшения численности птиц в определённом районе, можно снижать возможность их размножения. В зависимости от мест гнездования птиц, можно использовать разные подходы, например, закрывать ниши, чердаки защитными сетками, использовать методы, предотвращающие посадку птиц [5].

Таким образом, врановые птицы являются частью современных городов. Как птицы приобретают необходимые адаптации для жизни в городах, так и города должны изменяться для комфортной жизни людей и птиц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Иваницкий, В. В.* Пространственно-ориентированное поведение птиц / В. В. Иваницкий // Русский орнитологический журнал. – Санкт-Петербург. – Том 16. – Экспресс-выпуск. – 2007. – С.691-725.
2. *Хандогий, Д. А.* Динамика суточных миграций врановых города Минска в осенне-зимний период / Д. А. Хандогий // Мат. науч.-практ. конф. «Зоологические чтения – 2012», посв. 250-летию проф. С. Б. Юндзилла (1761-1847). – Гродно : ГрГМУ, 2012. – С.166-169.
3. *Брезгунова, О. А.* Организация совместных коллективных ночёвок грача *Corvus frugilegus* и галки *Corvus monedula* в городе Харькове / О. А. Брезгунова // Русский орнитологический журнал. – Санкт-Петербург, 2017/ – С.153-157.
4. *Beauchamp, G.* The evolution of communal roosting in birds: origin and secondary losses/ Guy Beauchamp // Behavioral Ecology, Volume 10, Issue 6; 1999 P.675687
5. Институт пест-менеджмента-[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ipm.moscow/pest>. – Дата доступа: 05.04.21.

**РАЗНООБРАЗИЕ ЖИЗНЕННЫХ ФОРМ *JUNIPERUS COMMUNIS* L.  
КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ  
В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

**VARIETY OF LIFE FORMS OF *JUNIPERUS COMMUNIS* L.  
AS AN INDICATOR OF ECOLOGICAL PLASTICITY IN THE URBAN ENVIRONMENT**

***P. С. Бондарук, И. Э. Бученков, Е. Р. Грицкевич*  
*R. Bandaruk, I. Butchenkov, E. Gritskevitch***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
roma.bondaruk@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Городская среда отличается своеобразием экологических факторов, специфичностью техногенных воздействий, приводящих к значительной трансформации окружающей среды. Растения являются основным фактором экологической стабилизации городской среды благодаря своей жизнедеятельности, и, прежде всего, фотосинтезу и способности к аккумуляции загрязняющих веществ. Цель работы – изучение биоэкологических особенностей можжевельника обыкновенного в условиях городской среды. В ходе исследований установлено, что на урбанизированных территориях у *J. communis* спектр жизненных форм более разнообразен, чем в природных условиях. Наряду с одноствольными деревьями, преобладающими в естественной природной среде, формируются новые геоксильные мало- и многоствольные деревья и аэроксильные дерево-куст.

The urban environment is distinguished by the originality of environmental factors, the specificity of man-made impacts, leading to a significant transformation of the environment. Plants are the main factor in the ecological stabilization of the urban environment due to their vital activity, and, above all, photosynthesis and the ability to accumulate pollutants. The aim of the work is to study the bioecological characteristics of the common juniper in the urban environment. In the course of the research, it was found that in urbanized areas, *J. communis* has a more diverse range of life forms than in natural conditions. Along with single-stemmed trees prevailing in the natural environment, new geoxyl small- and multi-stem trees and aeroxil tree-bush are formed.

*Ключевые слова:* городская среда, можжевельник обыкновенный, онтогенез, жизненные формы.

*Key words:* urban environment, common juniper, ontogeny, life forms.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-338-341>

Городская среда отличается своеобразием экологических факторов, специфичностью техногенных воздействий, приводящих к значительной трансформации окружающей среды. Растения хотя и подвергаются комплексному химическому, физическому, биогенному воздействию вследствие загрязнения атмосферы, поверхностных и грунтовых вод, но, тем не менее, остаются основным фактором экологической стабилизации городской среды благодаря своей жизнедеятельности, и, прежде всего, фотосинтезу и способности к аккумуляции загрязняющих веществ [1, 2].

В крупных городах складывается особый температурный режим, характеризующийся повышенными температурами. Его формирование обусловлено усиленным притоком антропогенного тепла (работа промышленных предприятий, транспорт, отопительные системы жилых массивов, а также дополнительные источники теплового излучения – искусственные покрытия улиц и площадей, крыши и стены зданий) [2].

Воздействие промышленных предприятий и транспорта, существенно изменяющих состав воздуха в направлении уменьшения содержания кислорода и увеличения концентрации углекислого газа, способствует развитию парникового эффекта. Трансформация теплового баланса городской территории является причиной возникновения над городом слоя теплого воздуха куполообразной формы высотой до 200 м, называемого «тепловой шапкой». По этой причине температура воздуха в городе в среднем на 0,5-5 °С выше по сравнению с пригородной зоной, а безморозный период продолжительнее на несколько дней [3].

Важное экологическое значение имеет понижение относительной влажности воздуха в городе, это особенно заметно в летний период, когда разница между городом и пригородом по этому показателю достигает 7-15 %, а в центре – 20-22 %. Большая концентрация ядер конденсации в атмосфере над городом приводит к повышенной облачности и увеличению частоты выпадения осадков примерно на 10-15 % [2].

В городских условиях наблюдается нивелирование ветров, усиление турбулентности воздушных потоков, что связано с орографическими неровностями и планировочными особенностями городской застройки. Наличие

своеобразного «острова тепла» над центром города вызывает образование системы ветров, дующих от периферии к центру. Это приводит к ослаблению вентилируемости центральных районов города и скоплению вредных атмосферных примесей [1].

Задымление и запыленность воздуха, частая повторяемость туманов задерживают 18-20 % солнечной радиации (в сильно загрязненных районах – до 50 %, для коротковолновой ультрафиолетовой радиации – до 80 %). Ослабление наиболее активной в биологическом отношении радиации оказывает неблагоприятное влияние на жизнедеятельность растений. В районах с многоэтажной застройкой растения нередко испытывают недостаток света из-за прямого затенения [2].

Особенностью светового режима в урбаноэкосистемах является дополнительное освещение улиц, искусственно продлевающее световой день, которое не влияет на процессы фотосинтеза (из-за низкой интенсивности), но сказывается на фотопериодических реакциях растений и нарушает естественные биологические ритмы поведения насекомых-фитофагов, вызывая их перераспределение и скопление в отдельных частях насаждений [3].

В городах сильной трансформации подвергаются почвы, испытывающие комплексное антропогенное воздействие. Естественные почвы часто оказываются погребенными под слоем насыпного грунта, в том числе с примесью строительного мусора, и на профиле с трудом выделяются горизонты. Уплотненность и загрязненность урбаноземов, а также наличие асфальтового покрытия отрицательно воздействуют на температурный режим, воздухо- и водообмен почв, состояние почвенной микрофлоры и мезофауны, и как следствие, состояние растительности. В результате угнетается рост деревьев, появляются признаки суховершинности, происходит частичное или полное исчезновение травянистого покрова. Внесение гололедных солевых смесей, вызывающее засоление и формирование солонцеватости почв, способствует формированию условий «физиологической» сухости для растений.

Вследствие высокой теплопроводности асфальтового покрытия годовой перепад температур в корнеобитаемых горизонтах почв в городах составляет 40 °С (в естественных условиях не более 20-25 °С). В результате летом почва под асфальтом перегревается и иногда достигает 50-55 °С, а зимой, наоборот, сильно промерзает (до -10-13 °С), в итоге верхние слои почв не содержат живых корней [2].

Ежегодная уборка опавшей листвы, скашивание газонных трав изменяют элементный состав почв, что может привести к размыканию естественных биогеохимических циклов. Кроме того, происходит подщелачивание городских почв (рН 7,5, зональные почвы характеризуются рН 4-4,5), что снижает доступность элементов питания. Плодородие почв во многом определяется деятельностью почвенной микрофлоры и мезофауны, но, по указанным ранее причинам, городские почвы практически стерильны почти до метровой глубины [4].

Содержание органического углерода в почвах обуславливается не только сугубо почвенными процессами, но и оседающей пылью, включающей углеродосодержащие соединения промышленных и транспортных выбросов. Такой органический углерод не имеет прямого отношения к гумусу и не может служить показателем плодородия почв.

В почвах промышленных центров отмечается превышение допустимого уровня содержания микроэлементов и, соответственно, переходит в разряд тяжелых металлов. В большинстве случаев загрязнение тяжелыми металлами затрагивает лишь поверхностные слои почвы.

В последние годы происходит значительное увеличение антропогенной нагрузки на урбанизированные экосистемы. В этих условиях важным свойством живых организмов является способность сочетать устойчивость (гомеостаз) и приспособления (адаптации) к изменяющимся условиям среды, что дает возможность выжить в условиях нарастающего антропогенного стресса.

Значительную роль в создании благоприятной для людей среды обитания играют древесные растения. В городских ландшафтах они выполняют важнейшие средообразующие и средозащитные функции, связанные с выделением кислорода и фитонцидов, ионизацией воздуха, формированием своеобразного микроклимата.

В то же время насаждения, произрастающие на урбанизированных территориях, испытывают на себе постоянное влияние техногенного загрязнения. В связи с этим большое значение приобретает проблема изучения резистентности различных видов растений к городским условиям.

Оценка экологической пластичности растений и определение их адаптивного потенциала позволяет решать разнообразные экологические и прикладные задачи, а также прогнозировать поведение видов при климатических изменениях и антропогенных воздействиях.

Особую ценность в улучшении качества городской среды представляют хвойные растения. Большинство из них являются вечнозелеными, что повышает их роль в озеленении городов, особенно расположенных в зоне умеренного климата, так как они участвуют в очистке воздуха от пыли и вредных газов даже в зимнее время.

Использование хвойных растений в озеленении городов зачастую затруднено их высокой чувствительностью к ряду загрязняющих веществ, что определяется преимущественно значительной продолжительностью жизни хвои. Но все же некоторые виды хвойных отличаются значительной устойчивостью к техногенному загрязнению. Среди них можно отметить виды рода можжевельник (*Juniperus L.*), которые не только обладают высокими декоративными качествами, но и, по сравнению с другими хвойными растениями, способны противостоять действию токсичных газов.

В связи с этим, изучение эколого-биологических особенностей видов рода можжевельник в районах г. Минска с различной антропогенной нагрузкой позволит провести оценку перспективности применения данного растения и различных его форм и сортов для улучшения качества окружающей среды.

В связи с этим, целью наших исследований было выявление биоэкологических особенностей сортов и форм можжевельника обыкновенного в условиях городской среды на основе комплексного изучения экологических, морфометрических и физиологических параметров.

Исследования проводили с 2018 по 2020 гг. в различных по экологическим условиям районах города Минска. Объект исследований – насаждения можжевельника (виды, сорта и формы) в составе зеленых насаждений в различных с точки зрения экологических условий районах города Минска.

Согласно методике С.Н. Краснощековой (1987), в качестве зон условного контроля в городе Минске выбраны: территории Центрального Ботанического сада НАН Беларуси, Лошицкого парка, улицы, парки и скверы Партизанского района. Жизненные формы определяли по классификации И.Г. Сереброва (1962). Кроме того, использовали подходы, предложенные А.А. Чистяковой и др. (1989) и О.А. Недосеко (1992).

Ботанический сад и Лошицкий парк расположены в зоне с пониженным значением комплексного индекса загрязнения атмосферы. За годы исследований индекс загрязнения атмосферы в Ботаническом саду составлял 5,21-3,10, а в Лошицком парке 4,17-2,08. Обобщенные данные анализа содержания в почве тяжелых металлов и рН снега представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в снежном покрове, мкг/л

Место отбора проб	Содержание элементов, мкг/л						рН талой воды
	Cu	Cd	Pb	Zn	Mo	Ni	
ЦБС НАН Беларуси	4,23±0,09	6,02±1,11	1,12±0,04	12,66±2,22	0,18±0,01	1,07±0,02	5,92 ± 0,02
Лошицкий парк	14,65 ± 2,42	15,67 ± 1, 27	6,30 ± 1,67	82,33 ± 11,67	2,88 ± 0,38	13,07 ± 1,41	5,10 ± 0,01
Зеленые насаждения микрорайона МТЗ	18,37 ± 2,33	18,87 ± 0,19	7,55 ± 0,01	102,27±13,11	3,28 ± 0,56	17,00 ± 4,33	7,16±0,06

Зеленые насаждения микрорайона Минского тракторного завода составляют 77,2 гектаров располагаются в Партизанском районе г. Минска и охватывает восточную часть города. Партизанский район – самый крупный промышленный район города Минска, включающий 28 предприятий, которые являются одними из основных стационарных источников загрязнения окружающей среды.

Кроме наличия загрязняющих веществ в воздухе (табл. 2), почвах и снежном покрове неблагоприятным для насаждений фактором являются повышенные температуры, освещение в ночное время, значительная плотность снежного покрова в зимний период.

Таблица 2 – Среднегодовая концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе районов исследования

Место отбора проб	Концентрация, мг/г <sup>3</sup>				
	пыль	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NH <sub>3</sub>
ЦБС НАН Беларуси	0,06±0,02	0,03±0,01	0,04±0,01	1,32±0,02	0,015±0,01
Лошицкий парк	0,09±0,03	0,05±0,01	0,07±0,02	1,64±0,04	0,037±0,002
Зеленые насаждения микрорайона МТЗ	1,27±0,06	0,08±0,01	0,15±0,04	2,27±0,06	0,082±0,004

Таким образом, можно заключить, что на изученных участках наблюдается высокий уровень загрязнения почв, снежного покрова, атмосферного воздуха. Агрохимические и физические свойства почв в этих районах также далеки от оптимальных для нормального развития растений: возрастают значения рН почв, изменяется содержание элементов минерального питания, снижается влажность.

Одним из важнейших признаков, определяющих приспособленность растений к среде обитания, является жизненная форма. Разнообразие жизненных форм (морфологическая поливариантность) у одного вида в разных условиях отражает степень экологической пластичности и возможности растений использовать разнообразные микроместообитания внутри сообщества. Виды с большим разнообразием жизненных форм характеризуются лучшим выживанием в неблагоприятных условиях и отличаются более широкими возможностями в обеспечении непрерывного оборота поколений. Таким образом, один и тот же вид в различных частях своего ареала или в разных экологических условиях нередко принимает различные жизненные формы, иногда значительно отличающиеся друг от друга.

Анализ литературных данных показал, что при описании жизненной формы *J. communis*, как правило, лишь указывается, что это дерево или кустарник [2, 3]. В соответствии с классификацией И.Г. Серебрякова (1962) данный вид относится к типу дерева; классу кронаобразующие с полностью одревесневшими удлиненными побегами; подклассу наземные; группе с подземными корнями; подгруппе прямостоячие; к секциям одноствольные (лесного типа) и кустовидные, или не многоствольные (плейокормные) деревья (субарктического и субальпийского типа) [5].

Вместе с тем, по нашим наблюдениям, некоторые особи *J. communis* совмещают признаки, характерные для деревьев и кустарников, так как на некоторой высоте от поверхности земли наблюдается ветвление главного побега. Растения совмещающие признаки характерные для деревьев (большая продолжительность жизни осей)

и кустарников (многоостность) относят к жизненным формам – аэроксильное дерево (для особей с наземным формированием скелетных осей) или геоксильное мало- и многоствольное дерево (растения, у которых скелетные оси образуются подземно).

Как показали результаты наших наблюдений у *J. communis*, в условиях городской среды Минска, можно выделить следующие жизненные формы: одноствольное дерево, геоксильное многоствольное дерево, аэроксильное дерево-куст. Кроме того, установлено, что скелетные оси геоксильных деревьев могут иметь надземное ветвление (аналогичное аэроксильным).

В посадках г. Минска было проведено исследование количественного соотношения жизненных форм *J. communis*. Из общего числа особей (383) максимальная встречаемость была у многоствольных растений (около 73 %), одноствольных деревьев выявлено 12 %, а к жизненной форме аэроксильное дерево-куст можно отнести почти 15 % изученных растений.

Кроме того, при исследовании был проведен корреляционный анализ некоторых морфометрических параметров деревьев *J. communis*. По мнению А.В. Богачева (1974), соотношение различных морфометрических признаков является показателем особенностей формирования кроны деревьев.

Нами установлено, что у растений *J. communis* всех изученных жизненных форм в генеративном периоде развития существует положительная зависимость между высотой дерева и длиной кроны. Коэффициент корреляции составил 0,48-0,82 (табл.3).

Таблица 3 – Коэффициент корреляции (*r*) морфометрических параметров разных жизненных форм *J. communis*

Пара признаков	Одноствольные деревья	Аэроксильное дерево-куст	Многоствольные деревья
Высота дерева и диаметр ствола	0,77***	0,11***	- 0,61***
Высота дерева и длина кроны	0,48**	0,82**	0,58**
Высота дерева и диаметр кроны	0,62**	0,44**	0,15**
Диаметр ствола и длина кроны	0,75*	0,65*	- 0,51*
Диаметр ствола и диаметр кроны	0,44*	0,24*	- 0,48*
Длина кроны и диаметр кроны	0,29*	0,14*	0,11*

\* $P < 0,05$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \*\*\* $P < 0,001$

У одноствольных деревьев и аэроксильных деревьев-кустов также отмечена положительная корреляция между диаметром ствола и длиной кроны ( $r = 0,75$  и  $r = 0,65$ ), тогда как у многоствольных деревьев в средневозрастном генеративном состоянии наблюдалась отрицательная зависимость между данными признаками ( $r = -0,51$ ).

Таким образом, в наших исследованиях было установлено, что в условиях города у *J. communis* жизненные формы более разнообразны по сравнению с природным ареалом. Разнообразие способов размножения, наряду с наличием различных декоративных форм, в условиях городской среды, вызывает широкие адаптивные возможности, что позволяет данному виду максимально приспособляться к условиям городской среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарина, И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: монография / И.Л. Бухарина, Т.М. Поварничина, К.Е. Ведерников. – Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА. 2007. – 216 с.
2. Герасимов, А.О. Устойчивость хвойных пород в уличных посадках Санкт-Петербурга: дис... к.б.н. / А.О. Герасимов. – СПб, 2003. – 181 с.
3. Горышина, Т.К. Растение в городской среде / Т.К. Горышина – Л. : Изд-во Ленинградского ун-та, 1991. – 152 с.
4. Карасев, В.Н. Эколого-физиологическая диагностика состояния городских зеленых насаждений / В.Н. Карасев, М.А. Карасева, А.А. Маторкин / Глобальные проблемы национальной безопасности России в 21 веке. – Седьмые Вавиловские чтения. – Материалы Всерос. междисциплинарной конференции – Ч.2. – Йошкар-Ола, 2003. – С.201-203.
5. Серебряков, И.Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных / И.Г. Серебряков. – М. : Высш. шк., 1962. – 380 с.

# РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА

## DEVELOPMENT OF MEASURES TO REDUCE THE IMPACT OF MOTOR TRANSPORT FLOWS IN URBAN AGGLOMERATIONS BASED ON AN INTEGRATED APPROACH

*Л. В. Дергачева*

*L. Dergacheva*

*Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия*

*l.v.gromova@mail.ru*

*Rostov State Transport University (RSTU), Rostov-on-Don, Russia.*

*l.v.gromova@mail.ru*

С каждым годом усиливается негативное влияние автотранспортного комплекса на все звенья биосферы, особенно в городских агломерациях. Для снижения этого влияния, а также разработки мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ, в том числе и парниковых газов, необходимо иметь четкие методики определения массы выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта. В статье проанализированы методики определения массы выбросов загрязняющих веществ при работе автотранспортных средств. На основании проведенного анализа предложена методика, позволяющая увязать выбросы загрязняющих веществ с расходом топлива конкретной транспортной единицы. Последнее актуально в свете вводимого в странах ЕС «углеродного налога». Разработана модель городской биоархитектуры, предлагающей использовать зеленые насаждения в качестве акустического экрана для транспортных магистралей. Такой подход позволит снизить не только уровень шума, но и выбросы загрязняющих веществ, а также улучшить городской микроклимат.

Every year, the negative impact of the motor transport complex on all links of the biosphere, especially in urban agglomerations, is increasing. To reduce this impact, as well as to develop measures to reduce emissions of pollutants, including greenhouse gases, it is necessary to have clear methods for determining the mass of emissions of pollutants from motor vehicles. The article analyzes the methods for determining the mass of emissions of pollutants during the operation of motor vehicles. Based on the analysis, a method is proposed that allows you to link the emissions of pollutants with the fuel consumption of a particular transport unit. The latter is relevant in the light of the "carbon tax" being introduced in the EU countries. A model of urban bioarchitecture has been developed, suggesting the use of green spaces as an acoustic screen for transport highways. This approach will reduce not only the noise level, but also the emissions of pollutants, as well as improve the urban microclimate.

*Ключевые слова:* транспортные средства, пробеговые выбросы, узловы выбросы, акустический экран, расход топлива, загрязнение атмосферы.

*Keywords:* vehicles, mileage emissions, nodal emissions, acoustic screen, fuel consumption, atmospheric pollution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-342-345>

Современное общество потребления с каждым годом все расширяет и усиливает антропогенное и техногенное давление на окружающую среду. Ответом на это воздействие является деградация природных сред, приводящее к изменениям климата и увеличению заболеваемости населения. Особенно показательны эти изменения видны на урбанизированных территориях. Среднестатистический городской житель ежедневно подвергается воздействию, загрязненного воздуха и воды, шума, электромагнитных полей, уровни которых превышают нормативные значения. Наибольший вклад в изменения параметров окружающей среды в городских агломерациях вносят транспортные потоки, без которых невозможно функционирование современного общества

Определяющим фактором экологического ущерба биосфере городов является автотранспортный комплекс, доля которого составляет (около 65 %). В среднем по России доля транспорта в загрязнении атмосферного воздуха составляет более 50 %, а в крупных городах – до 90 %. По экспертным оценкам, а также сопоставив сводные данные (усредненные данные Государственных докладов «О состоянии природной среды в РФ» за последние 10 лет) получаем, что в загрязнение атмосферы 150 городов России преобладающее влияние оказывает именно автотранспорт (его доля в загрязнении составляет 62,7 %, железнодорожного 27,7 %, воздушного – 4,5 %). Анализируя данные объемных показателей выбросов вредных веществ автотранспортом для различных субъектов РФ получаем, что он колеблется в пределах от 16 тыс. т/год до около 2 млн. т/год. Результаты всероссийской операции «Чистый воздух», ежегодно проводимой в крупных городах, показали, что у 25 – 30 % автомобилей наблюдается превышение экологических норм. Чаще всего это связано с неисправностями или неправильной регулировкой

системы ДВС. малые скорости и «холостой ход» двигателя являются наиболее неблагоприятными режимами работы, это показал анализ работы автотранспортных средств. При этих режимах выбрасывается больше загрязняющих веществ, чем при нагрузочных режимах. Техническое состояние двигателя так же непосредственно влияет на его экологические показатели. Отработавшие газы бензинового двигателя с неправильно отрегулированным зажиганием и карбюратором содержат оксид углерода в количестве, превышающем норму в 2-3 раза [1].

Разработка мероприятий по снижению антропогенного влияния транспортных потоков на окружающую среду невозможна, без осмысливания роли всех источников загрязнения, что в свою очередь затруднено из-за отсутствия надежных методов расчета выбросов – нет простой и надежной (сопоставимой с экспериментальными данными) методики расчета выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств. Усиление экологической напряженности во многих городах России также связано с шумовым воздействием транспорта. Шум беспокоит жителей крупных городов, особенно проживающих вдоль автомагистралей [2]. Снижение уровня шума, чаще всего достигается строительными мерами (шумозащитным остеклением, установкой шумопоглощающих экранов). Как показывает анализ публикаций, в частности [2 – 4], этим проблемам уделяется большое внимание. Но нет комплексного мероприятия, которое одновременно могло бы и снизить уровень загазованности, и уровень шума.

Целью работы является разработка методики, с помощью которой, можно было бы определить массы выбросов загрязняющих веществ; разработка мероприятий, позволяющих снизить уровень шума до санитарных норм.

Надо отметить, что на сегодняшний день нет одной утвержденной методики определения выбросов автотранспортными средствами (Российская газета, Столичный выпуск №11 (8362) от 21.01.2021 «Выбросы в неудобных положениях»), а все существующие (и по сути действующие) можно разделить на три группы, в зависимости от подхода к расчетному определению масс загрязняющих веществ в выбросах автотранспортных потоков. Первый подход связан с оценкой удельных пробеговых  $M_j^i$  (кг/(ч·км)) и узловых  $M_{y_j}^i$  (кг/ч) выбросов в зависимости от количества автотранспортных средств с разделением их на категории, с использованием аппроксимирующих зависимостей, отраженных на графиках и в таблицах. К недостаткам этого подхода можно отнести то, что в нем не учитываются индивидуальные качества автотранспортных средств, имеются ограничения по интенсивности, для которых приведены данные на графиках и в таблицах, а в ряде методик не учитываются еще и скоростные характеристики транспортных средств. В настоящее время данная методика практически всегда дает заниженные результаты выбросов загрязняющих веществ, она может быть применима лишь для прогнозных оценок состояния атмосферы.

При втором подходе используется методика определения пробеговых выбросов по основным загрязняющим веществам ( $CO$ ,  $NO_x$  и  $C_nH_m$ ), основанные на формулах с эмпирическими коэффициентами:

$$q_{расч}^i = \frac{A_i}{T_x} \cdot m \cdot G, \text{ г/км}, \quad (1)$$

где  $A_i$  – эмпирический коэффициент, определяющий выход  $i$ -того загрязняющего вещества в составе выхлопных газов на один грамм сгоревшего топлива ( $A^{CO} = 0,75$ ;  $A^{C_nH_m} = 0,16$ ;  $A^{NO_x} = 0,14$ );  $T_x$  – коэффициент, учитывающий возраст и техническое состояние двигателя ( $1 - 2$ );  $m$  – коэффициент, учитывающий зависимость полноты сгорания топлива от средней скорости движения;  $G$  – расход топлива, г/км;

$$G = 10 \cdot H_s \cdot (1 + 0,01 \cdot D) \cdot \rho, \text{ г/км}, \quad (2)$$

здесь  $H_s$  – базовая норма расхода топлива на пробег автомобиля, л/100 км;  $D$  – поправочный коэффициент (процентные добавки к нормативному расходу топлива, в зависимости от условий работы автотранспортных средств), %;  $\rho$  – плотность топлива, г/см<sup>3</sup> или т/м<sup>3</sup>.

Данный подход удобен тем, что привязывает выбросы загрязняющих веществ не только к маркам машин, но и к расходу топлива, который может определяться «по факту». А это является отражением состояния двигателя, дорог, скоростных характеристик и остальных факторов. Вместе с тем сами эмпирические коэффициенты, как показали экспериментальные оценки, проведенные в ходе работы, не соответствуют реальному состоянию автотранспортных средств и дают завышенные результаты, отличающихся от измеренных иногда на порядок. Это приводит к необходимости корректировки эмпирических коэффициентов. Последнее, особенно важно сейчас, поскольку для передвижных источников вводится экологический налог и «углеродный налог» стран ЕС, привязанные к расходу топлива автотранспортным средством.

Третий подход, это методика НИИ «Атмосфера» Санкт-Петербург, позволяющая рассчитывать удельные пробеговые выбросы  $q_{np_j}^i$ , г/км и узловые  $q_{уз_j}^i$  для данной группы машин, причем пробеговые выбросы определены для скорости 30 км/час. Для других скоростей вводится поправка  $n$ , (наименьшая при расчетной скорости – 60 км/час):

$$q_{np_j}^i = q_j^i \cdot n_v, \text{ г/км}. \quad (3)$$

Достоинства данной методики в том, что она основана на среднестатистических экспериментальных данных в городах России, недостатком – не позволяет связывать конкретный расход топлива с выбросами загрязняющих веществ. Предлагается объединить достоинства второго и третьего подхода: использование зависимости (1) с учетом экспериментальных данных методики 3. При этом зависимость (1) может быть переписана так:

$$q^i = Y^i \cdot G, \text{ г/км}. \quad (4)$$

При этом коэффициент  $Y_i$  определяется по пробеговым выбросам  $q_{np_j}^i$  с учетом коэффициентов  $n_v$ ,  $M$ ,  $T_x$  и  $A$ . В результате проведенного анализа было установлено, что зависимость коэффициента пропорциональности  $Y_i$  от

скорости движения, определенный расчетом, для каждой группы машин имеет линейный характер [5] с изломом при расчетной скорости  $V_{расч} = 60$  км/час:

$$Y^i = Y_o^i \pm \chi^i \cdot (V_{расч} - V), \quad (5)$$

где  $Y_o^i$  – экспериментальные значения коэффициента, при скорости 60 км/ч по методике НИИ «Атмосфера»;  $V_{расч}$  – скорость, равная 60 км/ч;  $\chi^i$  – величина, зависящая от скорости движения, ч/км, равная:

$$\chi^i = tg\gamma = \frac{\Delta Y_{cp}^i}{\Delta V}. \quad (6)$$

В формуле (5) знак перед  $\chi$  определяется скоростью движения, если  $V < 60$  км/ч, то «+», если  $V > 60$  км/ч, то «-». На основании формул (5) и (6) в зависимости от типа транспортных средств были получены коэффициент  $Y$  для различных загрязняющих веществ (таблица 1). Расчеты показывают, что по формуле (4) можно рассчитать не только пробеговые, но и узловые выбросы ( $V = 0$  м/с) с учетом доли времени в часах, когда светофор «закрыт». Например, распределенные узловые выбросы CO (на 1 км пути) для легковых карбюраторных автомобилей по методике НИИ «Атмосфера» составляют 31,5 г/км (при времени закрытия светофора 0,15 часа), а по разработанной методике – в среднем 33,42 г/км. Получаемые по разработанной методике величины пробеговых и узловых выбросов отличаются от экспериментальных данных, как правило, незначительно. Зная интенсивность движения на данной магистрали и дисперсию по часам в сутки или дням в году, узловые и пробеговые выбросы можно пересчитать на валовые суточные или годовые выбросы.

Таблица 1 – Значения коэффициентов  $Y_o$  и  $\chi$  для различных загрязняющих веществ в зависимости от типа двигателя

Тип двигателя	Вещество	$Y_o$	$\chi$	
			$V < 60$ км/ч	$V > 60$ км/ч
Карбюраторный двигатель	CO	0,079	0,00595	0,003
	NO <sub>x</sub>	0,034	0,0026	0,00115
	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	0,068	0,0051	0,002
	SO <sub>2</sub>	0,00218	0,000171	0,0000795
	Сажа	0,0211	0,00158	0,0007
	Формальдегид	0,00022	0,0000167	0,000007
	Бенз(а)пирен	0,043·10 <sup>-6</sup>	0,00427·10 <sup>-6</sup>	0,000725·10 <sup>-6</sup>
Дизельный двигатель	CO	0,006	0,0005	0,0003
	NO <sub>x</sub>	0,036	0,0027	0,0012
	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	0,029	0,0022	0,00095
	Сажа	0,00211	0,000158	0,0000705
	SO <sub>2</sub>	0,00967	0,000725	0,000321
	Формальдегид	0,00191	0,000143	0,0000635
	Бенз(а)пирен	0,046·10 <sup>-6</sup>	0,0035·10 <sup>-6</sup>	0,00155·10 <sup>-6</sup>

Не менее существенен вклад транспортных потоков в шумовое загрязнение окружающей среды. Обследования, проведенные на селитебных территориях города, расположенных вблизи транспортных магистралей, показывают превышение на 15 – 20 дБА над нормами [2 – 4], что оказывает негативное влияние на нервную и сердечно-сосудистую системы большей части населения города. К тому же транспортная вибрация ухудшает состояние памятников истории и культуры в большинстве городов РФ. Сплошное асфальтобетонное покрытие проезжей части и тротуаров при отсутствии разделительных полос и газонов передает вибрационные нагрузки на конструкции зданий и памятников.

Основными градостроительными мероприятиями по борьбе с транспортным шумом являются: организация санитарного разрыва между жилой застройкой и дорогой (что невыполнимо в исторически сложившихся центрах городов), установка акустических экранов, применение шумозащитного остекления. В качестве акустического экрана предлагается использовать зеленые насаждения, которые, кроме того, являются естественными поглотителями воды, CO<sub>2</sub> и токсичных выбросов транспорта. Зеленые насаждения не только снабжают жителей городов кислородом и поглощают углекислоту, но и благотворно влияют на микроклимат. Зеленые насаждения, особенно бесгашишная конопля, очищают атмосферу от пыли и CO, сводят его концентрацию к естественной (~0,00001%), снижают температуру воздуха и скорость ветра, стабилизируют относительную влажность воздуха. Следовательно, можно локализовать и поглотить «дорожно-транспортный вред», если «оградить дороги» специальной посадкой деревьев и кустарников. Акустические экраны из зеленых насаждений выполняется с помощью сплошного озеленения обочины дорог из комбинаций «вечнозеленых и сезонных» видов. Это также позволяет упорядочить переход улиц пешеходами и организовать остановки автотранспорта в установленных местах. Рекомендуется «вечнозеленый» ряд деревьев сажать вместе с хмелем или кустарником (это делается для защиты

стволов деревьев, т.к. кора портится под воздействием загрязнителей, и деревья пропадают). Для движения автотранспорта аварийных служб (милиции, пожарных, скорой медицинской помощи) выделяется отдельная полоса. Полосы движения целесообразно разделять так, чтобы обеспечить защиту дорожного покрытия кронами деревьев от солнечных лучей и осадков, что снижает термо-фотодеструкцию дорог и увеличивает их долговечность, а также снижает конвективные потоки от покрытий, повышающие турбулентность атмосферы и ухудшающие климат (рис. 1).

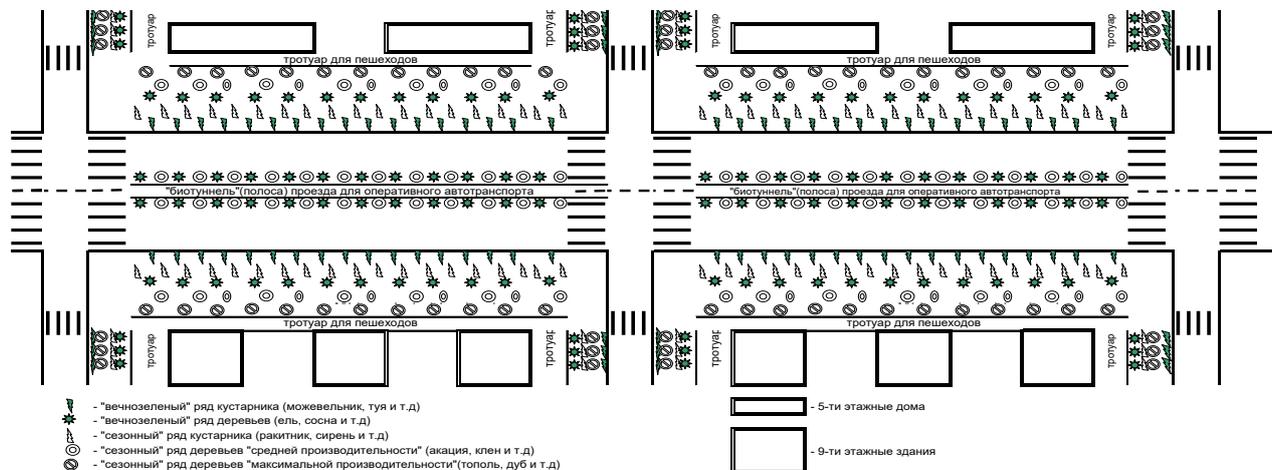


Рис. 1 – Модель городской биоархитектуры

«Сердцем» современной инфраструктуры является транспорт, который на всем протяжении своего жизненного цикла оказывает негативное влияние на все компоненты биосферы. Сложность в изучении этих влияний заключается в том, что они воздействуют на человека и биосистемы опосредовано и имеют пролонгированный эффект. Для разработки механизмов снижения этих воздействий необходим комплексный подход к проблеме загрязнения городов автотранспортом, начиная с выявления преобладающего загрязнителя и заканчивая разработкой конкретных мероприятий по улучшению микроклимата мегаполисов. При этом надо учитывать, что затраты на реализацию мероприятий по оздоровлению окружающей среды окупятся за счет сокращения материальных потерь, связанных со здоровьем граждан. Полученная методика позволяет определять пробеговые и узловые выбросы загрязняющих веществ автотранспортом на основе фактического расхода топлива, зависящего и от технического состояния автомобиля, и от состояния дорожного полотна, и от других факторов. Предложенная модель городской биоархитектуры позволяет решить ряд вопросов:

- создать биоакустический экран, препятствующий распространению загрязняющих веществ и пыли от транспортной магистрали на селитебную территорию, при этом часть выбросов загрязняющих веществ обезвреживаются растениями;
- защитить жилую застройку от шума транспортной магистрали;
- создать полосу проезда для экстренных служб, что является немаловажной проблемой современных городов с постоянными «пробками» на дорогах;
- повысить коэффициент зеленых насаждений в городских агломерациях;
- улучшить климатические показатели и эстетический вид городской среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Finochenko, T.* Modern measurement systems in the system of environmental monitoring / A. Borisova, V. Finochenko, T. Finochenko – Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2017, 15(4), стр. 94–98.
2. *Гарин, В.М.* Шумовое загрязнение – угроза экологической безопасности городов / В.М. Гарин, Л.В. Громова, Т.А. Родионова, С.А. Манаков. – В сб.: Актуальные проблемы государственной безопасности Российской Федерации. Росжелдор, ГОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (РГУПС). 2008. С. 236-239
3. *Гребенкина, В.* Воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду. / Вестник КИГИТ. 2011. № 3 (16). С. 12-14.
4. *Наливкина, Е.В.* Звукоизоляция прозрачными экранами. / В сб.: Транспорт: наука, образование, производство. Сб. науч. тр. Международной науч.-практ. конференции. РГУПС, Ростов-на-Дону, 2017. С. 411-415.
5. *Громова, Л.В.* Об определении выбросов автотранспортных средств. / В.М. Гарин, Л.В. Громова – Мат. 10-ой Всероссийской научно-практической конференции. Ростов-на-Дону-Новочеркасск-Туапсе, 2005.

# НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

## SCIENTIFIC BASIS OF ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF URBANIZED TERRITORIES

***Е. В. Котлярова***

***E.V. Kotlyarova***

*Донской государственный технический университет  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация  
ekkot.arch@gmail.com*

*Don State Technical University  
Rostov-on-Don, Russian Federation  
ekkot.arch@gmail.com*

Проблема негативных воздействий различного характера на окружающую среду застроенных территорий от функционирования объектов капитального строительства и городского хозяйства в настоящее время является особенно актуальной. Для ее решения на первом этапе исследования было выполнено изучение существующих научных подходов к оценке состояния окружающей среды и выбор научной основы для последующих исследований. Совершенствование существующей научной базы с целью минимизации недостатков имеющихся подходов способно снизить риск для общества от возрастания антропогенных нагрузок на окружающую среду и приблизить достижение глобальной цели в области устойчивого развития городских территорий.

The problem of negative environmental impacts of various types on the environment of built-up territories from the operation of capital construction and urban facilities is currently especially urgent. To solve this problem, at the first stage of the study, a study was made of existing scientific approaches to assessing the state of the environment and the choice of a scientific basis for subsequent studies. Improving the existing scientific base in order to minimize the shortcomings of the available approaches can reduce the risk for society from the increase in anthropogenic pressure on the environment and bring closer the achievement of the global goal in the field of sustainable development of urban areas.

*Ключевые слова:* экологическая безопасность, застроенные территории, городская среда, охрана окружающей среды, градостроительная экология.

*Keywords:* ecological safety, built-up territories, urban environment, environmental protection, urban planning ecology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-346-348>

Проектирование и строительство городов и поселений в соответствии с принципами устойчивого развития является актуальной тенденцией в градостроительстве. В настоящее время внимание профессионалов направлено на максимальное повышение качества городской среды в структуре уже существующих застроенных территорий, а не на освоение новых пространств обитания. Это связано, прежде всего, с тем, что экстенсивный путь развития крупных городов теряет стимулирующее значение, соответственно, интенсивное использование уже благоустроенных и освоенных территорий выходит на первый план [1].

Известно, что устойчивое развитие застроенных территорий возможно только при восприятии компонентов природной и природно-антропогенной среды как факторов структурной оптимизации открытых пространств при постоянном взаимодействии с другими видами городской инфраструктуры [2].

При этом, направления и методики, используемые в теории и практике для повышения качества городской среды, до сих пор остаются предметом множества научных споров и профессиональных дискуссий [3].

В настоящее время современный город претерпевает значительные инфраструктурные изменения, которые приводят к изменениям состояния окружающей среды. Значительное влияние на состояние окружающей среды оказывают не только транспортная инфраструктура и промышленные предприятия, но и объекты учебно-воспитательного назначения, здания социального обслуживания населения и здравоохранения, сервисного обслуживания, культурно-досуговой деятельности и временного пребывания. Связано это, прежде всего, с тем, что в сложившихся условиях все больше места занимают селитебные зоны, вытесняя промышленные. Действующие зоны размещения производственных объектов активно выносятся за черту города, но это не является долгосрочным решением проблемы ввиду роста и последующего объединения урбанизированных территорий в агломерации. В то же время заброшенные территории активно подвергаются восстановлению для последующего использования их в качестве объектов общественного назначения, что по-прежнему позволяет рассматривать их в качестве источников негативных воздействий на окружающую среду.

На основании ранее выполненных научных исследований в области экологической безопасности урбанизированных территорий [1-4] в настоящем научном исследовании нами предложены методические основы оценки уровня экологической безопасности динамично развивающейся городской среды по результатам систематизации ее параметров и характеристик.

При этом в качестве предмета исследований нами выбрана городская среда именно в процессе непрерывно происходящих в ней изменений. Эволюционность изменений городской среды или ее динамичное развитие, по нашему мнению, проявляется по трем основным направлениям: градостроительное – включающее функционально-планировочные мероприятия и зонирование территории; экологическое – отражающее изменения в состоянии природных и природно-антропогенных компонентов городской среды и социально-экономическое – показывающее трансформацию уровня комфортности исследуемой территории для проживания и работы граждан.

Проблема негативных воздействий различного характера на окружающую среду от функционирования объектов общественного назначения в настоящее время является особенно актуальной. Особое место среди таких объектов занимают торгово-развлекательные комплексы, представляющие собой уникальный симбиоз различных зон, что делает их объектами с обширным перечнем факторов, негативно влияющих на состояние окружающей среды. Для решения данной проблемы на первом этапе исследования было выполнено изучение существующих научных подходов к оценке состояния окружающей среды и выбор научной основы для последующих исследований [4].

Важным отличием динамично развивающейся городской среды от типичной урбанизированной территории является изучение ее в контексте постоянных изменений. Прежде всего, эти изменения происходят в градостроительном направлении, последовательно влияющем на социально-экономические и экологические аспекты развития территории. Соответственно меняющаяся инфраструктура города требует нового усовершенствованного подхода к оценке уровня экологической безопасности.

Выполненный анализ существующих научно-методических подходов к определению состояния окружающей среды на застроенных территориях при строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов капитального строительства, транспортной инфраструктуры и так далее позволяет выделить три основных составляющих оценки состояния окружающей городской среды в зоне их размещения [4]:

- определение экологических показателей, характеризующих величину воздействия загрязняющих факторов от функционирования различных объектов капитального строительства и городского хозяйства на окружающую среду;
- определение экономических показателей, в основе которых лежат стоимостные характеристики воздействия различных негативных факторов от функционирования различных объектов капитального строительства и городского хозяйства на окружающую городскую среду;
- определение социальных показателей, в основе которых находятся социально-демографические и медико-санитарные характеристики, свойственные рассматриваемой территории и непосредственно связанные с состоянием окружающей среды.

По результатам исследования группы экологических параметров необходимо рассматривать существующее состояние и делать прогноз качества состояния окружающей городской среды. Таким образом, задачей исследования первой группы параметров является формирование полей концентрации загрязняющих веществ и уровней воздействия физических полей на рассматриваемой урбанизированной территории.

Перечисленные во второй группе хозяйственно-экологические параметры позволяют выделить на исследуемой урбанизированной территории основные объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую городскую среду и население, а также предложить пути уменьшения такого воздействия.

В современных условиях обеспечения устойчивого развития и экологической безопасности городов необходим переход от защиты окружающей среды, ориентированной, в основном, на восстановление состояния окружающей городской среды после уже нанесенного ей ущерба, к рациональному природопользованию как системе устойчивых долговременных отношений населения с окружающей городской средой, ориентированной на превентивные мероприятия, нацеленные на предотвращение вероятного ущерба. Для этого нами определена группа экономических параметров, которые характеризуют экономическую деятельность объектов урбанизированной территории.

Параметры группы социальных параметров учитывают степень влияния уровня загрязнения окружающей городской среды на состояние здоровья населения, позволяют оценить состояние здоровья населения и тенденцию его изменения. При этом, условия жизнедеятельности населения позволяют ранжировать экологические и другие факторы по степени их влияния на здоровье населения, а также установить причинно-следственные связи между характером воздействия фактора и реакцией организма человека.

Таким образом, изучение теоретических основ оценки уровня экологической безопасности объектов городской среды позволяет заключить, что основные принципы формирования такой оценки должны базироваться на комплексном анализе и учете экологических, экономических и социальных характеристик.

В результате проведенных аналитических исследований нами выделены следующие научно-методические принципы формирования оценки уровня экологической безопасности объектов городской среды:

- принцип комплексного рассмотрения, основанный на применении комплексного подхода к описанию состояния компонентов окружающей городской среды;
- принцип взаимосвязанного рассмотрения величины антропогенного загрязнения и степени изменения состояния компонентов окружающей городской среды;

- принцип взаимосвязанного рассмотрения величины антропогенного загрязнения и состояния здоровья населения рассматриваемой урбанизированной территории;
- принцип учета критериев, описывающих заболеваемость населения, условия жизнедеятельности, комфортность и благоустроенность рассматриваемой урбанизированной территории;
- принцип учета мероприятий и соответствующих им затрат на обеспечение экологической безопасности рассматриваемой урбанизированной территории;
- принцип учета экономических факторов и характеристик рассматриваемой урбанизированной территории.

Для дальнейшего совершенствования методологии комплексной оценки уровня экологической безопасности городских территорий, а также для последующего выбора экологически эффективных и экономичных организационных, технических и специальных инженерно-экологических мероприятий по обеспечению экологической безопасности зон исследования в условиях урбанизации был проведен анализ предложенных подходов с выявлением положительных особенностей основных положений, выводов и зависимостей, сформулированных в имеющихся научных исследованиях [4-5]. Полученные результаты на выполненном этапе исследования могут быть положены в основу совершенствования существующей научной базы с целью минимизации недостатков имеющихся подходов.

По результатам выполненного этапа исследований можно сделать вывод, что достижение экологической безопасности крупных городов возможно только при совершенствовании существующей научно-методической базы в области предварительной оценки уровня воздействий на окружающую среду и подбора соответствующих мероприятий для его снижения. Это, в свою очередь, способно уменьшить риск для общества от возрастания антропогенных нагрузок на окружающую среду и приблизить достижение глобальной цели в области устойчивого развития урбанизированных территорий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Нефёдов В.А.* Как вернуть город людям. М.: Искусство-XXI век, 2015. – 160 с.
2. *Pacetti M., Passerini G.* The Sustainable City VII: Urban Regeneration and Sustainability. WIT Press, 2012. – 1312 p.
3. *Ледащцева Т.Н., Пинаев В.Е.* Обзор зарубежных публикаций по вопросам оценки современного состояния окружающей среды и оценки воздействия на окружающую среду // Наукoведение, 2017. № 1 (Том 9). – URL: [naukovedenie.ru/PDF/16EVN117.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/16EVN117.pdf).
4. *Беспалов В.И., Котлярова Е.В., Бондаренко А.С.* Научно-методические основы обеспечения экологической безопасности территорий в условиях урбанизации // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс], 2019. № 1. Код доступа: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/XXXX](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/XXXX)
5. *Bespalov V., Kotlyarova E.* Features of environmental factors to ensure the environmental safety of urban planning complexes // E3S Web of Conferences, 2019. P. 00060.

## ВЛИЯНИЕ ДИОКСИДА СЕРЫ НА ПРИЗЕМНЫЙ ОЗОН В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ INFLUENCE OF SULFUR DIOXIDE ON SURFACE OZONE IN CITIES OF BELARUS

**А. М. Людчик<sup>1</sup>, Е. А. Мельник<sup>2</sup>, П. Н. Павленко<sup>3</sup>,  
A. M. Liudchik, E. A. Melnik, P. N. Paulenka**

<sup>1</sup>*Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы  
Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Республика Беларусь  
liudchikam@tut.by*

<sup>2</sup>*Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения  
и мониторингу окружающей среды,  
г. Минск, Республика Беларусь  
kbb@rad.org.by*

<sup>3</sup>*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
pavlenko\_pn@mail.ru*

*National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus  
Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination  
and Environmental Monitoring, Minsk, Republic of Belarus  
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

Приведены сведения о роли диоксида серы в формировании наблюдаемой в городах Беларуси концентрации приземного озона. Задача решалась посредством построения уравнения регрессии, аппроксимирующего зависимость концентрации приземного озона от метеорологических условий и прекурсоров озона.

Присутствие диоксида серы в городском воздухе приводит к снижению концентрации приземного озона за счет связывания диоксида азота. Именно фотолиз последнего является источником атомарного кислорода и последующей генерации озона.

Information on the role of sulfur dioxide in the formation of the concentration of ground-level ozone observed in the cities of Belarus is presented. The problem was solved by constructing a regression equation approximating the dependence of the concentration of ground-level ozone on meteorological conditions and ozone precursors. The presence of sulfur dioxide in urban air leads to a decrease in the concentration of ground-level ozone due to the binding of nitrogen dioxide. It is the photolysis of the latter that is the source of atomic oxygen and the subsequent generation of ozone.

*Ключевые слова:* диоксид серы, приземный озон, уравнение регрессии, диоксид азота, метеорологические условия.

*Keywords:* sulfur dioxide, ground-level ozone, regression equation, nitrogen dioxide, meteorological conditions.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-348-352>

В [1] с использованием наблюдений в областных городах на пунктах мониторинга атмосферного воздуха Белгидромета, наблюдений на метеорологических станциях и расчетов была определена приближенная зависимость концентрации приземного озона от метеорологических условий и антропогенных загрязнителей воздуха: CO, NO, NO<sub>2</sub>, летучих органических соединений (ЛОС) – бензола, толуола, ксилола. Задача решалась посредством нахождения коэффициентов уравнения линейной регрессии, аппроксимирующей названную зависимость. Результаты позволяют «объяснить» более 60% дисперсии флуктуаций измеренных концентраций озона.

Перечисленные выше загрязнители воздуха не исчерпывают список влияющих на озон веществ. Помимо них следует учитывать такие антропогенные загрязнители, как диоксид серы, формальдегид, метан, другие летучие органические соединения. В воздухе также присутствуют и загрязнители естественного происхождения. Из сказанного следует вывод, что полученная зависимость не совершенна и может быть уточнена за счет расширения списка учитываемых веществ.

Система мониторинга атмосферного воздуха в городах Беларуси развивается, и расширяется список определяемых загрязняющих веществ. В частности, становятся доступными результаты измерений концентраций твердых частиц и диоксида серы. Названные загрязнители также участвуют в процессах образования и разрушения озона в приземном слое атмосферы и должны быть включены в список объясняющих переменных уравнения регрессии.

Можно ожидать, что диоксид серы, восстановитель, содержащийся в городском воздухе, будет реагировать с окислительной атмосферой, создаваемой фотохимическим смогом. Однако он не вступает в непосредственную реакцию ни с озоном, ни с диоксидом азота в воздухе, хотя эти реакции могут происходить в растворе или на поверхностях. В то же время диоксид серы реагирует с другими, менее четко идентифицированными окислителями, которые синтезируются в процессе фотохимического образования смога. Один из механизмов включает реакцию SO<sub>2</sub> с NO<sub>3</sub> (или N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - соединением, образующемся в результате реакции NO<sub>2</sub> с O<sub>3</sub>). Взаимодействие SO<sub>2</sub> с фотохимическим смогом исследовали в лабораторных условиях [2]. Анализ показал, что эффективность влияния SO<sub>2</sub> на озон зависит от концентраций водяного пара, исходного диоксида азота и диоксида серы. Эффект также зависит от типа углеводорода, присутствующего в анализируемой смеси газов. Во всех исследованных случаях максимальная концентрация NO<sub>2</sub> оказывалась ниже при наличии SO<sub>2</sub>. Иными словами, в присутствии диоксида серы возможности генерации озона за счет солнечного излучения уменьшаются вследствие уменьшения концентрации потенциального источника атомарного кислорода – диоксида азота.

В других публикациях описаны случаи как генерации озона в присутствии диоксида серы, так и его уничтожения в зависимости от условий. В частности, в [3] определенно подчеркивается положительная корреляция SO<sub>2</sub> с озоном: «SO<sub>2</sub> является 3-м наиболее важным фактором, участвующим в процессах образования O<sub>3</sub>, однако ранее основное внимание уделялось влиянию ЛОС, и роль этого загрязнителя игнорировалась».

Твердые частицы, присутствующие в воздухе, ослабляют уровень солнечной радиации и тем самым снижают эффективность фотолиза у поверхности земли, приводящего к генерации приземного озона. К тому же возможны различные гетерогенные химические реакции на поверхности этих частиц, приводящие в конечном итоге к генерации или разрушению озона. Результирующий эффект зависит от состава и концентрации частиц, а также от концентраций других малых составляющих приземной атмосферы.

Для проведения расчетов коэффициентов регрессии были отобраны около 48 000 усредненных около метеорологических сроков результатов измерений во всех областных городах Беларуси. Помимо метеорологических параметров измерения включали данные о концентрациях приземного озона, оксида углерода, оксида и диоксида азота, диоксида серы, летучих органических соединений (суммарной концентрации бензола, толуола и ксилола) и среднесуточной концентрации твердых частиц в приземном слое воздуха.

Сначала расчеты проводились без учета переменных, связанных с твердыми частицами и диоксидом серы. В этом случае объясненная дисперсия составила 55% от полной дисперсии концентрации приземного озона.

Затем в список объясняющих переменных были включены дополнительно концентрации SO<sub>2</sub> и твердых частиц. Объясненная дисперсия увеличилась до 58 %. Возможно, это не слишком существенное улучшение

качества расчетов, однако оно действительно заметно и подтверждается приводимым ниже рисунком, на котором сравниваются результаты измерений в Гомеле с расчетами по двум названным схемам.

Коэффициент корреляции SO<sub>2</sub> с озоном оказался равным -0.1. Это довольно высокое значение, судя по таблице 1. В таблице приведены коэффициенты корреляции с измеренной концентрацией приземного озона основных объясняющих переменных, входящих в уравнение регрессии, для которых коэффициенты корреляции превышают 0.05 по абсолютной величине. Корреляция твердых частиц с озоном также отрицательна, однако в 2 раза слабее.

*Таблица 1 – Коэффициенты корреляции с концентрацией приземного озона основных объясняющих переменных уравнения регрессии*

Температура воздуха	0.15
Солнечная радиация	0.08
Скорость ветра	0.19
Концентрация CO	-0.17
Концентрация NO <sub>2</sub>	-0.37
Концентрация NO	-0.36
Концентрация ЛОС	-0.20
Концентрация SO <sub>2</sub>	-0.10
Частицы	-0.05

Отрицательные коэффициенты корреляции диоксида серы, как, впрочем, и других определяемых в городах Беларуси загрязняющих воздух веществ, свидетельствуют о том, что в настоящее время антропогенное загрязнение в Беларуси приводит к снижению концентрации приземного озона и не достигло тех уровней, когда происходит его генерация.

Анализ взаимной корреляции концентраций диоксида серы и твердых частиц с другими объясняющими переменными позволяет судить о возможных общих источниках загрязнителей (таблица 2).

Наибольшие по абсолютной величине значения коэффициента корреляции диоксида серы (причем отрицательные) наблюдаются с диоксидом азота и летучими органическими соединениями. Возможно, это является свидетельством справедливости упомянутого ранее механизма взаимодействия диоксида серы с диоксидом азота и ЛОС. Большое положительное значение имеет коэффициент корреляции диоксида серы со скоростью ветра, что может служить доказательством его поступления в городской воздух из других регионов. Заметные положительные коэффициенты корреляции твердых частиц получены для солнечной радиации, оксидов углерода и азота, отрицательные – для скорости ветра и вертикальной устойчивости атмосферы. Интерпретировать эти данные, наверное, преждевременно, поскольку в дальнейшем они будут перепроверяться и уточняться.

*Таблица 2 – Коэффициенты взаимной корреляции диоксида серы и твердых частиц с другими объясняющими переменными*

Переменная	Концентрация SO <sub>2</sub>	Концентрация частиц
Температура воздуха	-0.02	0.09
Влажность	-0.01	0.02
Солнечная радиация	-0.04	0.12
Скорость ветра	0.22	-0.09
Вертикальная устойчивость атмосферы	0.01	-0.22
Концентрация CO	0.02	0.15
Концентрация NO <sub>2</sub>	-0.24	0.21
Концентрация NO	-0.03	0.15
Концентрация ЛОС	-0.18	0.11

В связи со сказанным уместно упомянуть результаты некоторых работ, в которых исследовалось влияние диоксида серы на приземный озон. В них фиксируются весьма противоречивые данные о поведении суточного хода диоксида серы. В частности, в [4] отмечается, что концентрации SO<sub>2</sub> в выходные и будние дни были практически одинаковыми на всех участках отбора проб, хотя концентрации других антропогенных загрязнителей заметно снижались в выходные дни. Концентрации SO<sub>2</sub> увеличивались с высотой из-за выбросов дымовых газов. Это вполне согласуется с некоторыми наблюдениями в Беларуси, когда интенсификация вертикального перемешивания заметно снижала концентрации практически всех антропогенных загрязнителей в приземном воздухе, однако это не касалось диоксида серы. В иных публикациях иногда отмечается сходство суточного хода диоксида серы с ходом концентраций других антропогенных загрязнителей воздуха, а иногда – существенные различия.

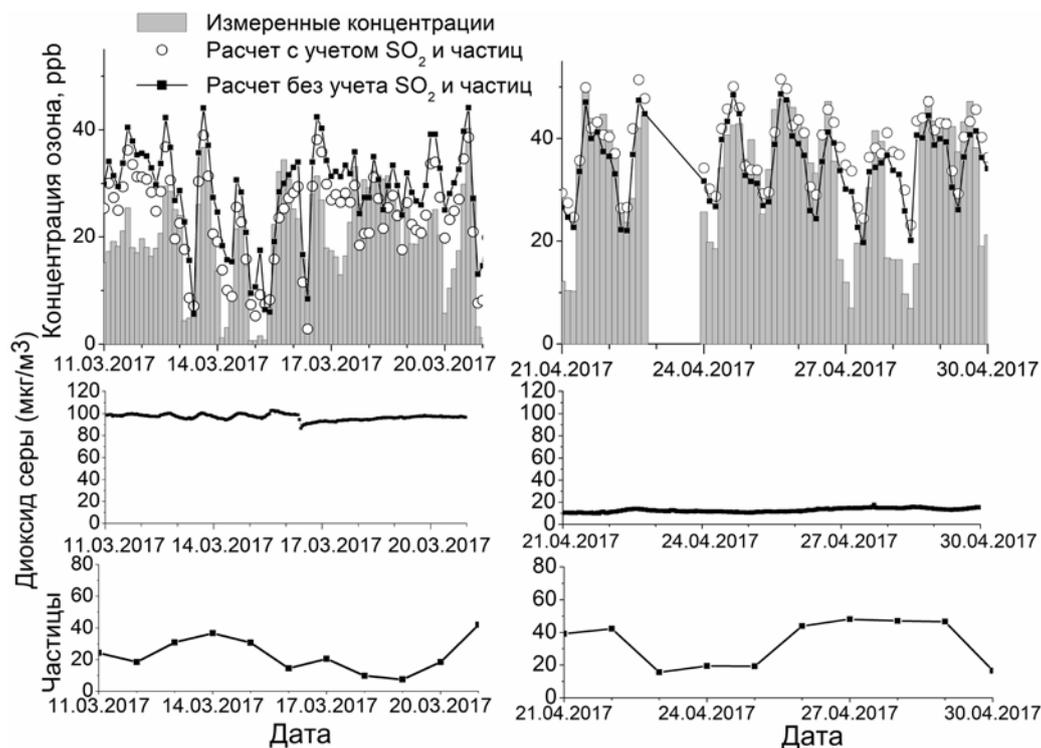


Рис. 1. Результаты наблюдений за приземным озоном в г. Гомель в марте и апреле 2017 г. и их сравнение с расчетами по уравнению регрессии без учета и с учетом диоксида серы и твердых частиц. Приведены также данные о концентрациях диоксида серы и твердых частиц в эти периоды времени

Как видно из рис. 1, в Беларуси выраженный суточный ход концентрации диоксида серы практически отсутствует в отличие от четко ранее установленных утренних и вечерних пиков концентраций других антропогенных загрязнителей. Очевидно существующий суточный ход концентрации твердых частиц в данной публикации не обсуждается, поскольку в настоящее время Белгидромет предоставляет только их среднесуточные концентрации.

Влияние дополнительно учтенных переменных на концентрацию приземного озона зависит, во-первых, от «силы» конкретного загрязнителя, во-вторых, от его концентрации в воздухе. Первый аспект проблемы оценен посредством расчета коэффициентов корреляции загрязнителей с озоном. Оказалось, что диоксид серы весьма сильно отрицательно коррелирует с озоном. Концентрация твердых частиц в приземном слое атмосферы также отрицательно коррелирует с озоном, однако, в два раза слабее. Иными словами, присутствие в воздухе названных загрязнителей уменьшает концентрацию приземного озона. Наиболее ярко такое уменьшение проявляется в случае высоких концентраций диоксида серы и твердых частиц. Тем не менее, обнаружить эффект влияния на концентрацию озона запыленности воздуха не удалось, хотя тщательно анализировался случай сильного аэрозольного загрязнения в апреле 2019 г. [5], а рассчитанные коэффициенты корреляции свидетельствуют о заметном отрицательном влиянии.

В качестве примера, демонстрирующего заметную роль диоксида серы в формировании наблюдаемой концентрации приземного озона, рассмотрим ситуацию в марте и апреле 2017 года в г. Гомель (пункт наблюдений № 14, расположенный в районе ул. Барыкина, 319). Результаты наблюдений представлены на рис. 1. В марте концентрация диоксида серы была довольно высокой, и это с учетом ее и твердых частиц в уравнении регрессии проявилось в заметном снижении рассчитанных концентраций озона и улучшении соответствия расчета наблюдениям. В апреле месяце зафиксированы очень низкие концентрации диоксида серы. В результате рассчитанные по уравнению регрессии с учетом диоксида серы и частиц концентрации приземного озона увеличились, и соответствие с наблюдениями также улучшилось. Концентрации твердых частиц в рассмотренные периоды существенно не различались, поэтому эффект от учета такой переменной в уравнении регрессии следует искать дополнительно.

Представленные на рисунке результаты расчетов, дополненные учетом диоксида серы и твердых частиц, не устраняют полностью различие между расчетными и измеренными концентрациями озона. Это свидетельствует о недостатках использованной методики, неполном учете всех прекурсоров озона или несовершенстве системы мониторинга атмосферного воздуха. По всем названным проблемам ведутся исследования с целью их устранения или минимизации их роли.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Божкова В.В. Флуктуации поля приземного озона в Беларуси, обусловленные метеорологическими условиями и антропогенным загрязнением воздуха /В. В. Божкова, А. М. Людчик, Е. А. Мельник // Природные ресурсы. – 2020. – № 1. – С. 81 – 90.

2. *Wilson Wm. E., Jr.* A Study of Sulfur Dioxide in Photochemical Smog / Wm. E. Wilson Jr., Arthur Levy, and D.B. Wimmer // Journal of the Air Pollution Control Association. – 1972. – Vol. 22. – No 1. – P. 27-32. DOI: 10.1080/00 022470.1972.10469605.

3. *Marathe S.A.* Multiple Regression Analysis of Ground level Ozone and its Precursor Pollutants in Coastal Mega City of Mumbai, India / S. A. Marathe, S. Murthy, N. Gosawi, and M. Herlekar // MOJ Eco Environ Sci. – 2017. – Vol. 2. – No 6: 00041. DOI: 10.15406/mojes.2017.02.00041.

4. *Anadolu O. O. U.* Atmospheric Concentrations of Inorganic Pollutants (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and Ozone) in Eskisehir: Spatial and Vertical Variations, Weekday-Weekend Differences / O. O. U. Anadolu // University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering. – 2018. – Vol. 19. No 2. – P. 523 – 535. DOI: 10.18038/aubtda.376520.

5. *Божкова В. В.* Причины «странного» поведения приземного озона в апреле 2019 г. / В.В. Божкова и [др]// Природные ресурсы. – 2021. – № 2. – С. 94 – 103.

## ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ENVIRONMENTAL CLEANING MEASURES SURFACE FLOW FROM URBANIZED AREAS

***М. М. Мадани***

***M. Madani***

*Одесская национальная академия пищевых технологий ОНАПТ  
г. Одесса, Украина*

*Odessa National Academy of Food Technology ONAFT,  
Odessa, Ukraine*

*madanikader50@gmail.com*

В статье предлагается совершенствование методов обеспечения экологической безопасности окружающей среды при очистке поверхностного стока с урбанизированных территорий. Проведен анализ влияния поверхностного стока с урбанизированных территорий на экологическую ситуацию в районе строительства очистных сооружений. Обосновано и экспериментально доказано для г. Одессы необходимость комплексного решения проблемы очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий с учетом данных формирования, загрязнения и особенностей дождевых и талых вод.

The article proposes the improvement of methods for ensuring the ecological safety of the environment when cleaning surface runoff from urbanized areas. The analysis of the influence of surface runoff from urbanized areas on the ecological situation in the area of construction of treatment facilities has been carried out. Justified and experimentally proved for the city of Odessa the need for a comprehensive solution to the problem of cleaning surface runoff from urbanized areas, taking into account the data on the formation, pollution and characteristics of rain and melt waters.

*Ключевые слова:* поверхностный сток, дождевые и талые воды, урбанизированная территория.

*Keywords:* surface runoff, rain and melt water, urbanized area.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-352-355>

**Введение.** Среди факторов, которые негативно влияют на состояние урбанизированных территорий и окружающей среды является загрязненный поверхностный сток. В задачи исследований входило охарактеризовать влияние поверхностного стока с урбанизированной территории на окружающую среду и разработать природоохранные мероприятия по его обезвреживанию (на примере г. Одесса).

На сегодня водотоки г. Одессы преобразованы в объекты преимущественно дождевого питания, поэтому качество их вод в значительной степени зависит от качественного состава поверхностного стока, который в достаточной мере не исследован, изменчивый, и при отсутствии его очистки впоследствии может привести к заиливанию и загрязнению водных экосистем. [1]

Экологическая безопасность городских территорий может быть достигнута лишь при комплексном решении проблемы: от анализа закономерностей образования и загрязнения поверхностного стока к разработке на этой основе комплексных технологических систем его очистки.

Первоочередной задачей было установление закономерностей динамики формирования поверхностного стока для г. Одессы за долгосрочный период (1920-2020 гг.), по данным геофизической обсерватории. Изменение расходов осадков по месяцам, сезонам, годам и периодам представлено в табл. 1.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- происходит постоянный рост среднего количества осадков за год на 8, 1% (от 582,6 до 629,7 мм);
- разница между максимальным и минимальным количеством осадков за период 1920-2020 гг. сократилась на 57% (с 447,1 до 210,8 мм);
- среднегодовое количество осадков превышало регламентированную СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика» [2] по разным периодам и градациям на 15,6-37,9%;
- фиксируется постоянный рост количества осадков по сезонам лето и осень, за лето выпало в среднем до 34,7% количества осадков за год (мм);

- определены 5 основных типов хода осадков для Одессы по положению периода максимальной интенсивности: к I типу отнесены дожди с максимумом интенсивности в начале или в первой трети осадков (их количество составляет 23% общего количества дождей); дожди II типа - с равномерной интенсивностью (7% общего количества дождей); к III типу отнесены дожди с максимумом интенсивности в конце дождя (17%); к IV типу отнесены дожди с максимумом интенсивности внутри всего периода выпадения (35%); к V типу отнесены дожди с двумя максимумами интенсивности - в начале и в конце выпадения (18%).

- установленные закономерности изменения количества осадков должны учитываться при расчетах объемов накопителей при очистке поверхностного стока г. Одессы и дают возможность рекомендовать разработчикам нормативных документов внести изменения в формулы по определению объема поверхностного стока, который стекает с поверхности водосборных территорий городов.

Следующим этапом комплексного решения проблемы обезвреживания поверхностного стока стало исследование загрязненности в разных районах г. Одессы (статистически обработаны 282 пробы). Проанализированы показатели качества воды 69 водовыпусков неочищенного поверхностного стока (дождевых и талых вод) в Черное море г. Одессы в 10 районах по 2018 г. (92 пробы) и 2020 г. (126 проб). Все пробы отбирались во время выпадения осадков или снеготаяния, поэтому практически невозможным является осуществление отбора пробы наиболее загрязненной порции дождя водовыпуска, которая, как правило, наблюдается в начальный момент поступления стока. Максимальные концентрации загрязняющих веществ в отобранных пробах в 2018 году составили мг/л: взвешенные вещества - 37,2, нефтепродукты - 0,42, ХПК - 44,2; в 2020 году: взвешенные вещества - 39,3, нефтепродукты - 0,734, ХПК - 68,0. Были проанализированы загрязненность дождевого (141 проба) и талого (77 проб) стока. Установлено, что загрязненность дождевого и талого стока существенно не отличается, за исключением концентрации хлоридов, которая в талом стоке в среднем в 2,9 раза выше, чем в дождевом (103,3 мг/л против 36,0 мг/л). Это объясняется обработкой дорог в зимний период соляными смесями.

Анализ качества загрязненного поверхностного стока, который поступает на существующие очистные сооружения в г. Одесса (63 пробы), показал, что максимальные концентрации загрязняющих веществ составили: взвешенные вещества - 958,4 мг/л, ХПК - 85,36 мгО<sub>2</sub>/л, нефтепродукты - 3,42 мг/л.

Установлено, что концентрации загрязняющих веществ в поверхностном стоке, регламентированы ДСТУ 3013-95 «Гидросфера. Правила контроля за отводом дождевых и снежных сточных вод с территории городов и промышленных предприятий» [3], значительно превышены и требуют уточнения в сторону уменьшения для г. Одессы.

Проанализировано, что для городов Украины, и в частности г. Одессы, наиболее рациональным является использование децентрализованной распределительной системы отвода и очистки поверхностного стока для отдельных бассейнов водосбора, что позволит избежать использования многих насосных станций и оборудования, уменьшить энергоёмкость, сократить длину канализационных сетей, что будет способствовать их меньшему засорению.

Анализ существующих технологий очистки поверхностного стока показал, что существует необходимость в разработке комплексных технологических схем его очистки, поскольку существующие схемы характеризуются существенными недостатками:

- использование безреагентного длительного отстаивания требует значительных свободных площадей, которые в условиях большого города практически отсутствуют;
- внедрение схем, предусматривающих использование сорбентов для объектов большой мощности резко увеличивает стоимость обработки и должно быть экономически и экологически обоснованно, поскольку производство и регенерация сорбентов могут потребовать значительных затрат, в том числе на утилизацию отработанного материала;
- экологически нецелесообразным является использование фильтров, требующих промывки специальными реагентами.

Учитывая проведенный анализ, для очистки поверхностного стока предложено 2 типа очистных сооружений, определяющим критерием выбора каждого выступает расход загрязненных вод.

Определяющими факторами для классификации сооружений на типы в зависимости от мощности стали:

- обеспечение экологически безопасного состояния окружающей среды в районе эксплуатации сооружений очистки поверхностного стока;
- потребность в земельных ресурсах, выступает одним из главных факторов в условиях ценности и наличия свободных площадей в городских районах;
- капитальные затраты на строительство сооружений и оборудования;
- эксплуатационные затраты, включающие стоимость обслуживания, реагентов и утилизацию осадков.

Таблица 1 – Характеристика осадков в городе Одесса за период 1920 – 2020 года

Показатели	Периоды				
	1920 -1945	1946 -1970	1971-1995	1996-2020	1920-2020
Минимальное количество осадков за год, мм	404,6 (1921 г.)	416,9 (1974 г.)	395,6 (1983 г.)	537,1 (1995 г.)	395,6 (1983 г.)
Максимальное количество осадков за год, мм	851,7 (1933 г.)	924,9 (1970 г.)	902,4 (1980 г.)	747,9 (2004 г.)	924,9 (1970 г.)
Среднее количество осадков за год, мм	582,6	621,1	622,1	629,7	609,9
в т. ч. за теплый период (апрель-октябрь), мм/% сер. за год	393,0 / 67,5	409,7 / 66	394,6 / 63,4	425,6 / 67,6	403,7 / 66,2
	-	1946–1970	1971–1995	1996–2020	1946–2020
Среднее количество суток с осадками за год	-	166	157	150	158
в т. ч. за теплый период (апрель-октябрь), мм/% сер. за год	-	85 / 51,2	79 / 50,3	80 / 53,3	81 / 51,3
Количество осадков, мм/год	Количество случаев (кроме 1937, 1941, 1943, 1981, 1991 годов)				
до 450	6	2	3	-	11
450 – 500	6	3	3	-	12
500 – 550	10	1	7	2	20
550 – 600	4	6	2	8	20
600 – 650	8	4	2	7	21
650 – 700	4	5	2	8	19
700 – 750	3	2	5	2	12
750 – 800	1	1	1	-	3
800 – 850	2	-	1	-	3
850 – 900	1	1	2	-	4
больше 900	-	1	1	-	2
до 685	38	21	18	21	98
больше 685	7	5	11	6	29
	Количество осадков за месяцами, сезонами, периодами				
Зима, в т. ч.	108,7	120,3	136,1	117,5	119,1
Декабрь	43,6	43,2	49,0	41,5	44,2
Январь	32,9	38,7	44,3	38,2	37,8
Февраль	32,2	38,4	42,8	37,8	37,1
Весна, в т. ч.	136,3	156,2	123,8	144,0	139,6
Март	40,9	41,0	36,8	37,9	39,4
Апрель	45,2	53,0	35,6	52,1	46,3
Май	50,2	62,2	51,4	54,0	53,9
Лето, в т. ч.	200,3	202,1	215,9	218,3	209,1
Июнь	74,1	69,1	62,9	81,0	72,0
Июль	71,0	68,5	77,0	73,8	73,5
Август	55,2	64,5	76,0	63,5	63,6
Осень, в т. ч.	137,4	142,5	143,6	146,9	142,0
Сентябрь	48,4	47,9	44,6	60,2	50,1
Октябрь	48,9	41,1	44,4	38,2	43,9
Ноябрь	40,1	53,5	54,6	48,5	48,0

Для объектов небольшой мощности (I тип сооружений) наиболее экономически целесообразным, по капитальным и эксплуатационным затратам, является строительство очистных сооружений углубленного типа с использованием колодцев и резервуаров. Именно такая схема разработана для территорий, загрязненных нефтепродуктами и взвешенными веществами (автозаправочные станции, станции технического обслуживания, паркинги автотранспорта).

При этом экономически нецелесообразным является внедрение очистных сооружений с использованием электрооборудования и тех, которые требуют присутствия обслуживающего персонала. Это обуславливает практическую невозможность избежать сорбционных методов очистки. Поскольку мощность очистных сооружений небольшая, экономически целесообразным является периодическая замена сорбционного материала и утилизация использованного. Технологическая схема сооружений I типа предусматривает:

1. Блок улавливания песка и грубодисперсных примесей, оснащен полупогруженной перегородкой и нефтеосорбционным боном с наполнителем из гранулированного сорбента и биопрепарата на основе торфа «Эконадин» для сорбции и биодеструкции плавающих нефтепродуктов и масел.

2. Нефте-сепараторы в составе седиментационного отстойника, коалицентной вставки для удаления нерастворимых веществ и эмульсированных нефтепродуктов (сорбируются на поверхности, плавающим боном) и сорбционного фильтра для удаления растворимых нефтепродуктов.

3. Сооружения доочистки воды (био-плато или биореактор), в зависимости от требований к качеству очищенных вод.

Преимуществом таких очистных сооружений является подземное исполнение, компактное размещение, сравнительно невысокая стоимость и обеспечение необходимой эффективности очистки.

Для объектов большой мощности (II тип сооружений) разработана новая современная технология, которая обеспечивает: высокую эффективность очистки; рациональное использование водных ресурсов путем внедрения повторного использования очищенных вод; образования минимального количества отходов, в частности осадка, возможность их утилизации; предупреждение загрязнения окружающей природной среды в случае аварийных ситуаций; минимизацию необходимой территории под строительство очистных сооружений.

Сооружения выполняются в виде канализационной насосной станции (КНС) со встроенным блоком очистки (ВБО), которая включает: аккумулирующий резервуар с нефтесорбционным боном; блоки предварительной механической (для удаления песка) и физико-химической очистки (для удаления примесей II и III групп дисперсности, нефтепродуктов в состоянии эмульсий), состоящие из гидроциклонов (или сепараторов песка) и установок «Флокфил» (в составе флотатора, отстойника, фильтра с модифицированной пенополистирольной загрузкой, аэробного стабилизатора осадка), а также блок механического обезвоживания осадка. При обосновании целесообразности для обеззараживания очищенных вод осуществляется использованием УФ-лампы. Доочистка вод осуществляется в био-плато.

По технологической схеме II типа сооружений можно осуществлять совместную очистку поверхностного стока и вод от мойки транспорта. Для этого рассчитывается 2 накопителя загрязненных вод: первый - для поверхностного стока, второй - для вод от мойки транспорта. Предполагается повторное использование очищенных вод для мойки транспорта, полива, пожаротушения и другое.

Сооружения предварительной очистки обеспечивают подготовку поверхностного стока к его доочистке от взвешенных веществ, растворенных органических веществ (нефтепродуктов), а также биогенных элементов, вызывающих эвтрофикацию водоемов. Доочистка дождевых и талых вод происходит в био-плато.

#### **Выводы:**

- установлено закономерности образования поверхностного стока и его загрязненность;
- предложено на этой основе комплексные технологические схемы очистки поверхностного стока в зависимости от его расходов и загрязнения;
- определяющими факторами при выборе технологических схем очистки являются: обеспечение экологически безопасного состояния окружающей среды в районе эксплуатации сооружений очистки поверхностного стока; уменьшение потребности в земельных ресурсах под строительство очистных сооружений; уменьшение капитальных и эксплуатационных затрат.

Конечной целью природоохранной деятельности является достижение состояния безопасного функционирования природных экосистем и урбоэкосистем.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Коцарь Е.М., Диренко А. А. Очистка загрязненных дождевых и талых вод // СОК (сантехника, отопление, кондиционирование). - 2005. - № 3(15). - С. 12-14.
2. СНиП 2.01.01-82. "Строительная климатология и геофизика". Госстрой СССР. – Москва: Стройиздат, 1983.
3. ДСТУ 3013-95. Гідросфера. Правила контролю за відведенням дощових і снігових стічних вод з територій міст і промислових підприємств. - К.: Держстандарт України, 1995. - 14 с.

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОПУЛЯЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ  
СИНАНТРОПНОГО СИЗОГО ГОЛУБЯ (COLUMBA LIVIA)  
В ОБЛАСТНЫХ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЦЕНТРАХ БЕЛАРУСИ**

**VARIABILITY OF POPULATION INDICATORS OF SYNANTHROPIC COMMON  
PIGEON IN MINSK AND REGIONAL ADMINISTRATIVE CENTERS OF BELARUS**

**И. М. Хандогий**

**I. M. Khandohiy**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
handogiy@mail.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В работе представлены данные об изменчивости некоторых популяционных параметров синантропного сизого голубя на урбанизированных территориях областных административных центров Республики Беларусь. Рассматриваются особенности окрасочного полиморфизма, пространственного распространения сизых голубей в зависимости от особенностей городской застройки и степени антропогенной нагрузки. Подтверждаются общие закономерности для популяций этого вида.

The data of population indicators variability of synanthropic common pigeon in urbanized territories of regional administrative centers of the Republic of Belarus is presented. Features of coloration polymorphism, spatial distribution of common pigeons, depending on the characteristics of urban development and the degree of anthropogenic load are considered. The general patterns for the populations of this species are confirmed.

*Ключевые слова:* сизый голубь, плотность, численность, пространственное распространение, окрасочный полиморфизм.

*Key words:* common pigeon, density, population, spatial distribution coloration polymorphism.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-356-358>

В связи с усложнением эпидемиологической обстановки в крупных городах, большое значение приобретает изучение экологии синантропных птиц. Обширность таких территорий, заселенных специфическими комплексами растительных и животных видов, дают основание для выделения урбандиапазона в самостоятельный антропогенный биотоп. В этих условиях синантропные птицы могут выступать в роли не только переносчиков зоонозов – заболеваний, передающихся от животных к человеку, но и сложных взаимоотношений с человеком, связанных с антисанитарией и другими проблемами [1]. По этой причине, одним из актуальных вопросов современной экологии является изучение процессов формирования устойчивых урбанизированных популяций птиц, проблем их синантропизации.

Материалом для настоящей работы послужили собственные исследования, проведенные нами в 2015 – 2021 гг. по экологии сизого голубя в г. Минске и областных центрах Республики Беларусь.

Установлено, что сизый голубь предпочитает определенный *тип городской застройки городов Беларуси*, что свидетельствует о количественном составе особей в популяциях, населяющих различные по этажности жилые здания городов разной населенности. В таких городах, как Жодино, Молодечно, Борисов, Фаниполь, Дзержинск, Столбцы и др. наблюдаются растущие или стабильно высокие по численности урбанизированные популяции синантропного сизого голубя в жилых кварталах домов, построенных в 50-90-х годах и кварталах стандартных домов (рисунок 1).

Во всех городах Республики Беларусь самые большие скопления голубей выявлены в спальных районах пятиэтажных домов, в разы меньше – в районах многоэтажной застройки и очень низкие – в частном секторе. Пространственное распространение сизых голубей не зависит от степени удаленности от центра к периферии и наоборот. На примере Минска такой закономерности не выявлено [2].

Установлены достоверные различия плотности населения синантропного сизого голубя, которые выявлены практически для всех городов Минской области (рисунок 2), коррелирующие с масштабами городской застройки. Чем больше площадь того или иного города, тем выше плотность населения голубей в этих населенных пунктах. Так, например, наибольшая средняя плотность населения сизых голубей характерна для г. Минска – 863 ос./км<sup>2</sup>, наименьшая – для городов Пуховичи и Воложин – 8 и 15 ос./км<sup>2</sup> соответственно ( $p < 0,001$ ). Промежуточное положение по этому показателю занимают гг. Дзержинск, Столбцы и Боровляны – 154, 147 и 104 ос./км<sup>2</sup> соответственно. Есть предположения, что увеличение плотности населения синантропных сизых голубей напрямую зависит, в первую очередь, от благоприятной и всесезонной кормовой базой крупных городов. Круглогодично в них име-

ется в наличии мусорные баки с пищевыми отходами, которые очень доступны для птиц. Однако, в зависимости от специфики инфраструктуры некоторых современных городов (Боровляны) выявленная закономерность может нарушаться из-за особенностей складирования и хранения пищевых отходов (баки для пищевых отходов размещены в специальных помещениях, закрытых со всех сторон) [2].

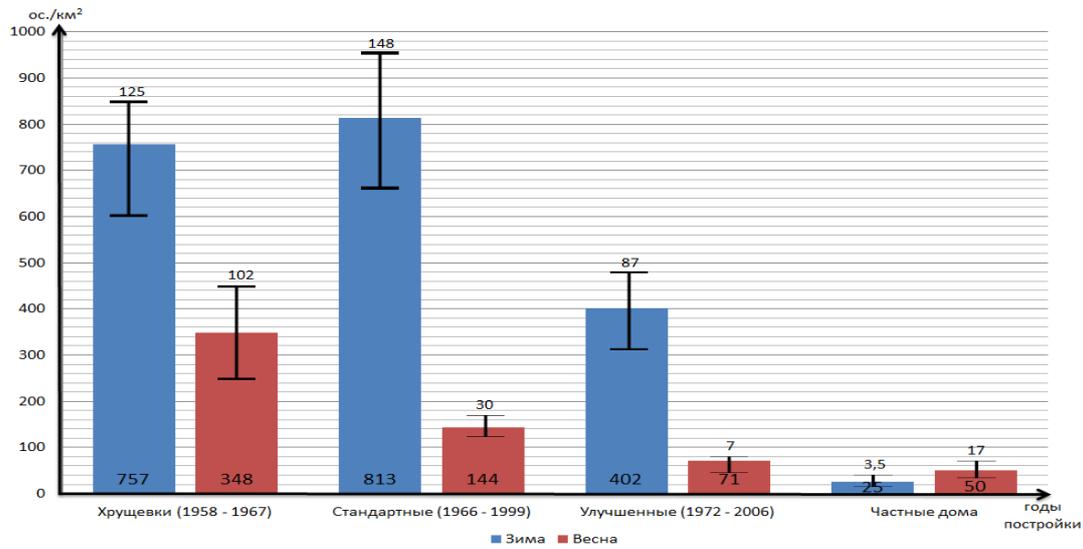


Рисунок 1 – Плотность населения синантропного сизого голубя в различных типах жилых кварталов городской застройки (на примерах окрестных городов Минска и областных центров Беларуси)

Проведя сравнительный анализ по окрасочному полиморфизму сизых голубей в Республике Беларусь, достоверно доказано, что во всех городах Беларуси абсолютно преобладают чеканные особи и имеет место увеличение встречаемости номинальной сизой морфы в периферийных районах как столицы. Аналогичная ситуация, как выяснилось, наблюдается в районных и областных городах (рисунок 3).

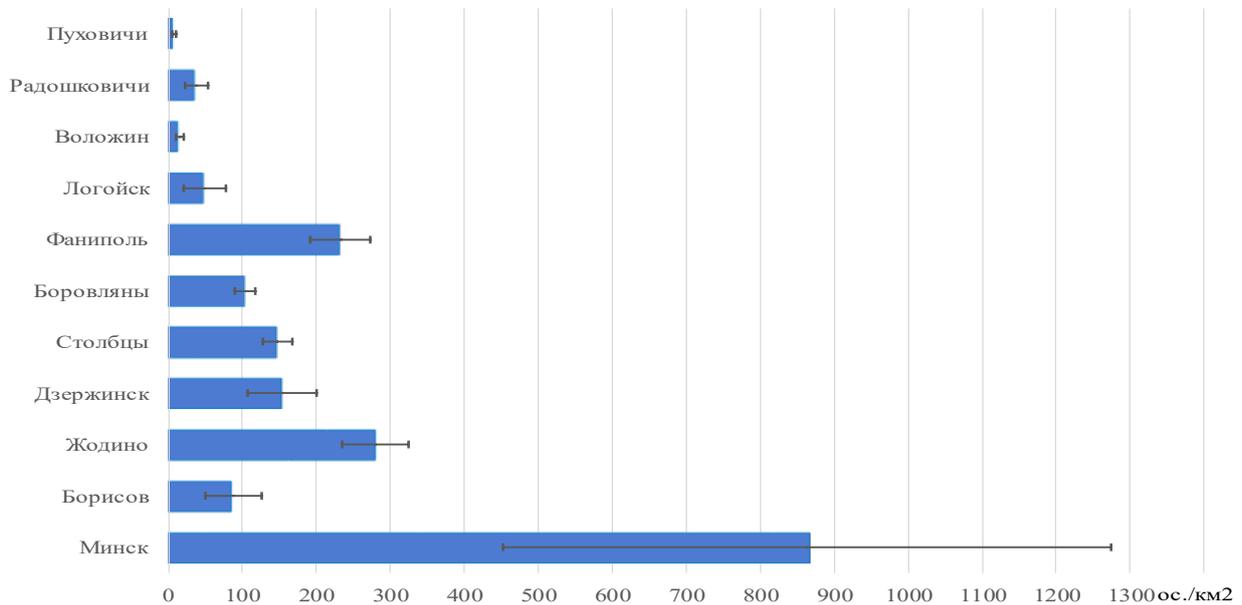


Рисунок 2 – Среднегодовая плотность населения синантропного сизого голубя в городах Минской области

Максимальный процент чеканной морфы характерен для популяций голубей г. Гомеля – 75%, минимальный – г. Могилева – 53%. Сизая морфа голубей в большей степени проявляется для г. Могилева – 35%, в то время как в г. Гомеле на эту морфу приходится только 13%. Наибольшая доля меланистов сконцентрирована в г. Минске – 8%, наименьшая – в Витебске – 1,5%. Самый большой процент aberrantov зафиксирован у популяций из г. Бреста – 18%, в то время как в г. Витебске он самый низкий – 6%. По данным Л.Д. Ваничевой (1997), пигменты в темных перьях могут служить птицам важным средством, позволяющим очищать кровь от токсичных металлов, которых предостаточно в загрязненном воздухе городов. Именно этим может объясняться несвойственное нату-

ральным экосистемам преобладание в городской среде птиц с темной окраской. Поэтому, окраска птичьих перьев во многом определяется количеством и распределением пигментов – меланинов. Меланин связывает тяжелые металлы в крови, такие как цинк или свинец, избыток которых в организме птиц приводит к резкому снижению плодовитости и самым разнообразным проблемам со здоровьем. Соответственно более темные птицы в загрязненных условиях получают эволюционное преимущество над теми, которые обладают более светлой окраской [3].

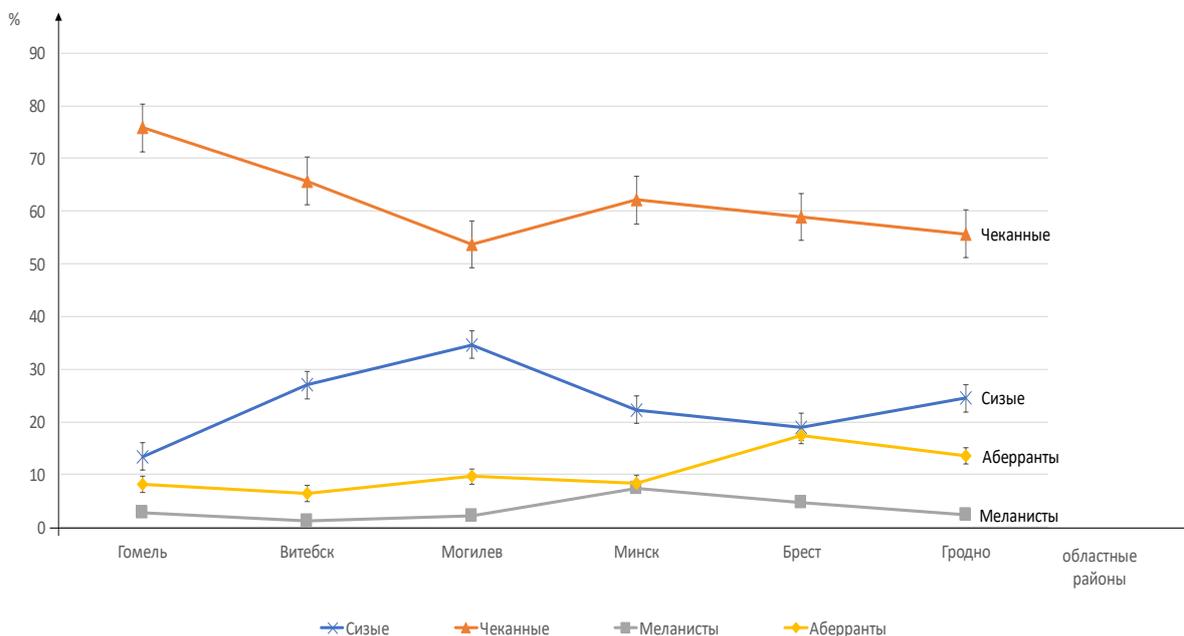


Рисунок 3 – Окрасочный полиморфизм синантропного сизого голубя в областных административных центрах Республики Беларусь

Однако, между голубями из разных административных районов г. Минска могут существовать некоторые различия по соотношениям окрасочных морф [4]. Различия эти в большинстве случаев незначительные, что указывает на то, что благодаря относительно высокой мобильности голубей обеспечивается генетический обмен между группами голубей из разных частей города, о чем свидетельствуют и данные российских орнитологов [5].

Таким образом, сравнительный анализ окрасочного полиморфизма популяций синантропного сизого голубя в городах Беларуси показал, что группировки голубей из разных частей городов могут обладать индивидуальной динамикой частот окрасочных морф в пространстве и во времени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хандогий, И. М. Эколого-биологические адаптации синантропного сизого голубя (*Columba livia*) в городе Минске / И. М. Хандогий, В. Ф. Кулеш, Д. А. Хандогий // Экологический вестник, №1 (39) Январь – март 2017. – Минск : МГЭИ, 2017. – С.26-34.
2. Хандогий, И. М. Изменчивость популяционной экологии сизого голубя (*Columba livia*) и его индикаторная роль в зависимости от типа населенных пунктов (на примере Минской области Республики Беларусь) / И. М. Хандогий, В. Д. Падуто, М. В. Можейко // Сборник научных статей учащейся молодежи «Первый шаг в науку». – В 2-х частях. – Часть 2. Выпуск 14. – Минск : «Лаборатория интеллекта», 2018. – С. 42-44.
3. Ваничева, Л. К. Синантропные популяции сизых в голубей и их использование при мониторинге тяжелых металлов промышленных центрах Западной Сибири / Л. К. Ваничева : автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.08 – зоология. – Новосибирск, 1997. – 23 с.
4. Хандогий, И. М. Сравнительный анализ окрасочного полиморфизма синантропного сизого голубя (*Columba livia* f. *urbana*) в административных районах города Минска / И. М. Хандогий // Сахаровские чтения 2020 года: Экологические проблемы XXI века» (23-24 мая 2020 г., г. Минск). – Минск : МГЭИ, 2020. – С.168-170.
5. Обухова, Н. Ю. Изменчивость и наследование окраски у сизых голубей / Н. Ю. Обухова, А. Г. Креславский // Зоологический журнал. – 1985. – Том 63. - № 2. – С. 233-244.

# ЭКОЛОГИЯ ГРАЧА (*Corvus frugilegus*) В ГОРОДЕ МИНСКЕ И ОБЛАСТНЫХ ЦЕНТРАХ БЕЛАРУСИ

## CORVUS FRUGILEGUS ECOLOGY IN MINSK REGIONAL CENTRES OF BELARUS

**А. В. Хандогий<sup>1</sup>, М. В. Гречихин<sup>2</sup>**  
**A. Khandohiy<sup>1</sup>, M. Hrachykhin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
handogiy@mail.ru

<sup>2</sup>Государственное учреждение образования «Средняя школа № 196 г. Минска»,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Republic of Belarus

<sup>2</sup>State Educational Establishment «Minsk secondary school No. 196», Republic of Belarus

В статье рассматриваются особенности экологии грача в урбанизированных ландшафтах столицы и областных центрах Беларуси. Определена динамика численности вида в зависимости от дифференциации жилищной застройки и антропогенной нагрузки. Выявлен характер биотопического, пространственного размещения грачиных колоний и оценочные показатели численности вида в городе Минска.

Environmental features of *corvus frugilegus* in urbanized landscapes of the capital and regional centres of Belarus are considered. The dynamics of the population of the species depending on the differentiation of housing development and anthropogenic load is determined. The nature of the biotopic, spatial distribution of rook colonies and estimated indicators of the number of species in the city of Minsk were revealed.

*Ключевые слова:* грач, численность, плотность, пространственное и биотопическое распространение, гнездование.

*Keywords:* *corvus frugilegus*, population, density, spatial and biotopic distribution, nesting.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-359-361>

В настоящее время биоразнообразие птиц и численность отдельных видов пернатых на территории Беларуси снижается, что является одной из основных экологических проблем современности. В тоже время, увеличение численности грача по-прежнему наблюдается как в Беларуси, так и в странах Европы, вызванное ростом урбанизации и изменениями в ведении сельского хозяйства. Такая тенденция в настоящее время имеет место в государствах бывшего СССР и некоторых других странах, где отмечается расширение ареала грача [1]. Проблема массовых поселений *грачей* в малых и больших городах Беларуси (Малорита, Волковыск, Брест, Минск и др.) также остается весьма актуальной [2, 3, 4]. Поэтому наряду с исчезающими видами целесообразно изучать и доминирующие виды, которые адаптировались к урбанизированным и техногенным территориям и вызывают справедливые нарекания городского населения. По этой причине проблема массовых поселений грача в поселениях человека остается весьма актуальной [3].

Цель работы – выявление характера пространственного распределения и особенностей экологии грача (*Corvus frugilegus* L.), обитающего в условиях урбанизированных ландшафтов областных центров Беларуси.

В ходе выполнения исследований решались следующие задачи: изучить плотность населения грача и его распределение на исследуемой территории; выявить характер размещения грачевников в крупных урбанизированных ландшафтах; проанализировать плотность гнездования и численность популяций грача в зависимости от степени антропогенной нагрузки; оценить динамику численности грача в летний и зимний периоды; выявить и закартировать ночёвочные скопления врановых, как наиболее проблемных зон их взаимоотношений с городским населением; разработать и предложить гуманные и эффективные мероприятия по регулированию численности грача.

Материалом для настоящего исследования послужили собственные исследования, проведенные в 2017-2021 гг. по изучению экологии и пространственного распространения грача по урбанизированным ландшафтам 6 областных административных центров Беларуси (рисунок 1).

Результаты выполненных исследований показали, что во всех городах Беларуси грач является оседло-кочующим и многочисленным видом, гнездящимся на всей территории республики.

Рост численности грача коррелирует с ростом урбанизации и за последние 50 лет только в Минске его численность увеличилась в 5 раз (рисунок 2). С 2019 года увеличение численности грачей в Минске замедлилось. Видимо, она соответствует достигнутому экологическому оптимуму в условиях современных урбанизированных ландшафтов или же по причине закрытия (2017 г.) одной из городских свалок (Северная) [2].



Рис. 1 – География стационарных учетов грача (2017–2021 гг.)

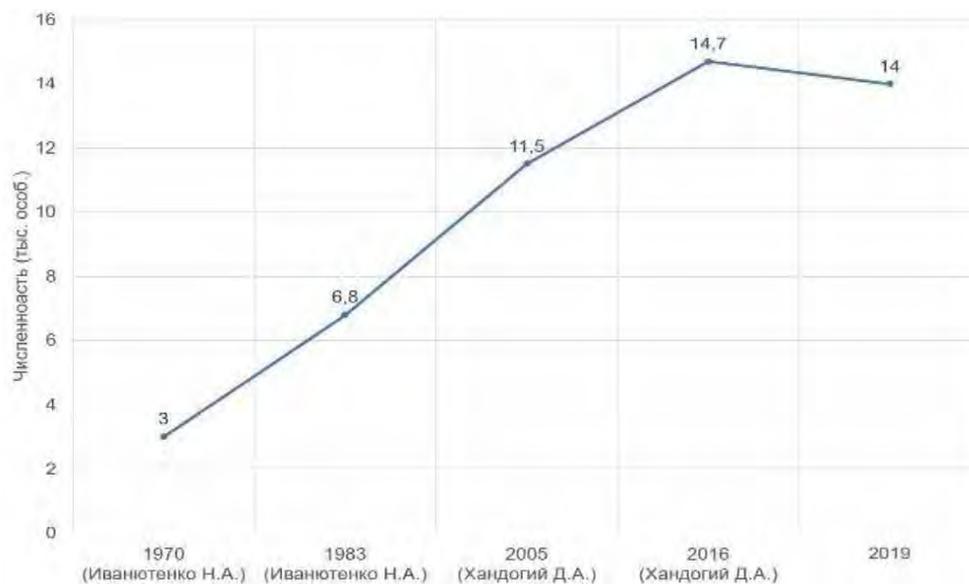


Рис. 2 – Динамика численности грача в Минске за период с 1970 по 2021 гг.)

Плотность населения грачей в областных центрах Беларуси четко дифференцирована и коррелирует с наличием кормовых запасов и наличием подходящего гнездового субстрата. В период гнездования грач концентрируется в микрорайонах городов старой жилищной застройки, где его плотность наибольшая – от  $21,3 \pm 7,4$  ос./км<sup>2</sup> (Гомель) до  $246,8 \pm 27,3$  ос./км<sup>2</sup> (Минск) (таблица 1).

Характер размещения грачевников в крупных областных городах республики зависит от многих факторов, но при выборе их размещения и распространения лимитирующими являются – наличие кормовых ресурсов с открытыми ландшафтами, подходящий древостой для размещения гнезд, благоприятный микроклимат и подходящие почвы для поиска корма птенцам. По этой причине в крупных урбандошафтах колонии гнездящихся грачей концентрируются ближе к окраинам городов.

Таблица 1 – Плотность населения грача в крупных городах Беларуси (гнездовой период, 2019–2020 гг.)

№ п/п	Города	Плотность населения (ос./км <sup>2</sup> )		
		Средняя	Летом	Зимой
1.	Брест (N=31)	$36,4 \pm 8,3$ ос./км <sup>2</sup>	$29,3 \pm 11,4$ ос./км <sup>2</sup>	$54,6 \pm 21,4$ ос./км <sup>2</sup>
2.	Витебск (N=16)	$33,9 \pm 11,6$ ос./км <sup>2</sup>	$24,8 \pm 14,3$ ос./км <sup>2</sup>	$31,5 \pm 10,7$ ос./км <sup>2</sup>
3.	Гомель (N=19)	$16,6 \pm 6,4$ ос./км <sup>2</sup>	$12,8 \pm 8,5$ ос./км <sup>2</sup>	$34,6 \pm 12,1$ ос./км <sup>2</sup>
4.	Гродно (N=15)	$103,2 \pm 18,2$ ос./км <sup>2</sup>	$168,3 \pm 27,9$ ос./км <sup>2</sup>	$116,7 \pm 21,9$ ос./км <sup>2</sup>
5.	Минск (N=102)	$136,8 \pm 16,3$ ос./км <sup>2</sup>	$246,8 \pm 27,3$ ос./км <sup>2</sup>	$51,2 \pm 14,4$ ос./км <sup>2</sup>
6.	Могилев (N=13)	$43,6 \pm 19,6$ ос./км <sup>2</sup>	$35,2 \pm 14,3$ ос./км <sup>2</sup>	$40,6 \pm 9,8$ ос./км <sup>2</sup>

Установлена сезонная динамика численности грача в городах – уменьшение численности грача зимой и увеличение – весной (таблица 1). Резкое увеличение численности грача в крупных городах поздней осенью

происходит за счет его миграций из окрестностей в города по причине достаточности в них кормовых ресурсов и специфичности температурного режима.

Произведено картирование грачевников и ночевочных скоплений врановых (рисунок 3), их территориального размещения в крупном мегаполисе – г. Минске. Всего зарегистрировано 1090 гнезд, сконцентрированных в 26 колониях. В последние годы имеет место тенденция увеличения количества гнездовых за счет дробления крупных из-за их разрушений хозяйственными службами города [4].



Рис. 3 – Дислокация ночёвочных скоплений врановых птиц в г. Минске (на февраль 2021 г.)

Согласно анкетированию населения, горожане нуждаются в регулировании численности грача, которая продиктована обеспокоенностью и жалобами граждан на их деструктивную жизнедеятельность (таблица 2).

На основании проведенных многолетних исследований (2016-2021 гг.), разработаны и предложены методы регулирования численности грача в урбандо ландшафтах, основные из которых – разрушение грачиных гнезд и ликвидация колониального гнездования в соответствии со статьей 19 Закона Республики Беларусь «О животном мире»; утилизация органических отходов; изменение архитектоники крон высоких деревьев путем их обрезки; своевременная засыпка песком вывозимого мусора на санкционированные свалки; привлечение на гнездование хищных видов птиц; установка самодельных, акустических и биоакустических звуковых отпугивателей, экологическое воспитание городского населения и др.

Таблица 2 – Отношение городского населения областных центров к грачу (%)

№ п/п	Оценка роли и необходимости борьбы	Брест N=15	Витебск N=12	Гомель N=18	Гродно N=24	Минск N=94	Могилев N=21
1.	Положительная	53,8	51,7	59,9	62,8	71,7	64,2
2.	Отрицательная	46,2	48,3	40,1	37,2	28,3	35,8
3.	Необходимо бороться	35,5	41,6	30,9	48,1	31,3	54,3
4.	Необходимо регулировать	64,5	58,4	69,1	51,9	68,7	46,7

Таким образом, выявленные места высокой концентрации грача в урбандо ландшафтах (закартированные места расположения грачевников и мест ночевки) должны быть зонами повышенной заинтересованности ЖРЭО г. Минска и областных центров в плане защиты парков, скверов от загрязнений испражнениями птиц, а также решения многочисленных жалоб городского населения по поводу их беспокойства во время отдыха.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анохина, Ю. Р. Оценка роли гнездовых колоний воробьиных птиц в сокращении численности насекомых : автореф. дис. канд. биол. наук / Ю. Н. Анохина. – Ленинград, 1984. – 21 с.
2. Гречихин, М. В. Экспансия грача (*Corvus frugilegus*) в урбанизированные ландшафты Минщины / М. В. Гречихин // Модернизация профессиональной подготовки специалистов в области в области естественного образования : матер. Междун. науч.-практ. конф. (24 апреля 2020 года, г. Минск). – Минск : БГПУ, 2020. – С. 42-44.
3. Случай жестокой зачистки города от птиц и гнезд произошел в Пинске [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [brest.greenbelarus.info/articles](http://brest.greenbelarus.info/articles). – Дата доступа : 15.05.2018.
4. Хандогий, А. В. Проблемным ли видом синантропных птиц является грач (*Corvus frugilegus*) в городе Минске / А. В. Хандогий, М. В. Гречихин // Сахаровские чтения 2019 года : Экологические проблемы XXI века» (23-24 мая 2019 г., г. Минск). – Минск : МГЭИ, 2019. – С. 345-347.

**ГАЛКА (CORVUS MONEDULA) – САМЫЙ МАССОВЫЙ ВИД  
СЕМЕЙСТВА ВРАНОВЫХ (CORVIDAE) В ГОРОДЕ МИНСКЕ**  
**JACKDAW (CORVUS MONEDULA) - THE MOST MASS SPECIES  
OF THE CORVIDAE FAMILY IN THE CITY OF MINSK**

***A. В. Хандогий, К. О. Зоричев***  
***A. V. Khandogiy K. O. Zorichev***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
handogiy@mail.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Авторами проведен мониторинг динамики численности галки (*Corvus monedula*). Изучена структура, пространственное распределение населения врановых птиц и место галки в ней в гнездовой и во внегнездовой периоды, а также пути синантропизации вида в городах.

The authors monitored the dynamics of the number of jackdaws (*Corvus monedula*). The structure, spatial distribution of the population of corvids and the place of the jackdaw in it in the nesting and non-nesting periods, as well as the ways of synanthropization of the species in cities have been studied.

*Ключевые слова:* урбанизированные ландшафты, синантропизация, миграционная деятельность.

*Keywords:* urbanized landscapes, synanthropization, migration activity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-362-364>

В настоящее время наибольший интерес для исследования представляет группа массовых синантропных птиц. В связи с интенсивным ростом их популяций возникают серьезные проблемы их взаимоотношений с человеком. Насыщенность местообитаний крупными воробьинообразными птицами свидетельствует о разнообразии как экологических ниш, так и всей экосистемы. В этом плане очень привлекательны врановые птицы, как наиболее обсуждаемые и «ругаемые» городскими жителями [1].

Галка (*Corvus monedula*) одна из самых обычных птиц городов Беларуси. Галка распространена по всей территории республики. Это обычный гнездящийся и зимующий вид. На всей территории она является типично синантропным видом, местообитаниями которой являются преимущественно населенные пункты сельского типа, небольшие города, старые парки и окраины крупных городов [2]. В Европейской части некоторые популяции птиц круглый год обитают в районах гнездования, большинство же откочевывает в более южные районы. Для гнездования галка нуждается в укрытиях, поэтому гнездится в закрытых местах зданий, под мостами, в стенках гнезд крупных птиц [3]. Работ, характеризующих современное состояние орнитофауны небольших, малых и крупных городов Беларуси, очень мало. Вместе с тем небольшие города, служащие как бы переходным звеном от малоизмененных природных ландшафтов к мегаполисам, представляет особый интерес для изучения.

Выбор нами в качестве модельной группы врановых птиц объясняется тем обстоятельством, что они являются массовыми видами урбанизированных ландшафтов и считаются наиболее удачными моделями при изучении синантропизации и урбанизации. Врановые птицы, относящиеся к группе полных урбанистов, тесно связаны с жизнью города. По числу видов эта группа немногочисленна, но по своей биомассе и негативным откликам городского населения превосходит во много раз все остальные группы птиц, обитающих в городе [3].

В наибольшей степени синантропизации врановых птиц способствовали особенности экологии и поведения, в том числе их способности к адекватным ответным реакциям на постоянно изменяющиеся условия трансформированной среды обитания. Синантропизация врановых птиц завершается появлением городских популяций, адаптированных к условиям урбанизированной среды. При этом, несмотря на значительное сходство биологии, каждый из синантропных видов в рамках стереотипного (видоспецифического) поведения имел свой путь «внедрения» в селитебный ландшафт [4].

Данная работа является частью комплексного исследования по изучению особенностей формирования авифауны, также экологии птиц в урбанизированных ландшафтах г. Минска и его окрестностей.

Как показал анализ полученных данных, среди врановых птиц галка доминирует в городе Минске и его окрестностях как в летний, так и в зимний период. В зимний период в структуре врановых она составляет 82,4%, в летний – 71,5%.

Результаты полевых исследований, проведенные в г. Минске и окрестных городах (Фаниполь, Боровляны, Держинск, Жодино и др.), показали максимальную численность галки в районах многоэтажной 1960-1970-х гг. застройки во внегнездовой период в 2020 г. (352,1 ос./км<sup>2</sup>). В районах частной застройки плотность населения галки значительно ниже – 5,4 ос./км<sup>2</sup>.

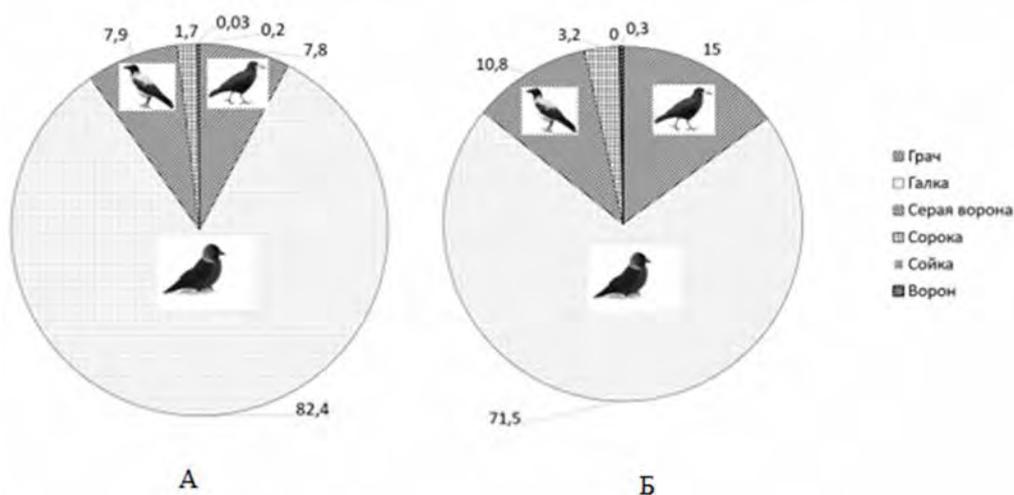


Рис. 1 – Обилие галки в г. Минске и его окрестностях в зимний (А) и летний (Б) периоды года (%)

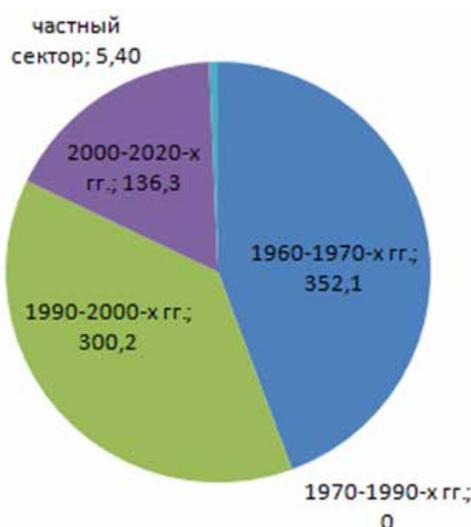


Рис. 2 – Плотность населения галки на различных биотопах (ос./км²)

Анализ распределения галки по городским биотопам указывает, что она успешно адаптируется к сложно измененной экологической обстановке сильно измененного урбанизированного ландшафта, проявляя при этом стойкую привязанность к традиционным местам обитания. Следует отметить, что антропогенное воздействие на все компоненты природно-территориальных комплексов больше всего проявляется в районах многоэтажных застроек и находится в тесной зависимости от типа жилых застроек, удобных для гнездования, и особенностей складирования бытовых отходов в них. В жилых кварталах с высокой плотностью городского населения и с максимальной застройкой способны обитать и использовать доступные корма антропогенного происхождения могут всего несколько видов. К их числу относится и галка. Как видно из представленной таблицы, максимальной плотностью населения этого вида врановых птиц зимой характеризуются густо заселенные жилые кварталы, построенные в 1960-1970-х и 1990-2000 гг. –  $352,1 \pm 105,4$  и  $300,2 \pm 95,4$  ос./км<sup>2</sup>. Привлекает галку в эти биотопы прежде всего обилие корма. В частном секторе плотность населения галки в городских жилых застройках разных лет строения очень низкая и колеблется от  $0,7 \pm 0,2$  (начало лета) до  $5,4 \pm 1,5$  (зима).

Постоянная синантропизация врановых в условиях урбанизированных ландшафтов приводит к увеличению численности их в городах. Изменение поведения птиц приводит к их оседлости в урбанизированных ландшафтах, уменьшению их миграционной активности, что отрицательно влияет на процессы, происходящие в экосистемах города.

Часто в выборе гнездования галка основывается на наличие близлежащей кормовой базы. Проводя исследование по плотности ее распределения и места ночевки, можно сказать, что основными местами для гнездования будут являться деревья с наличием дупла, различные ветхие каменные здания, крыши домов, ЛЭП [2, 5].

Замечена тенденция уменьшения численности галки в сторону к более современным городским жилым кварталам городской застройки (таблица). Это обусловлено малым количеством дуплистых зеленых насаждений, а также применением современных контейнеров и наличием мусоропроводов в новых зданиях, тем самым ограничивающих кормовую базу данного вида.

Таблица – Обилие галки в районах многоэтажных  
и индивидуальных городских застроек в Минском мегаполисе (2019-2021 гг.)

Городская застройка (годы застройки)	Грач		Серая ворона		Галка		Сорока	
	Гнездовой период	Внегнездовой период	Гнездовой период	Внегнездовой период	Гнездовой период	Внегнездовой период	Гнездовой период	Внегнездовой период
1960-1970 гг.	-	142,3±32,5	236,5±31,9	73,0±21,3	-	352,1±105,4	-	13,5±4,1
1970-1990 гг.	-	-	-	-	-	-	-	-
1990-2000 гг.	162,6±44,8	55,3±27,4	202,6±66,4	50,4±20,1	62,3±19,3	300,2±95,4	52,3±18,4	24,8±11,3
2000-2020 гг.	56,7±19,2	148,1±24,8	6,9±2,6	21,3±5,3	47,6±21,3	136,3±37,7	9,8±5,7	33,4±12,5
Частный сектор	2,7±0,8	17,1±9,7	5,6±1,4	14,3±5,3	0,7±0,2	5,4±1,5	6,4±2,1	11,4±3,5

Малая плотность галки на частных секторах города обусловлена отсутствием здесь открытых мусорных контейнеров и прочих источников питания, а также негативного отношения частников к врановым птицам, часто ворующим корм у кур частного подворья.

Таким образом, основными причинами роста плотности населения галки в городах являются наличие постоянной кормовой базы на территории урбанизированных ландшафтов и изменение поведение вида, а также освоение новых застроек на постоянно растущих урболандшафтах. Обилие корма и естественных ниш в городских зданиях привели к доминированию галки над всеми другими врановыми птицами. В смешанных скоплениях врановых (межвидовые отношения) в населенных пунктах окрестностей столицы и г. Минска четыре вида врановых стоят в следующем ряду: серая ворона, грач, сорока и галка. Однако, это не помешало галке занимать доминирующее положение среди всех врановых урболандшафтов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В центре Волковыска облюбовали деревья грачи и вороны... / Экология [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [volkovysknews.by/priroda-i-ekologiya/10866-news.html](http://volkovysknews.by/priroda-i-ekologiya/10866-news.html). – Дата доступа : 7.04.2018.
2. Никифоров, М. Е. Птицы Беларуси на рубеже XXI века / М. Е. Никифоров [и др.]. – Минск : Изд. Королев, 1997. – 188 с.
3. Егорова, Г. В. Формирование фауны врановых птиц в урбанизированных ландшафтах Мещерской низменности [на примере галки (*Corvus monedula*)] / Г. В. Егорова, Э. А. Мовчан, М. А. Юров // Электронный журнал «Вестник Московского государственного областного университета». – Режим доступа : [www.evestnik-mgou.ru](http://www.evestnik-mgou.ru). – Дата доступа : 16.04.2012.
4. Вахрушев, А. А. О закономерностях формирования сообществ на примере формирования комплекса птиц городов / А. А. Вахрушев // Макроэволюция. – М., 1984. – С. 148-149.
5. Хандогий, Д. А. Исследование врановых птиц в антропогенных ландшафтах Беларуси / Д. А. Хандогий // Экологическая культура и охрана окружающей среды : I Дорофеевские чтения материалы междунар. науч.-практ. конференции, Витебск, 21-22 ноября 2013 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2013. – С. 320

## ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПЕТРИКОВСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

## ENVIRONMENTAL IMPACT DURING THE CONSTRUCTION OF THE PETRIKOV MINING AND PROCESSING COMPLEX

**А. А. Холєво, В. М. Мисюченко**

**A. Holevo, V. Misiuchenka**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*holevo\_2000@mail.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Проведен анализ основных воздействий на окружающую среду при строительстве горно-обогатительного комплекса в г. Петриков. Анализ показал, что наиболее значимое воздействие приходится на атмосферный воздух и подземные воды. Расчет рассеивания показал, что наибольшее влияние, оказывают: азот (II) оксид (азота оксид), азотная кислота, калий хлорид (калий хлористый), углерод оксид, углеводороды непредельные, углеводороды предельные алифатического ряда C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>. Также был рассчитан объем поверхностного

стока и объем выноса хлоридов с территории промплощадки в случае аварийной ситуации. В качестве водоохраных мероприятий предусматривается полная изоляция поверхности площадок, а также устройство канала-водовода с дальнейшей очисткой стока и использованием его в технологической схеме, предусмотренной для работы горного предприятия.

The analysis of the main impacts on the environment during the construction of a mining and processing complex in Petrikov was carried out. The analysis showed that the most significant impact was on atmospheric air and groundwater. The scattering calculation showed that the greatest influence was exerted by nitrogen (II) oxide, nitric acid, potassium chloride, carbon oxide, unsaturated hydrocarbons, saturated aliphatic hydrocarbons C1-C10. The volume of surface runoff and the volume of chloride removal from the industrial site in the event of an emergency were also calculated. As water protection measures, complete isolation of the surface of the sites was envisaged, as well as the installation of a canal-water conduit with further purification of the drain and its use in the technological scheme provided for the operation of the mining enterprise.

*Ключевые слова:* добыча калийных руд, горно-геологические факторы, обогащение руды, источники выбросов, загрязняющие вещества, расчет рассеивания, хлориды.

*Keywords:* mining of potash ores, mining and geological factors, ore refining, sources of the emission, dispersion calculation, chlorides.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-362-368>

Проведен анализ воздействий на окружающую среду при строительстве и эксплуатации Петриковского горно-обогательного комплекса. Источниками загрязнения атмосферного воздуха при строительстве горно-обогательного комплекса на Петриковском месторождении калийных солей являются:

- Взрывные работы, при проведении которых в атмосферный воздух выбрасываются азота диоксид, оксид углерода и твердые частицы. Выбросы загрязняющих веществ носят неорганизованный характер.

- Бульдозерный отвал, предназначенный для складирования отходов в виде пустой породы от проходки шахтных стволов. Процессы перемещения (ссыпка, перевалка и т.д.) горных пород на отвале сопровождаются пылевыведением. В атмосферу поступают твердые частицы. Выбросы загрязняющих веществ носят неорганизованный характер.

- Открытые склады песка, щебня и песчано-гравийной смеси. Процессы выгрузки (ссыпки, перевалки и т.д.) и хранения песка, щебня и песчано-гравийной смеси сопровождаются выбросом в атмосферный воздух пыли неорганической, содержащей SiO<sub>2</sub> менее 70 %. Выбросы загрязняющего вещества носят неорганизованный характер.

- Силосный склад цемента. Процесс загрузки цемента в силосы сопровождается выделением пыли неорганической, содержащей SiO<sub>2</sub> менее 70 %. Для снижения воздействия загрязняющих веществ на атмосферный воздух силоса оборудуются фильтрами. Источники выбросов – организованные.

- Бетонорастворный узел, предназначенный для приготовления бетонорастворных смесей. Источником выбросов пыли неорганической, содержащей SiO<sub>2</sub> менее 70 % являются выхлопные отверстия фильтров силосов.

- Узел рассева песка, предназначенный для разделения песка по фракциям. Просеянный песок используется для приготовления растворов смесей. Процессы загрузки песка в бункера, а также его грохочение сопровождаются выделением пыли неорганической, содержащей SiO<sub>2</sub> менее 70 %. Выброс загрязняющего вещества носит неорганизованный характер.

- Процессы выгрузки песка и щебня разной фракции, ПГС в бункера сопровождается пылевыведением. В атмосферу поступает пыль неорганическая, содержащая SiO<sub>2</sub> менее 70 %. Источники выбросов носят неорганизованный характер.

- Оборудование мастерских: металлообрабатывающие станки и стол сварщика со сварочным выпрямителем. При работе данного оборудования в атмосферный воздух поступает пыль неорганическая, содержащая SiO<sub>2</sub> менее 70 % и загрязняющие вещества, выделяющиеся при расплавлении сварочного материала, такие как железо (II) оксид в пересчете на железо, марганец и его соединения (в пересчете на марганец (IV) оксид), фтористые газообразные соединения (в пересчете на фтор) и хром (VI). Для снижения воздействия твердых загрязняющих веществ на атмосферный воздух оборудование оснащается пылесосами. Источники выбросов – организованные.

- Автотранспорт, работающий на поверхности. При работе автомобильной техники в атмосферный воздух в результате сжигания топлива в двигателях внутреннего сгорания выделяются азота диоксид, углерода оксид, углеводороды предельные алифатического ряда C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>, углерод черный (сажа) и сера диоксид. Выбросы носят неорганизованный характер. Пылевыведение при транспортировке, загрузке и разгрузке вынимаемой горной породы отсутствует в связи с повышенной влажностью горной массы.

Валовой выброс загрязняющих веществ, выделяющихся на период проведения строительных работ, составляет 15,677 т/год, из них:

- вещества II класса опасности – 3,6420 т/год;
- вещества III класса опасности – 5,7150 т/год;
- вещества IV класса опасности – 6,3096 т/год;
- вещества без класса опасности – 0,0106 т/год;

Для оценки вклада источников выбросов загрязняющих веществ проектируемого Петриковского горно-обогатительного комплекса в загрязнение атмосферного воздуха, произведен расчет рассеивания для всех проектируемых загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух при эксплуатации объекта. При этом, основными источниками загрязнения в данном случае, будут являться:

- Надшахтное здание, в котором предусмотрен сварочный пост и слесарная мастерская. При проведении сварочных работ в атмосферный воздух выделяются железо (II) оксид в пересчете на железо, марганец и его соединения (в пересчете на марганца (IV) оксид), хром (VI) и фтористые соединения газообразные (гидрофторид, кремний тетрафторид) (в пересчете на фтор). В слесарной мастерской источниками выделения загрязняющих веществ являются металлообрабатывающие станки. При работе данных станков выделяется пыль неорганическая, содержащая  $\text{SiO}_2$  менее 70 %.

- Военизированный горноспасательный отряд (ВГСО). Служебно-техническое здание. Источниками выделения загрязняющих веществ являются двигатели внутреннего сгорания автотранспорта. При въезде, выезде и прогреве двигателей в помещении выделяются азота диоксид, углерода оксид, серы диоксид, углеводороды предельные  $\text{C}_1\text{-C}_{10}$  и углерод черный (сажа). В состав лаборатории ВГСО входят следующие помещения: термическая лаборатория, аналитическая лаборатория, проборазделочная, весовая, кладовая реактивов. От оборудования данных помещений лаборатории выделяются следующие загрязняющие вещества: аммиак, серная кислота, соляная кислота, азотная кислота, этиловый спирт, твердые частицы.

- Котельная. При сжигании природного газа в атмосферу выделяются следующие загрязняющие вещества: ртуть и ее соединения, азота диоксид, азота оксид, углерод оксид, бенз(а)пирен, диоксины/фураны, бензо(б)флуорантен, бензо(к)флуорантен, индено (1,2,3,-с, d) пирен.

- Цех дробления. Процессы перегрузки, загрузки-выгрузки исходной и дробленой руды сопровождаются значительным пылением. Выброс пыли руды можно классифицировать как твердые частицы.

- Флотационная обогатительная фабрика. Процессы флотации и фильтрации флотационного концентрата сопровождаются выделением аминов алифатических  $\text{C}_{15}\text{-C}_{20}$ . Источниками выделения являются флотомашин (5 шт.), вакуум-фильтры ленточные (10 шт.) и центрифуги (6 шт.).

- Цех сушки и грануляции. Источниками выделения загрязняющих веществ в отделении сушки являются сушильные барабаны №№ 1, 2, 3, 4 (резервный), предназначенные для сушки кека концентрата KCl. Сушка осуществляется топочными газами, которые образуются при сгорании топлива в газотурбинных установках и в топках сушильных барабанов. При сжигании природного газа в атмосферу выделяются следующие загрязняющие вещества: азота диоксид, азота оксид, углерода оксид, бенз(а)пирен, ртуть и ее соединения (в пересчете на ртуть), диоксины/фураны, бензо(б)флуорантен, бензо(к)флуорантен, индено (1,2,3,-с, d) пирен, углеводороды предельные  $\text{C}_1\text{-C}_{10}$ .

- Склад жидких реагентов. При заполнении и хранении в резервуарах жидких реагентов через дыхательные клапана выделяются следующие загрязняющие вещества: масло минеральное, масло сосновое, углеводороды предельные  $\text{C}_{11}\text{-C}_{19}$ , сероводород, углеводороды ароматические и этиленгликоль.

- Склад сыпучих реагентов. При работе двигателя внутреннего сгорания в помещении выделяются азота диоксид, углерода оксид, серы диоксид, углеводороды предельные  $\text{C}_1\text{-C}_{10}$  и сажа. Выделяющиеся загрязняющие вещества удаляются в атмосферу системами общеобменной вытяжной вентиляции.

Расчет приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе выполнен по унифицированной программе [1].

Были проанализированы результаты расчета рассеивания выбросов загрязняющих веществ, выделяющихся в атмосферный воздух при эксплуатации Петриковского ГОКа с учетом работы топливосжигающих установок на основном виде топлива - природном газу. Проведен анализ максимальных приземных концентраций по расчетам рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе для промышленной площадки ГОКа, так как она оказывает наиболее значимое воздействие на окружающую среду.

В наименьших количествах находятся следующие вещества: изопропиловый спирт, метанол, ртуть и ее соединения (в пересчете на ртуть), уксусная кислота, эмульсол, этанол (этиловый спирт). Расчет для данных веществ не проводился, так как соотношение их концентраций к ПДК меньше 0,01.

Анализ расчета рассеивания показал, что после ввода в эксплуатацию промышленной площадки Петриковского горно-обогатительного комплекса, уровень максимальных приземных концентраций загрязняющих веществ с учетом фоновых концентраций на границе санитарно-защитной зоны составит от 0,0004 (натрий гидроксид) до 0,94 (группа суммации 6040) ПДК, на границе жилой застройки – от 0,00044 (натрий гидроксид) до 0,85 (группа суммации 6040) ПДК. Максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ, создаваемые выбросами промышленной площадки Петриковского горно-обогатительного комплекса, не превышают предельно-допустимые концентрации.

При этом вещества, которые оказывают наибольшее влияние, являются: азот (II) оксид (азота оксид), азотная кислота, калий хлорид (калий хлористый), углерод оксид, углеводороды непредельные, углеводороды предельные алифатического ряда  $\text{C}_1\text{-C}_{10}$ . Так же из карт рассеивания было определено, что максимальный радиус потенциальной зоны возможного воздействия промышленной площадки Петриковского ГОКа составляет:

- по диоксиду азота – 1620 м;
- по калий хлориду – 1095 м;
- по группе суммации 6009 – 2765 м;

- по группе суммации 6040 – 2765 м;
- по сумме твердых частиц – 987 м

Максимальный радиус потенциальной зоны возможного воздействия промышленной площадки Петриковского ГОКа составляет расстояние порядка 2,76 км (по группам суммаций 6009, 6040).

В потенциальную зону возможного воздействия промышленной площадки Петриковского ГОКа попадают населенные пункты: поселок Слободский, д. Слобода.

Основными источниками шума на производственной площадке Петриковского горно-обогатительного комплекса являются технологическое оборудование расположенное внутри цехов и снаружи, проезды грузового и железнодорожного транспорта осуществляющие подвоз материалов и вывоз продукции. По расчетным данным и результатам инструментальных исследований, создаваемые уровни звукового давления на границе СЗЗ и на границе жилой застройки не превышают предельно допустимых уровней звука. Акустическими расчетами для дневного и ночного времени суток с учетом вклада всех источников шума, расположенных на промышленной площадке Петриковского ГОКа, подтверждено отсутствие зон акустического дискомфорта в районе расположения жилой зоны.

Также была проведена оценка влияния промышленной площадки на качество вод р. Бобрик. Данная река была выбрана в связи с тем, что объекты-загрязнители расположены на водосборной площади № 3 и поверхностный сток с этой площади собирается в р.Бобрик. Строительство и эксплуатацию объектов Петриковского рудника предполагается осуществлять таким образом и с применением такого комплекса профилактических и защитных мероприятий, чтобы не допустить возникновения – аварий, влекущих за собой негативные последствия как на объекты самого рудника, так и на окружающую среду. В связи с чем был рассчитан объем выноса хлоридов в случае аварии. В качестве определяющего компонента-загрязнителя приняты хлориды, так как их превышение в первую очередь ограничивает использование подземных вод для питьевых целей

Был рассчитан объем поверхностного стока по водосбору № 3 в течение суток за максимальный расчетный дождь. За потенциальный объект-загрязнитель на участке месторождения приняты промышленную площадку строительства ГОК месторождения.

Объем дождевого поверхностного стока ( $W$ ), формирующийся за максимальный расчетный дождь на выделенной территории, может быть рассчитан по зависимости:

$$W = 10 \cdot \sigma \cdot H \cdot F, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – средневзвешенный коэффициент поверхностного стока, для данной территории принимается равный 0,45;

$H$  – суточный слой осадков за расчетный дождь, принят равным 3,0 мм (суточная величина атмосферных осадков за самый дождливый месяц-июль);

$F$  – площадь выделенного локального водосбора № 3 равна 3686 га.

Получили объем поверхностного стока ( $W$ ), проходящего через водосборную площадь за максимальный расчетный дождь (1 сутки), который составил около 49761 м<sup>3</sup>/сут, тогда объем стока, проходящего через площадь промышленной площадки, составит 1093,5 м<sup>3</sup>/сутки.

Объем выноса загрязняющих веществ (хлоридов) может быть оценен концентрацией хлоридов в сточных водах, стекающих с промышленной площадки:

$$P = C \cdot W / 1000, \quad (2)$$

где  $P$  – объем выноса загрязняющего вещества, кг;

$C$  – концентрация хлоридов, для расчетов принимается равной среднему значению из полученных максимальных величин содержания хлоридов в первом от поверхности водоносном горизонте (грунтовых водах), 208,0 мг/дм<sup>3</sup>;

$W$  – расчетный объем поверхностного стока, полученный в максимальный расчетный дождь (1 сутки), 49761 м<sup>3</sup>/сут.

Таким образом, объем выноса хлоридов с рассматриваемой водосборной площади № 3 за максимальный дождь при принятой концентрации хлоридов в поверхностном стоке (208,0 мг/дм<sup>3</sup>) составит 10350,3 кг.

Объем выноса хлоридов с площади промышленной площадки соответственно равен около 227,5 кг. Данный показатель является конечной величиной, показывающей возможность загрязнения реки в случае аварийной ситуации. Основным показателем загрязняющих веществ – концентрация хлоридов, которая находится в пределах нормы и принимается равной предельно допустимой концентрации (ПДК) хлоридов, согласно постановлению Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, согласно которому ПДК=300 мг/дм<sup>3</sup> [2].

Ближайшим от площадки водотоком по направлению движения потока является р. Бобрик, которая будет испытывать дополнительную нагрузку со стороны объектов-загрязнителей, что может привести к повышению содержания хлоридов в водах реки до уровня ПДК или выше.

С целью ликвидации негативного воздействия эксплуатации горного предприятия на состояние поверхностных вод необходимо предусмотреть систему водоохраных мероприятий. Это – полная изоляция поверхности площадок, а также организация отвода поверхностного стока (устройство канала-водовода), с дальнейшей очисткой стока и использованием его в технологической схеме, предусмотренной для работы горного предприятия.

Представленный выше состав организационно-технических мероприятий уменьшит техногенную нагрузку на поверхностные водные объекты. Часть загрязненного поверхностного стока с поверхности водосбора будет фильтроваться через зону аэрации к грунтовым водам, создавая там зону загрязнения.

Необходимо отметить, что одна из экологических проблем территории исследований связана с последствиями осушительных мелиораций. Снижение уровня грунтовых вод, уничтожение естественной растительности, распашка торфяно-болотных почв, привели к развитию ветровой эрозии, быстрой сработке торфа и формированию предпосылок к дефициту воды в почвенном профиле в летний период. Осушенные болотные массивы превращены в пахотные и пахотно-культурно-сенокосные ландшафты, находятся в неустойчивом состоянии и несут на себе признаки деградации. Также было выявлено, что наиболее значимое воздействие приходится на подземные воды, поэтому необходимо обратить внимание на водоохранные мероприятия, в том числе, защитные сооружения. Таким образом, для защиты подземных вод от негативного влияния загрязнителей необходимо предусмотреть не только тщательное экранирование ложа солевала и поверхности промышленной площадки водонепроницаемыми покрытиями, но и создание системы локального мониторинга за состоянием подземных вод.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ОНД 86 – Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л. Гидрометеиздат, 1987 – 82 с.

2. Постановление Министерства Природных Ресурсов и Охраны Окружающей Среды Республики Беларусь от 30 марта 2015 года №13. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов// Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://pravo.by/upload/docs/op/W21529808\\_1429909200.pdf](https://pravo.by/upload/docs/op/W21529808_1429909200.pdf). – Дата доступа: 18.03.2021.

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS* (L.) В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА МИНСКА VARIABILITY OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF NEEDLES *PINUS SYLVESTRIS* (L.) UNDER ANTHROPOGENIC LOAD IN THE TERRITORY OF MINSK

**А. Н. Хох<sup>1</sup>, В. Б. Звягинцев<sup>2</sup>**

**A. Khokh<sup>1</sup>, V. Zviagintsev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Научно-практический центр Государственного комитета  
судебных экспертиз Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь  
[npc@sudexpertiza.by](mailto:npc@sudexpertiza.by)

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>Scientific and Practical Centre of The State Forensic Examination Committee of The Republic of Belarus,  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University,  
Minsk, Republic of Belarus

В городе Минска достаточно широко представлены насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), которая наряду с березой повислой (*Betula pendula* Roth.) относится к чутким индикаторам качества окружающей среды. Цель наших исследований заключалась в изучении изменений элементного состава хвои в условиях антропогенной нагрузки с различным по интенсивности автотранспортным и промышленным воздействием.

The woodlands of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) are quite widely represented in Minsk, which, along with European white birch (*Betula pendula* Roth.), belongs to sensitive indicators of the quality of the environment. The purpose of our research was to study changes in the elemental composition of needles under conditions of anthropogenic impact with different intensity of motor transport and industrial impact.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, элементный состав, хвоя, атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, антропогенные факторы.

**Keywords:** Scots Pine, element composition, needles, spectrometry with inductively coupled plasma, anthropogenic factors.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-368-371>

На сегодняшний день загрязнение атмосферного воздуха представляет собой мощный антропогенный фактор, который приводит к серьезным изменениям в функционировании фитоценозов городской среды.

Так, из-за токсических компонентов выбросов промышленных предприятий и автотранспорта возникают как деформации поверхности и внутриклеточной структуры ассимилирующих органов растений, так и нарушения формирования их элементного состава.

Объектами исследования были выбраны сосновые насаждения Первомайского (с удовлетворительной экологической ситуацией) и Партизанского (с преимущественно напряженной ситуацией, обусловленной негативными факторами – высоким уровнем загрязнения воздуха и почв, угнетением растительности [1, с. 28]) районов г. Минска.

В качестве контроля (условно чистая территория) были взяты деревья сосны, произрастающие на территории государственного природоохранного учреждения «Березинский биосферный заповедник» (таблица 1).

Таблица 1 – Места отбора образцов

№	Район, улица/лесничество	Средний возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см
1	Первомайский, Всехсвятская	70	18	17,2
2	Первомайский, Вересковая	70	17,5	25,5
3	Партизанский, Герасименко	80	19	30,8
4	Партизанский, Ваупшасова	70	23	29,9
5	Партизанский, Долгобродская	75	21	27,4
6	Березинский биосферный заповедник, Домжеричское	80	24	33,1

Отбор хвои 2-го года жизни производился для каждой точки наблюдения с ветвей 1-го порядка в нижней части по всему диаметру кроны 15-ти деревьев в конце вегетационного сезона 2019 года (по 30 пар с каждого дерева).

Впоследствии хвоя, собранная с одного дерева, измельчалась до мелкодисперсного состояния с помощью агатовой ступки, после чего методом квартования отбиралась навеска массой 500 мг, которая помещалась в фарфоровый тигель и проводилось озоление путем прокаливания в муфельной печи при температуре 500°C в течение 4 часов.

Далее зола помещалась в цилиндр картриджа систем микроволнового разложения с уже внесенными туда 10 мл концентрированной азотной кислоты и 2 мл пероксида водорода. Микроволновое разложение проводилось в две последовательные стадии с разными условиями:

- 1) температура: 80 оС, ВЧ-мощность: 700 W, время: 12 мин;
- 2) температура: 150 оС, ВЧ-мощность: 700 W, время: 4 мин.

Затем полученный раствор остужался при комнатной температуре, разбавлялся деионизированной водой для снижения концентрации кислоты непрореагировавшей с пероксидом водорода, фильтровался через бумажные фильтры в колбы на 50 мл и анализировался на оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной Thermo Fisher iCAP 6300 DUO.

Для каждого образца проводилось три параллельных измерения. Характеристические спектральные линии 10-ти анализируемых элементов (Al, Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Fe, Cr), а также условия проведения анализа были взяты из методики, изложенной в работе Ari Väisänen [2].

Пример выбора спектральных линий представлен на рисунке 1, на котором содержится информация (слева направо) о длине волны интересующего элемента в нанометрах, интенсивности, типе спектральной щели (slit) и взаимовлияниях других элементов с очень близкими по значению величинами спектральных линий, их типе спектральных щелей и интенсивности.

Линия	Инт	Тип ...	Влияния на Pb (220,353)	
220,353 {153}	120000	II	Pt 220,258	II 1364
216,999 {156}	90000	I	V 220,272	I 1000
261,418 {129}	70000	I	W 220,280	I 1000
182,205 {485}	50000	II	Co 220,296	II 5000
283,306 {119}	45000	I	Re 220,301	I 1500
280,199 {120}	35000	I	Nb 220,317	II 3000
168,215 {501}	20000	II	Bi 220,33	I 1000
			<b>Pb 220,353</b>	<b>II 120000</b>
			Nb 220,363	II 40000
			W 220,379	II 4000
			Os 220,391	I 1200
			W 220,402	II 1000
			Ta 220,410	II 2500
			W 220,448	II 120000

Выбрать Свинец

Рис. 1 – Таблица спектральных линий свинца

Статистическая обработка материалов исследования проводилась с использованием статистических пакетов Microsoft Excel v.10.0, SPSS v.20.0.

Полученные данные обрабатывались с помощью непараметрических методов (из-за малого объема выборок, характеризующихся разными законами распределения).

При сравнении содержания элементов (по отношению к контролю) использовался U-критерий Манна-Уитни.

В таблице 2 представлены усредненные данные о содержании элементов в хвое, рассчитанные с учетом количественных измерений элементного состава хвои у всех 15 деревьев на каждом из шести мест отбора.

Таблица 2 – Рассчитанные показатели изменчивости элементного состава хвои ( $M$  – среднее,  $\pm SD$  – стандартное отклонение)

Элемент, мг/кг	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Al	99,3±13,4	110,4±15,9	130,7±17,4***	184,7±29,7***	201,3±29,1***	91,2±9,9
Pb	2,3±0,5	2,3±0,5	3,7±1,0***	3,6±0,9***	3,5±0,8**	2,2±0,7
Cd	0,2±0,05	0,2±0,05	0,4±0,04**	0,4±0,04**	0,4±0,04**	0,2±0,05
Cu	2,3±0,5	4,8±1,1***	6,4±1,7***	4,5±1,1***	8,1±1,2***	2,0±0,6
Zn	23,1±6,9	50±15,3***	53,7±11,2***	95±17,8***	55,7±15,9***	22,1±4,5
Mn	224±55,4	207,3±55,0	233,3±64,4	220,7±56,6	231,3±49,0	214±66,8
Ni	1,0±0,3	1,2±0,5	2,6±0,4***	3,7±0,9***	2,1±0,6***	1,0±0,3
Co	0,9±0,3	0,9±0,4	1,2±0,3*	1,5±0,2**	1,1±0,3	0,9±0,2
Fe	55,7±15,9**	58,1±14,2**	113,6±16,4***	130,7±17,1***	144,7±19,8***	31,9±7,6
Cr	0,4±0,1	0,4±0,1	0,5±0,2**	0,6±0,2**	0,7±0,1***	0,3±0,1

Примечание: \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ , уровень значимости рассчитан по сравнению с контролем

Рассчитанные из данных в таблице 2 средние коэффициенты вариации исследуемых элементов показывают, что особенно велика индивидуальная изменчивость никеля (29,6%) и хрома (28%).

В наименьшей степени индивидуальная изменчивость выражена для алюминия – 13,5 % и кадмия – 17%.

В целом принято считать, что, если значение коэффициента вариации менее 33%, то совокупность данных является однородной, если более 33%, то – неоднородной [3].

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что статистически значимые различия были выявлены для 3-х элементов в Первомайском районе и 9-ти элементов в Партизанском районе (таблица 2).

Единственным элементом, для которого по сравнению с контролем статистически значимых различий выявлено не было, был марганец.

Сравнительный анализ исследуемых сосновых насаждений показал, что для сосны обыкновенной, произрастающей в Первомайском районе характерно увеличение содержания меди в 1,7 раз, цинка – в 1,6, кобальта – в 1,1, железа – в 1,8 и хрома – в 1,3 раза.

Для Партизанского района наблюдается следующая ситуация: увеличение содержания алюминия в 1,9 раз, свинца – в 1,6, кадмия – в 1,8, меди и цинка – в 3,1, никеля – в 2,9, кобальта – в 1,4, железа – в 4,1 и хрома – в 2 раза, что подтверждает неблагоприятную экологическую обстановку в данном районе.

Для наглядного представления распределения содержания элементов в хвое в исследованных выборках на рисунке 2 представлен пример диаграммы размахов (на примере алюминия).

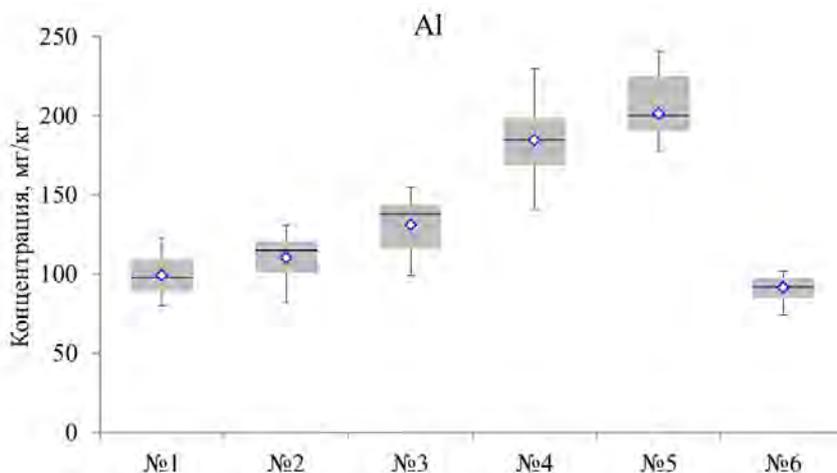


Рис. 2 – Диаграмма размахов, отображающая разницу в содержании алюминия в хвое сосны обыкновенной исследованных насаждений

Таким образом, в ходе исследования было установлено, что в условиях антропогенного загрязнения происходят изменения элементного состава хвои сосны обыкновенной, которые проявляются в накоплении элементов, преимущественно связанных с техногенезом. На основе его анализа может быть проведена диагностика состояния фитоценозов городской среды. При этом следует отметить, что листовая диагностика имеет ряд преимуществ перед почвенной, поскольку в последнем случае не всегда проявляется зависимость между содержанием элементов в почве, химическим составом хвои и ее продуктивностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хомич, В. С. Городская среда: геоэкологические аспекты / В. С. Хомич, С. В. Какаренко, Т. И. Кухарик // под ред. В. С. Хомича. Минск : Беларуская навука, 2013. – 301 с.
2. Väisänen, A. Determination of mineral and trace element concentrations in pine needles by ICP-OES: evaluation of different sample pre-treatment methods/ A. Väisänen, P. Laatikainen, A. Pander, S. Renvall //International Journal of Environmental and Analytical Chemistry. – 2008. – V. 88. – №. 14. – P. 1005-1016.
3. Miller, J. Statistics and chemometrics for analytical chemistry / J. Miller, J. Miller // USA: Pearson Education, 2018.–297 p.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СПОСОБЫ СОХРАНЕНИЯ ГЕНОФОНДА ПОПУЛЯЦИЙ РЕДКИХ ВИДОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

### ADDITIONAL METHODS FOR PRESERVING THE GENE POOL OF POPULATIONS OF RARE SPECIES OF MEDICINAL PLANTS

**А. Г. Чернецкая<sup>1</sup>, Т. В. Юнкевич<sup>2</sup>, Т. В. Каленчук<sup>2</sup>**  
**A. Chernetskaya<sup>1</sup>, T. Yunkevich<sup>2</sup>, T. Kalenchuk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» БГУ, г. Минск

<sup>2</sup>Учреждение образования «Полесский государственный университет», г. Пинск  
tatyana\_yunkevich@mail.ru

<sup>1</sup>Belarussian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Republic of Belarus Educational establishment «Polessky State University», Pinsk

Для эффективного сохранения генофонда охраняемых растений *ex situ* используется широкий круг методов и подходов, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками. К настоящему времени получен значительный опыт по сохранению генетических ресурсов растений, важных в основном для аграрного сектора, с использованием разного температурного режима, по всему миру созданы генные банки. К сожалению, криоконсервация семян и различного другого растительного материала успешно применяется в основном для сельскохозяйственных культур, а опыты для сохранения генофонда редких и исчезающих видов растений не столь распространены. Необходимы исследования возможности устойчивого воспроизводства генофонда отдельных редких и исчезающих видов. Применение микроклонального размножения охраняемых растений – это дополнительный способ сохранения их генофонда и предпосылка репатриации видов, исчезающих в природе. Разработка эффективных методов микроклонального размножения является основой работ по созданию генетических банков *in vitro* редких и исчезающих видов растений, а также одним из перспективных направлений сохранения биоразнообразия в целом.

To effectively conserve the gene pool of protected plants *ex situ*, a wide range of methods and approaches is used, each of which has its own advantages and disadvantages. To date, considerable experience has been gained in the preservation of plant genetic resources, which are important mainly for the agricultural sector, using different temperature regimes; gene banks have been created all over the world. Unfortunately, cryopreservation of seeds and various other plant material is successfully used mainly for agricultural crops, and experiments to preserve the gene pool of rare and endangered plant species are not so widespread. It is necessary to investigate the possibility of sustainable reproduction of the gene pool of certain rare and endangered species. The use of microclonal reproduction of protected plants is an additional way to preserve their gene pool and a prerequisite for the repatriation of species that are disappearing in nature. The development of effective methods of microclonal reproduction is the basis of work on the creation of *in vitro* genetic banks of rare and endangered plant species, as well as one of the promising directions for the conservation of biodiversity in general.

**Ключевые слова:** охраняемые растения, генофонд, криоконсервация, микроклональное размножение, реинтродукция.

**Keywords:** protected plants, gene pool, cryopreservation, micropropagation, reintroduction.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-371-374>

Значительную часть растений, имеющих потенциально важное значение в качестве источников лекарственного сырья при условии введения в культуру, составляют редкие и исчезающие виды, генофонд которых в большинстве случаев находится в опасности деградации.

Цель нашей работы – на основе изучения состояния популяций охраняемых лекарственных растений, разработать дополнительные способы сохранения генофонда популяций редких видов лекарственных растений.

По коллекционному генофонду лекарственных и пряно-ароматических растений проводилась классификация видообразцов по хозяйственно-полезным признакам. Согласно проведенной литературной проработке коллекционный генофонд лекарственных и пряно-ароматических растений лаборатории биоразнообразия растительных ресурсов по полезным свойствам делятся на следующие группы: пищевые, кормовые, парфюмерные, дубильные, медоносные, технические, инсектицидные, фитомелиоративные, красильные, ратицидные, ядовитые, лекарственные (рисунок 1).

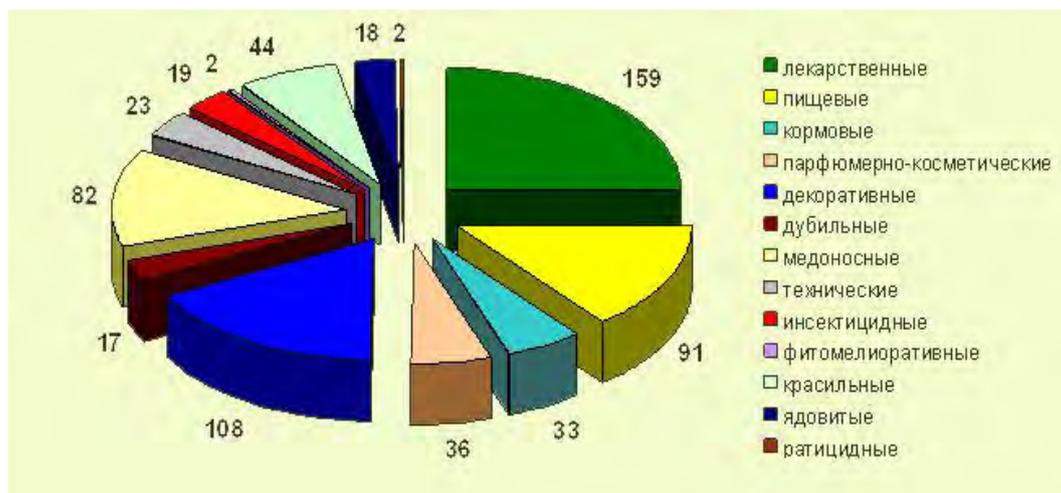


Рис. 1 – Классификация видообразцов лекарственных и пряно-ароматических растений по хозяйственно-полезным свойствам

Наибольшим числом видов представлены группы: лекарственные (159 видов), пищевые (91 вид), медоносные (82 вида) и декоративные (108 видов). В группе лекарственных представители семейства *Asteraceae Dumort* – 21% (33 вида), *Ariaceae Lindl.* и *Rosaceae Juss.* по 9% 14 видов, *Lamiaceae Lindl.* составляют 24% или 38 видов. Что касается пищевых растений то большим видовым разнообразием представлены виды семейства *Lamiaceae Lindl.* - 32% (29 видов) и *Asteraceae Dumort* 18% (16 видов). Из медоносных самым многочисленным - 43% или 35 видов является также семейство *Lamiaceae Lindl.*, которое также занимает лидирующее положение среди декоративных интродуцентов - 27% (29 видов). Ресурсные группы фитомелиоративные, ядовитые и ратицидные малочисленны и представлены в общей сложности 22 видами. Среди них ядовитых – 18, фитомелиоративных – 2 и ратицидных – 2.

Действенной мерой может быть культивирование растений в условиях *ex situ* и путем реинтродукции в природные местообитания, особенно в охраняемые человеком – в ООПТ разных форм.

Одной из экологических проблем, является сохранение биологического разнообразия растений редких и исчезающих видов, имеющих ресурсную и биоценотическую ценность.

В настоящее время сокращение биологического разнообразия является одной из наиболее важных экологических проблем во всем мире, в том числе и в Беларуси. В составе флоры нашей республики в последнее столетие уже не обнаруживаются 52 аборигенных вида [3]. Ряд видов находится на грани исчезновения. Для разработки адекватных мер охраны и рекомендаций по восстановлению биоразнообразия необходима полная оценка их современного состояния и степени устойчивости.

В Беларуси к настоящему времени накоплен значительный фактографический материал о местах произрастания охраняемых видов растений. Наиболее важно сохранение растений I категории – наивысшей национальной природоохранной значимости. Включает таксоны, имеющие очень низкую или быстро сокращающуюся численность, сохранение популяции которых невозможно без проведения комплексов специальных мер. Также включает таксоны, национальная популяция которых имеет высокую международную значимость.

Актуальным является определение приоритетных видов в пределах их групп, в том числе лекарственных растений. Необходимы исследования возможности устойчивого воспроизводства генофонда отдельных редких и исчезающих видов в охраняемых территориях в целях определения мер, уменьшающих воздействие факторов, обуславливающих угрозу. В случаях, когда большая часть ареала и генофонда находится вне ООПТ, нужна активность по созданию новых таких объектов. Для таксонов с широкими эколого-географическими ареалами целесообразно проведение мониторинга состояния генофонда. В этих целях невозможно обойтись без масштаб-

ных исследований популяционной структуры растений. Обзор литературы доказывает, что эти звенья являются наиболее слабыми при осуществлении деятельности по сохранению генетических ресурсов *in situ*.

Для эффективного сохранения генофонда растений *ex situ* используется широкий круг методов и подходов, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками.

К настоящему времени получен значительный, более чем сорокапятилетний опыт по сохранению генетических ресурсов растений, важных в основном для аграрного сектора, с использованием разного температурного режима (Plant Genetic Resources). Определены виды, для которых рекомендовано долговременное (50-100 лет) и менее длительное (до 30 лет) хранение (Smith, 1986). По всему миру созданы генные банки (Crop Genetic Resources..., 1984). Представление о масштабах проведенной в мире работы по созданию банков семян дают таблицы 1 [1] (FAO..., 1996) и 2 [2]. Каждая из таких организаций имеет свою специализацию. С 70-х годов прошлого века в генетических банках (частных, национальных, международных) содержится более 6 миллионов образцов.

Таблица 1 – Наиболее важные коллекции растений *ex situ* Европы и США

Организация	Число образцов
National Seed Storage Laboratory, USA	268 000
Всероссийский институт растениеводства (ВИР), Россия	177 680
IPK, Gatersleben, Германия	103 000
Italian Genebank, Bari, Италия	55 806
Hungarian Genebank, Taposzele, Венгрия	45 833
Plant Breeding Acclimatization Institute, Radzikow, Польша	44 883
Nordic Gene Bank, Alnarp, Швеция	27 303

Таблица 2 – Семенные банки ботанических садов Европы (по: Laliberte, 1994)

Страна	Ботанический сад	Тип семенного банка	Число видов
Австрия	Vienna	S*	1500
Бельгия	Meise	L*	478
Дания	Copenhagen	S	7100
Франция	Porquerolles	L	1000
	Bordeaux	M*	600
	Nice	S	3140
Германия	Osnabrück	L	1750
	Düsseldorf	L	58
	Ulm	M	150
Исландия	Reykjavik	M	550
Нидерланды	Utrecht	M	700
	Nijmegen	M	440
Норвегия	Oslo	M	1300
Польша	Bydgoszcz	L	21
Словакия	Mlynany	M	230
Испания	Soller	L	100
	Barcelona	M	1722
	Madrid	M	2383
Швейцария	Geneva	L	31
Великобритания	Kew	L	3750
	Ness	S	700

\*Примечание: буквами L, M и S обозначены сохранение генофонда в долго-, средне- и краткосрочной перспективах.

Таким образом, хранение семян и тканей растений при ультранизких температурах в целях сохранения генофонда является достаточно перспективным и распространенным методом. В то же время он не лишен разнообразных недостатков. Во многих случаях отсутствует популяционный подход к отбору образцов, что особенно важно для дикорастущих видов. Многие виды отличаются быстрой потерей всхожести, в том числе за несколько часов или дней (например, мать-и-мачеха, виды тополя, ивы, березы, дуба и др.). Поэтому впереди предстоят исследования по изучению всхожести семян, роста и развития растений после длительного замораживания при

сверхнизких температурах. Угрожающие темпы снижения видового разнообразия могут не позволить «роскоши» ожидания результатов этих долговременных экспериментов. Кроме того, новое дорогостоящее оборудование для криоконсервации, управляемое при помощи компьютеров, в условиях России, видимо, еще не скоро получит массовое распространение.

Трудность заключается еще и в том, что до внедрения криоконсервации для отдельных видов необходимо провести эксперименты по изучению реакции организмов (всхожести, ритма развития и т.д.) на сверхнизкие температуры, которая показывает строгую видоспецифичность. Имеется опасность самоклональной изменчивости, возникновения генетической нестабильности.

К сожалению, криоконсервация семян и различного другого растительного материала успешно применяется в основном для сельскохозяйственных культур (что не удивительно, учитывая их экономическое значение), а опыты для сохранения генофонда редких и исчезающих видов растений не столь распространены. Случаев применения криоконсервации для этой категории сравнительно немного.

Выполнение работ по содержанию коллекции редких (охраняемых) растений флоры Беларуси, изучению их биологии и репродуктивной способности, а также формирование семенного фонда этих растений и выращивание их рассады в качестве страховых фондов, является одним из возможных методов сохранения исчезающих видов, увеличения их численности и соответственно расширения культивируемого ареала. Введение в культуру охраняемых видов, имеющих практическое значение, позволяет существенно снизить антропогенное давление на их природные популяции, а, следовательно, является эффективным методом сохранения охраняемых видов в естественных ценозах. Пока коллекционный генофонд редких и находящихся под угрозой исчезновения растений природной флоры Беларуси, сформированный в ЦБС НАН Беларуси является единственным в республике центром по изучению и сохранению биоразнообразия *ex situ*.

Необходимы исследования возможности устойчивого воспроизводства генофонда отдельных редких и исчезающих видов. Для таксонов с широкими эколого-географическими ареалами целесообразно проведение мониторинга состояния генофонда. В этих целях невозможно обойтись без масштабных исследований популяционной структуры растений. Обзор литературы доказывает, что эти звенья являются наиболее слабыми при осуществлении деятельности по сохранению генетических ресурсов *in situ*.

Применение микроклонального размножения охраняемых растений – это дополнительный способ сохранения их генофонда и предпосылка репатриации видов, исчезающих в природе. Особенно резко сокращается численность видов лекарственных и декоративных растений под воздействием различных антропогенных факторов. Важными являются специальные меры не только по сохранению их в естественных ценозах, но и целенаправленное разведение их в культуре – наиболее надежный способ сохранения *ex situ*, поскольку, это мероприятие будет способствовать созданию резервных фондов растений и даст возможность реинтродукции их в естественные ценозы.

Использование системы *in vitro* по сравнению с традиционными методами поддержания коллекций растений имеет ряд преимуществ: высокие коэффициенты размножения; миниатюризация процесса, приводящая к экономии площадей, занятых маточными и размножаемыми растениями; оздоровление посадочного материала от нематод, грибов и бактерий, вызывающих болезни растений; возможность длительного депонирования образцов с меньшими затратами на хранение. В условиях *in vitro* удастся размножить и укоренить те растения, которые трудно размножаются традиционным способом.

В коллекциях *in vitro* необходимо сохранять уникальные ассоциации генов, то есть генотипы различных популяций. Поэтому отбор образцов для сохранения *ex situ* следует проводить с использованием современных методов молекулярной биологии для анализа генетического полиморфизма.

При подборе оптимальных режимов сохранения редких и исчезающих видов растений необходимо, чтобы образцы находились в жизнеспособном состоянии и генетической подлинности. Молекулярно-генетическое исследование при работе с редкими и исчезающими видами растений позволяет провести генетическую идентификацию и паспортизацию, как исходных растений, так и регенерантов, сохраняющихся в коллекциях *in vitro*.

Разработка эффективных методов микроклонального размножения является основой работ по созданию генетических банков *in vitro* редких и исчезающих видов растений, а также одним из перспективных направлений сохранения биоразнообразия в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Farnsworth, N. Global importance of medicinal plants/ N.Farnsworth, D.Soejarto // The conservation of medicinal plants. Proc. Int. consultations (21-27 March 1988, Chiang Mai, Thailand, O.Akerele, H.Synge, eds.). - Cambridge: Cambridge university press. - 2018. - P. 25-47.
2. Hamrick, J.L. Correlation between species traits and allozyme diversity: Implication for conservation biology/ J.L. Hamrick // Genetics and conservation of rare plants (Falk, D.A. and K.E. Holsinger, eds). - Oxford University Press, Oxford, UK, 1991. - P. 75-86.
3. Красная книга Республики Беларусь: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений // И.М. Качановский, М.Е. Никифоров, В.И. Парфёнов [и др.]. – Минск: «Беларуская Энцыклапедыя» імя Петруся Броўкі, 2015. – 448 с. - ISBN 978-985-11-0843-1.

**ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КОНЦЕНТАРЦИЙ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ PM 2,5  
И PM 10 В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В РАЙОНЕ УЛ.ЗАХАРОВА  
Г. МИНСКА ПО ДАННЫМ ДАТЧИКА AIRMQ**

**CHANGE IN THE CONTENT OF PM 2.5 AND PM 10 SOLID PARTICLES  
IN THE ATMOSPHERIC AIR IN THE AREA OF ZAKHAROV STREET IN MINSK  
ACCORDING TO THE DATA OF THE AIRMQ SENSOR**

***Т. В. Шлендер<sup>1</sup>, Г. Д. Бурченко<sup>2</sup>, Е. А. Прокопчик<sup>2</sup>, Е. А. Чумаков<sup>2</sup>***

***T. Schlender<sup>1</sup>, H. Burchanka<sup>2</sup>, Y. Prakopchyk<sup>2</sup>, E. Chumakov<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Национальный научно-исследовательский центр озоносферы БГУ*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет, Факультет географии и геоинформатики*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*timajaya@mail.ru*

*heorhiburchanka2001@gmail.com*

*ogurchikop7@gmail.com*

*zhenya.chumakov.02@mail.ru*

<sup>1</sup>*National Ozone Monitoring and Research Educational Center BSU*

<sup>2</sup>*Faculty of geography and geoinformatics BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В данной статье представлены обработанные данные твердых частиц PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> датчика AirMQ по ул.Захарова г.Минска. Производилась усреднение 15 минутных показаний до среднедневных, среднемесячных и среднегодовых значений за период августа 2019 – январь 2021гг. Представлен анализ данных по сезонам года, по 15 минутным срокам наблюдений и по дням недели. Сделаны выводы о возможных природных и антропогенных причинах суточного, недельного и сезонного изменения содержания твердых частиц PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> в приземном воздухе по ул.Захарова г.Минска. Сделан анализ связи твердых частиц и городского острова тепла (приземной температуры воздуха) в районе пл.Победы.

This article presents the processed data of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> particulate matter of the AirMQ sensor on Zakharova street, Minsk. The 15 minute readings were averaged to the daily average, monthly average and annual average values for the period August 2019 - January 2021. The analysis of data by seasons of the year, by 15-minute periods of observations and by days of the week is presented. Conclusions are made about the possible natural and anthropogenic causes of daily, weekly and seasonal changes in the content of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> solid particles in the surface air at Zakharova Street in Minsk. An analysis is made of the relationship between solid particles and the urban heat island (surface air temperature) in the area of Victory square.

*Ключевые слова:* твердые частицы PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>, AirMQ, загрязнение воздуха, антропогенное загрязнение, блокирующие антициклоны.

*Keywords:* solid particles PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>, AirMQ, air pollution, anthropogenic pollution, blocking anticyclones.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-375-378>

Взвешенные частицы (PM, particulate matter) являются загрязнителем атмосферного воздуха, который включает в себя смесь твердых и жидких частиц, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии. К основным источникам PM в городских условиях относят автомобильный транспорт (частицы сгорания дизеля, бензина и эрозия дорожного покрытия, автомобильных шин), сжигание твердых видов топлива в промышленности и отопительных системах (такие как каменный уголь, бурый уголь, нефть, древесина, торф и пр.). Природным источником образования PM в городе является атмосферный перенос почвы и пыли, сажи и золы, особенно из засушливых районов, мест горения лесов и торфяников. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) относит PM 10 и 2,5 микрон, которые находятся в приземном атмосферном воздухе, к значимым факторам воздействия на здоровье людей [1].

В работе [2] указано, что на долю PM 2,5 (годовые концентрации) загрязнения атмосферного воздуха пришлось более 3 млн случаев смерти и более 3% числа заболеваний, связанных с воздействием PM 2,5 во всем мире. Твердые частицы размером PM 10 могут проникать в бронхи и вызывать воспалительные процессы. Частицы размером PM 2,5 могут достигать нижних отделов легких, проникая в другие органы человека [3].

Согласно ВОЗ [1], с целью повышения качества наблюдений за загрязнением воздуха и достоверной оценки изменений концентраций PM в странах Восточной Европы, где мало датчиков измерения PM, необходимо проводить мониторинг PM 10 и PM 2,5 в большем числе пунктов. Необходима постоянная оценка концентраций PM по стандартизированным методам или методам, близким к стандартным.

Согласно гигиеническим нормативам РБ, установленным в 2004 г., производится наблюдение ПДК трех периодов осреднения (максимальная разовая, среднесуточная и среднегодовая) для PM10 – 150 мкг/м<sup>3</sup>, 50 мкг/м<sup>3</sup>, 40 мкг/м<sup>3</sup>, и для PM2.5 – 65 мкг/м<sup>3</sup>, 25 мкг/м<sup>3</sup>, 15 мкг/м<sup>3</sup> [3].

Помимо вышеописанного наличие твердых частиц в приземном воздухе города повышают мощность городского острова тепла и теплового загрязнения. В работе [4] рассматриваются взаимозависимости городского острова тепла (UHI, urban heat island) и городского острова загрязнения (UPI, urban pollution island), где делается вывод о том, что PM2.5 уменьшают дневной максимум UHI и увеличивают ночной минимум UHI, за счет рассеивающих и поглощающих эффектов аэрозолей, что приводит к различным радиационным воздействиям в городских условиях.

Целью данной работы является установление связи между UHI и концентрацией твердых частиц PM 10 и PM2,5 на районе ул.Захарова г.Минска. В связи с этим были решены следующие задачи – первичная обработка данных датчик AirMQ, анализ данных по сезонам года, по 15 минутным срокам наблюдений и по дням недели, установить возможные причины суточного, недельного и сезонного изменения содержания твердых частиц PM2,5 и PM10 и анализ связи концентрации твердых частиц и городского острова тепла (приземной температуры воздуха по датчику температуры воздуха и температуры земной поверхности (Land Surface Temperature, LST) по данным спутника Landsat-8).

Проект AirMQ – это независимый мониторинг качества воздуха в городах Беларуси, созданный группой инженеров и экологов (<https://airmq.by>). Датчики AirMQ измеряют аэрозольные частицы различных размеров (PM1.0, PM2.5, PM10), температуру воздуха, относительную влажность воздуха и атмосферное давление. На плате датчиков размещаются два основных сенсора: сенсор пыли PMS7003 и сенсор температуры/влажности/давления BME280. Имеется широкая сеть установленных датчиков по г.Минску, которые установлены частными лицами и передают данные в режиме онлайн, что позволяет создать сеть загрязнения воздуха в г.Минске и доступность информации для каждого жителя города через приложение в телефоне. Все измерения датчика (мкг/м<sup>3</sup>) производятся каждые 15 минут. Полученные первичные данные (PM1.0, PM2.5, PM10, температура воздуха) датчика AirMQ по ул.Захарова г.Минска (координаты расположения датчика 53.907 с.ш. 27.577 в.д., в районе дома №28) за период август 2019 – январь 2021 обрабатывались в программных пакетах Microsoft Excel и Origin Pro Lab.

Обработка спутникового снимка Landsat - 8 производилась с помощью модуля Land Surface Temperature (LST) в Quantum Geographic Information System ver.2 (QGIS). Модуль Land Surface Temperature QGIS перед тем как получить поверхностную земную температуру рассчитывает показатели радиации (Radiance), далее температурную яркость (Brightness Temperature), после индекс NDVI, далее через него определяется значение излучательной способности земной поверхности (Emissivity). После предварительных расчетов модуль позволяет внести атмосферные параметры или коррекцию по географическим координатам, атмосферному давлению, относительной влажности, высоте местности и приземной температуре. Расчетная формула LST выполнялась по зависимости:

$$LST = T_B / [1 + (\lambda * T_B / c_2) * \ln(e)],$$

где  $T_B$  – температурная яркость;

$\lambda$  – длина волны излучения;

$c_2 = h * c / s = 1.4388 * 10^{-2}$  м К;

$h$  – Постоянная Планка =  $6.626 * 10^{-34}$  Дж с;

$s$  – Постоянная Больцмана =  $1.38 * 10^{-23}$  Дж/К;

$c$  – скорость света =  $2.998 * 10^8$  м/с;

$e$  – излучательная способность земной поверхности.

Все расчеты производились по 10 каналу (Band) снимков спутника. Полученная карта LST далее редактировалась в QGIS, где выбирались цветовые заливки, рисовались необходимые слои и редактировалась итоговая карта. Разрешение карты - 30 метров в одном пикселе.

В качестве исходных данных для выделения промышленных зон был использован генеральный план г. Минска и векторные данные Open Street Maps (OSM) (кварталы и улицы г. Минска). Система координат проекта: WGS 84 / UTM Zone 35N.

На рисунке 1 представлены среднесуточные данные PM2.5 и PM10 датчика. К сожалению, данные за март, начало апреля, конец октября, ноябрь и начало декабря 2020 года отсутствуют. На рисунке 2 отражены среднемесячные данные PM2.5 и PM10 датчика. Из этих двух рисунков видно, что наибольшие значения концентраций твердых частиц PM2.5, PM10 наблюдаются в зимний период (декабрь, январь) с максимальными суточными концентрациями PM2.5 свыше 50 мкг/м<sup>3</sup>, что в 1,5-2 раза выше ПДК и среднемесячными концентрациями PM 2.5 выше 25 мкг/м<sup>3</sup>, что выше ПДК в 1,5 раза. Рост концентраций начинается с октября и заканчивается в феврале-марте. Подобные тенденции могут быть связаны с началом отопительного сезона. Также осенний (октябрь 2020 г/) и летний (июнь 2020г.) резкий рост концентраций PM2.5, PM10 связывают с пожарами и антициклонными погодными условиями [4]. Максимально разовые концентрации PM2.5 в зимний период 2020 года превышали значения 105 мкг/м<sup>3</sup> и выше 180 мкг/м<sup>3</sup> в летний период 2020 года, что в 1,5-2 раза выше нормы ПДК, а максимально разовые концентрации PM10 были в пределах нормы ПДК - 187 мкг/м<sup>3</sup> в осенний период. В целом, средние значения среднесуточной концентрации PM2.5 за весь период наблюдения датчика составило 19,75 мкг/м<sup>3</sup>, максимальное значение – 57,58 мкг/м<sup>3</sup>, минимальное - 2,4 мкг/м<sup>3</sup>. Для среднесуточной концентрации

PM10 средние значения за весь период наблюдения датчика составило 23,63 мгк/м<sup>3</sup>, максимальное значение – 78,24 мгк/м<sup>3</sup>, минимальное – 3,33 мгк/м<sup>3</sup>. Из всех среднесуточных данных PM 2,5 только 42% были выше нормы ПДК в 25 мгк/м<sup>3</sup>, PM 10 – около 10% выше нормы ПДК в 50 мгк/м<sup>3</sup> за исследуемый период.

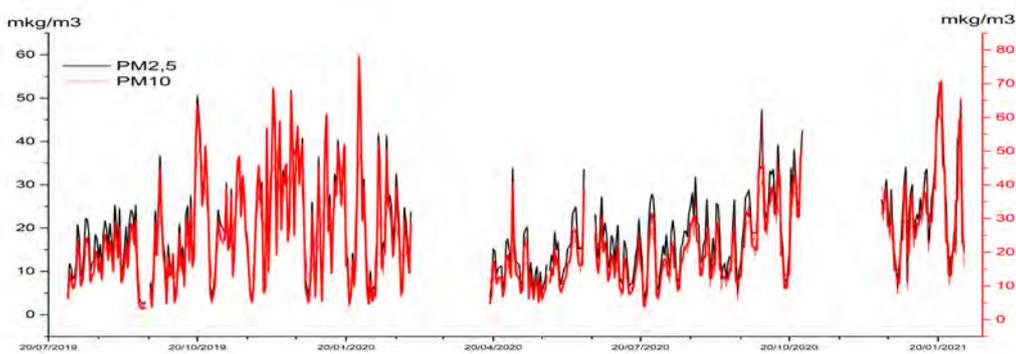


Рис. 1 – Среднесуточные данные датчика AirMQ по ул. Захарова г. Минска за период август 2019 г. – январь 2021 г.

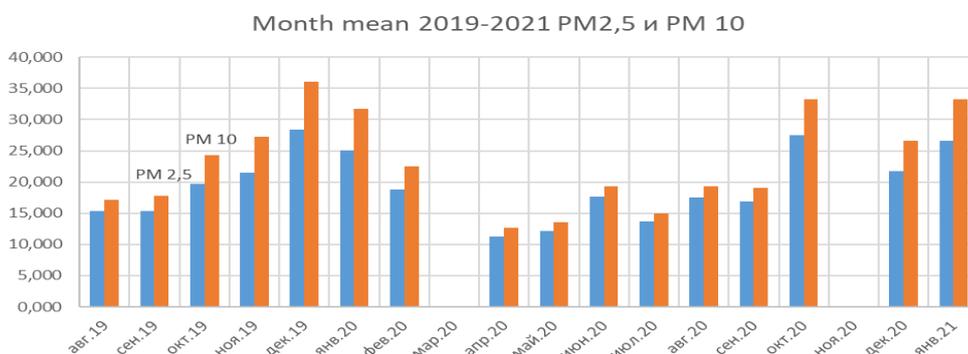


Рис. 2 – Среднемесячные данные датчика AirMQ по ул. Захарова г. Минска за период август 2019 г. – январь 2021 г.

Усредненная обработка данных датчика для каждого 15 минутного срока наблюдений в течении суток и для каждого дня недели за период август 2019 г – январь 2021 г показали, что пики роста концентраций PM 2.5, PM 10 по ул.Захарова наблюдаются в интервале времени 4.30-6 ч утра и в 18-20ч вечера, суточный минимум характерен для полуденного времени – 12-14 ч. Такие смещения пиков концентраций PM можно объяснить атмосферным переносом и усреднением значений за долгий период, потому как в отдельные дни пик концентрации начинается с 7 ч и заканчивается в 9 ч утра, а вечерний начинается с 17 ч. Суточная амплитуда составляет 5-6 мгк/м<sup>3</sup>. Среди дней недели выделяются повышенные значения PM в среду и пятницу, а пониженные – в выходные (особенно воскресенье) и четверг. Недельная амплитуда составляет примерно 1 мгк/м<sup>3</sup> (см. рис. 3). Эти изменения могут быть связаны с трафиком автомобилей в этом районе.

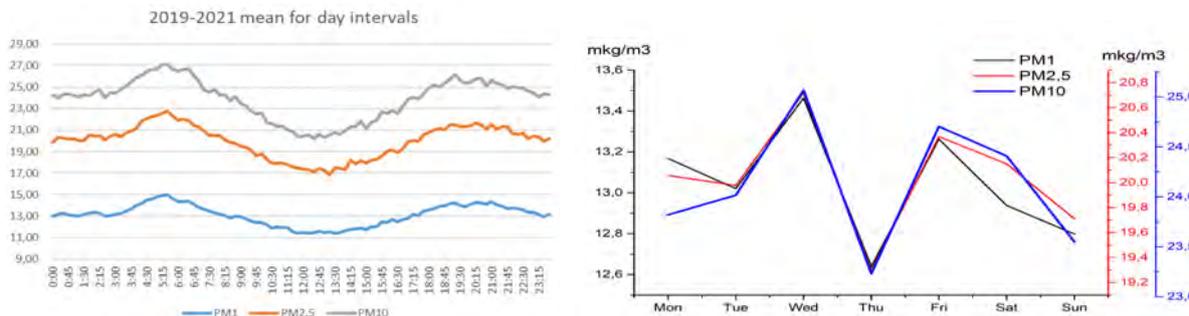


Рис. 3 – Графики изменения PM 1, PM2,5 и PM 10 для каждого срока измерения и дней недели по ул. Захарова г. Минска

Для установления связи PM и городского острова тепла (изменения приземной температуры воздуха) был построен график, где отражались кривые среднесуточных значений PM и приземной температуры воздуха за непрерывный период с 1 августа 2019г по 30 сентября 2019г по ул.Захарова (район дома № 28). Из графика (см. рис.4) видно, что в теплый период росту температур воздуха (в холодный период, зимой - снижению) соответ-

ствует рост концентраций РМ. Это связано с антициклональными условиями над г.Минском. Потому как во время прохождения циклонов, систем фронтов, с обильных осадками и сильными ветрами, воздух, вместе с загрязняющими примесями, переносится, а наличие атмосферных осадков способствует стоку твердых частиц на подстилающую поверхность. По данным спутника Landsat – 8 в районе пл.Победы на 12ч 6 февраля 2021г. температура подстилающей поверхности имела значения в интервале от  $-14,5^{\circ}\text{C}$  в зоне парка Горького до  $-9^{\circ}\text{C}$  на проспекте Независимости. В данном квартале основной зоной нагрева являются пропекст, кольцевая развилка и улицы, где большой трафик автотранспорта. Таким образом, местный перепад температур подстилающей поверхности составляет более  $5^{\circ}\text{C}$ . В районе ул.Захарова, где расположен датчик AirMQ температура подстилающей поверхности имела значения от  $-14$  до  $-13^{\circ}\text{C}$ , а концентрация РМ 2,5 на срок 12ч составила около  $18\text{ мкг/м}^3$ .

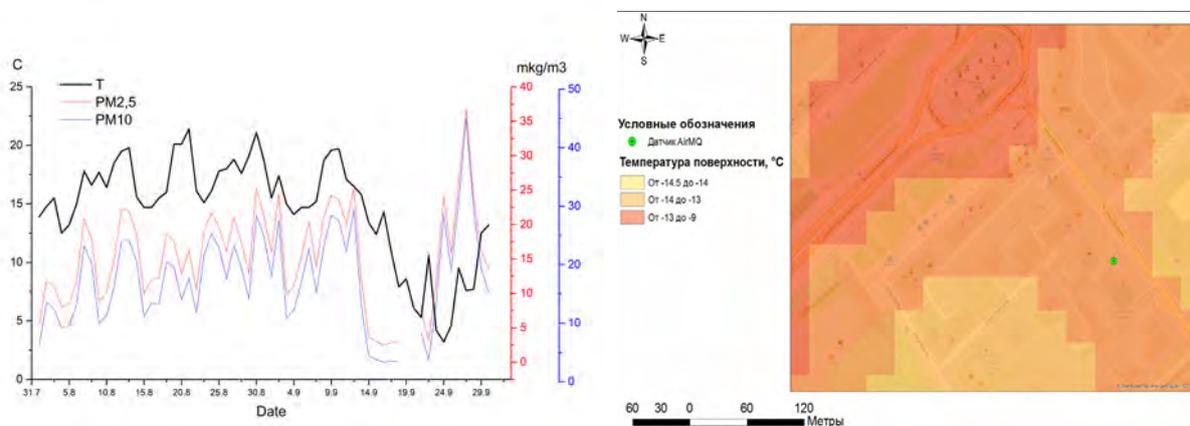


Рис. 4 – График среднесуточных значений приземной температуры воздуха и РМ 2,5, РМ 10 за период август 2019 – сентябрь 2019 г. (слева) и температура подстилающей поверхности района пл. Победы по данным спутника Landsat-8 на 12 ч 6 февраля 2021 г. (справа)

В итоге можно утверждать, что среднесуточные концентрации РМ 2,5 по ул.Захарова г.Минска почти половину дней в году превышает установленную норму ПДК. Суточные и недельные изменения концентраций РМ скорее всего зависят от плотности трафика автомобилей в районе ул.Захарова. Ежегодное увеличение РМ в зимний период связано с началом отопительного периода в г.Минске. В то же время, превышения среднесуточной нормы ПДК РМ 2,5 четко видны на длительных временных интервалах, а именно во время антициклональных, безветренных погодных условий. Связь между РМ и приземной температурой воздуха очевидна. Не до конца понятно, в каких соотношениях воздействуют друг на друга остров тепла и остров загрязнений. Для этой оценки нужны дополнительные исследования и наблюдения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ВОЗ: Воздействие взвешанных частиц на здоровье. WHO Regional Office for Europe Copenhagen, Denmark, 2013.
2. Lim SS et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. Lancet, 2012, 380: 2224–2260.
3. Просвирякова И.А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц РМ10 и РМ2.5 в атмосферном воздухе и риска для здоровья жителей в зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 2. – С. 14–22. DOI:10.21668/health.risk/2018.2.02.
4. Yang, Y., Zheng, Z., Yim, S. Y. L., Roth, M., Ren, G., Gao, Z., et al. (2020). PM2.5 pollution modulates wintertime urban heat island intensity in the Beijing- Tianjin-Hebei Megalopolis, China. Geophysical Research Letters, 47, e2019GL084288. <https://doi.org/10.1029/2019GL084288>.

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ Г.МИНСКА  
В ЛЕТНЕЕ И ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ ГОДА ПО ДАННЫМ СПУТНИКА LANDSAT-8  
STUDY OF THERMAL POLLUTION IN MINSK  
IN SUMMER AND WINTER, ACCORDING TO LANDSAT-8 SATELLITE DATA**

***T. В. Шлендер<sup>1</sup>, Н. В. Жуковская<sup>2</sup>, Г. Д. Бурченко<sup>2</sup>, Е. А. Прокопчик<sup>2</sup>, Е. А. Чумаков<sup>2</sup>  
T. Schlender<sup>1</sup>, N. Zhukovskaya<sup>2</sup>, H. Burchanka<sup>2</sup>, Y. Prakopchyk<sup>2</sup>, E. Chumakov<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Национальный научно-исследовательский центр озоносферы БГУ*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет, Факультет географии и геоинформатики*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*timajaya@mail.ru*

*heorhiburchanka2001@gmail.com*

*ogurchikop7@gmail.com*

*zhenya.chumakov.02@mail.ru*

*zhukovskaya@bsu.by*

<sup>1</sup>*National Ozone Monitoring and Research Educational Center BSU*

<sup>2</sup>*Faculty of geography and geoinformatics BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В данной работе показано распределение температурного поля г. Минска, а также влияние городского острова тепла на тепловое загрязнение города по данным спутника Landsat - 8. Были определены области повышенного теплового загрязнения в городской черте, в частности, в областях с промышленными и зелеными зонами. Проведен также анализ температурного поля г. Минска по отношению к городской застройке, этажности. Сделан вывод о качественном и количественном влиянии городского острова тепла на различные районы г. Минска.

This paper shows the distribution of the temperature field in Minsk, as well as the influence of the urban heat island on the thermal pollution of the city according to the Landsat-8 satellite. Areas of high thermal pollution in urban areas have been identified, in particular in areas with industrial and green zones. The analysis of the temperature field of the city of Minsk in relation to urban development, number of storeys was also carried out. The conclusion is made about the qualitative and quantitative influence of the city heat island on various districts of Minsk.

*Ключевые слова:* городской остров тепла, температура земной поверхности, тепловое загрязнение, Landsat-8, городская геоэкология.

*Keywords:* urban heat island, earth surface temperature, thermal pollution, Landsat-8, urban geoeology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-379-382>

Феномен городского острова тепла (Urban heat island; УИ) заключается в значительном повышении температуры городской территории (по сравнению с сельской местностью). Первые исследования данного явления появились еще в 19 веке. На раннем этапе изучения УИ делался акцент на наземных метеорологических наблюдениях, уделяя особое внимание сравнительному анализу полученных данных [1,2]. Спутниковые методы позволяют детально и дифференцировано представить тепловое загрязнение и УИ городских территорий [3]. Рост урбанизации, загрязнения городского воздуха и увеличение промышленных зон в городской черте – одна из главных антропогенных причин УИ [4].

Феномен УИ оказывает негативное влияние на качество жизни местного населения (тепловой дискомфорт, летний тепловой шок и т.д.), поэтому исследования и анализ по данной проблеме важны для рационального городского планирования [5].

В исследовании [1] было показано, что городской остров тепла определяется как для внутригородского слоя (ВГС), так и для городского пограничного слоя (ГПС). ВГС включает измерения на месте и данные от датчиков, установленных на мобильных платформах (автомобили, велосипеды и т.п.). Другими словами ВГС – это воздух, который находится между городскими зданиями и прочими объектами городской застройки. На температуру воздуха в ВГС оказывает влияние окружающие объекты, их структура, материалы и геометрия. В случае ГПС слоя (выше ВГС), источниками данных являются метеозонды, самолеты, квадрокоптеры, спутники и т.п. Воздух в ВГС является частью атмосферных воздушных масс, характеристики которого изменяются при наличии городских территорий в нижней границе.

На данный момент, было определено, что эффект УИ лучше всего проявляется в теплую часть года, в то время как в дневном цикле наибольшая интенсивность УИ наблюдается ночью. Интенсивность УИ снижается

по мере увеличения облачности и роста скорости ветра, и является максимальной при антициклонических условиях [1].

Также существует четкая взаимосвязь между размером города и величиной УНІ, который линейно коррелирует с логарифмом численности населения. В крупных американских городах при благоприятных погодных условиях интенсивность УНІ может превышать 12°C, тогда как в европейских городах она часто достигает 10°C.

В настоящее время все больше и больше исследований пытаются охарактеризовать феномен УНІ с помощью данных дистанционного зондирования. В связи с этим в данной работе рассмотрена связь между городским островом тепла и функциональными зонами г. Минска по данным спутника Landsat-8. Это поможет объяснить наличие конкретных тепловых аномалий в различных районах города Минска.

В качестве данных распределения температуры земной поверхности использовались снимки спутника Landsat - 8. Обработка снимка производилась с помощью экспериментального модуля Landsat Surface Temperature (LST) в Quantum Geographic Information System ver.2 (QGIS). Данные были использованы с сайта EarthExplorer, где скачиваются все снимки спутников Landsat. Модуль Landsat Surface Temperature QGIS перед тем как получить поверхностную земную температуру рассчитывает показатели Радиации (Radiance), далее температурную яркость (Brightness Temperature), после индекс NDVI, далее через него определяется значение излучательной способности земной поверхности – Emissivity. После предварительных расчетов модуль позволяет внести атмосферные параметры или коррекцию по географическим координатам, атмосферному давлению, относительной влажности, высоте местности и приземной температуре. Итоговая расчетная формула LST производится следующим выражением:

$$LST = T_B / [1 + (\lambda * T_B / c_2) * \ln(e)],$$

где  $T_B$  – температурная яркость

$\lambda$  – длина волны излучения

$c_2 = h * c / s = 1.4388 * 10^{-2} \text{ m K}$

$h$  – Постоянная Планка =  $6.626 * 10^{-34} \text{ J s}$

$s$  – Постоянная Больцмана =  $1.38 * 10^{-23} \text{ J/K}$

$c$  – скорость света =  $2.998 * 10^8 \text{ m/s}$

$e$  – излучательная способность земной поверхности

Все расчеты производились по 10 каналу (Band) снимков спутника. Полученная карта LST далее редактировалась в QGIS, где выбирались цветовые заливки, рисовались необходимые слои и редактировалась итоговая карта. Разрешение карты - 30 метров в одном пикселе.

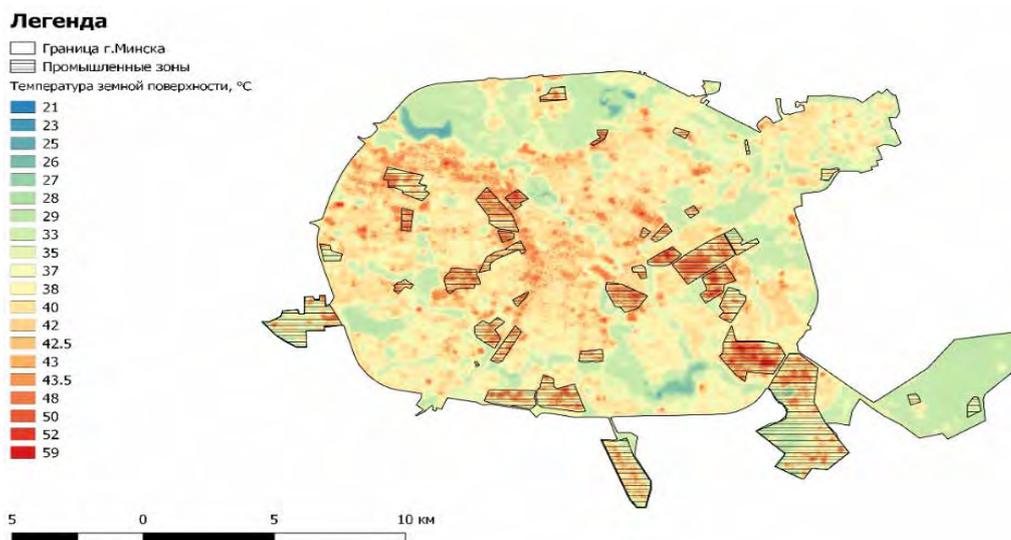
В качестве исходных данных для выделения промышленных зон был использован генеральный план г. Минска и векторные данные Open Street Maps (OSM) (граница г. Минска). Система координат проекта: WGS 84 / UTM Zone 35N.

Был проведен сравнительный анализ распределения температур земной поверхности различных районов г. Минска в зимнее и летнее время года. Для работы были выбраны снимки на 11 июня 2020 г. (9:00 UTC), а также 6 февраля 2021 г. (9:00 UTC), ввиду того, что снимки спутника Landsat-8 без облачности были доступны только в эти дни, где наблюдались антициклональные погодные условия и только в это время. По данным городских наземных автоматических метеостанций приземная температура воздуха на высоте 2 м в г. Минске на 11.06.2020 в 12 ч (местного времени) утра была около +30 °C, а 06.02.2021 в 12 ч (местного времени) утра – около -13°C.

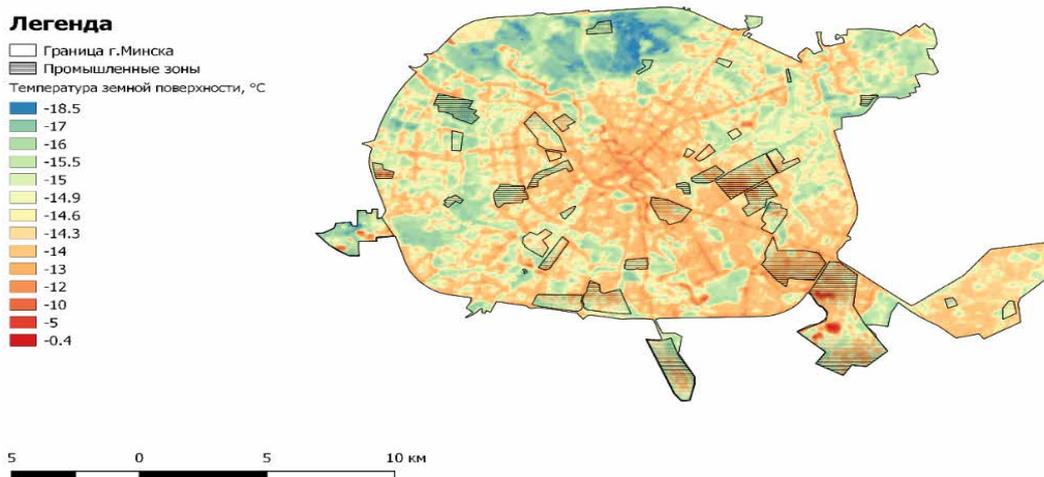
На рис. 1 представлено распределение температур земной поверхности (LST) и расположение промышленных зон г. Минска на 11 июня 2020 г. Видно, что большинство крупных температурных положительных аномалий совпадает с расположением промышленных зон. Наибольшие аномалии наблюдаются на территориях заводов МАЗ и МЗКТ. Это обусловлено в первую очередь большой площадью заасфальтированной поверхности, а также отсутствием растительного покрова. За счет низкого альбедо заасфальтированной поверхности поглощается много поступающей солнечной радиации, в результате чего температуры доходят до 59 °C, что в 2 раза больше средней температуры в городе.

Помимо прочего промышленные зоны выделяют химические выбросы, загрязняющие приземный слой атмосферы и создающие парниковые эффекты в локальной местности. Также в летний период жилые многоэтажные кварталы имеют повышенные значения температуры поверхности (Красный Бор, Масюковщина, Каменная Горка, Центр, Осмоловка, Веснянка и др.), что связано с высокой долей площади бетона и асфальта. В среднем, значения температуры земной поверхности на 11 июня 2020г колебались от 35 до 42 °C. Самые низкие значения температуры (21-23 °C) совпадают с расположением водоемов, объектов гидрографии и парковых территорий. Это обусловлено хорошей отражательной способностью воды и ее уникальным свойством теплоемкости.

На рис. 2 представлено распределение температур земной поверхности и расположение промышленных зон г. Минска на 6 февраля 2021 г. Наибольшие положительные температурные аномалии (около -0.4 °C) наблюдались в промышленной зоне микрорайона Шабаны на юго-востоке г. Минска. Скорее всего это связано с химическими газовыми выбросами в приземный слой атмосферы. Более теплые участки карты совпадают с расположением автомобильных дорог, хотя это был и выходной день, суббота. Это основные магистрали города г. Минска – проспект Победителей, Партизанский, Независимости, Машерова, Маяковского, Жукова и др. Отрицательные температурные аномалии наблюдаются в микрорайоне Новинки (до -18.5 °C). В среднем, значения поверхностной температуры на 6 февраля 2021г колебались от -16 до -12 °C.



*Рис. 1 – Карта температур земной поверхности (LST) и расположение промышленных зон г. Минска на 11 июня 2020 г.*



*Рис. 2 – Карта температур земной поверхности (LST) и расположение промышленных зон г. Минска на 6 февраля 2021 г.*

В данной работе использовался критерий SUHI (Surface Urban Heat Island) для изучения городского острова тепла по данным снимков LST спутника Landsat-8. С другой стороны, эффект городского острова тепла определяется еще ГПС и ВГС. Иначе, той атмосферной воздушной массой, которая находится над определенной городской застройкой. Больше всего тепловое загрязнение в городах происходит во время блокирующих антициклонов, где воздух опускаясь вниз, нагревается и препятствует переносу газов в городских условиях [4]. Это вызывает застой теплого воздуха в узких бетонных и асфальтных кварталах города, что приводит к усилению теплового эффекта, городскому смогу, ухудшению качества атмосферного воздуха в районах с плотной городской застройкой, где проживает большое количество людей. Это может способствовать к повышению сердечно-сосудистых и дыхательных заболеваний среди людей пожилого возраста.

В итоге распределение температурного поля г. Минска имеет следующие закономерности. В летнее время года возрастает влияние промышленных зон Минска, где температура земной поверхности в этих зонах может в 2 раза превышать температуру других частей города. Летом водоемы, объекты гидрографии и лесные зоны подвержены меньшему тепловому нагреву за счет высокой отражательной способности воды и ее уникальных свойств теплоемкости, широких крон деревьев. Жилые районы с высокой плотностью и высотой зданий подвержены большему тепловому воздействию, в отличие от частного жилого сектора. Повышение доли зеленых насаждений

в районах с высокой плотностью населения и городской застройкой поможет снизить тепловую нагрузку на проживающих там людей и повысить качество воздуха.

В зимний период амплитуда температур в 2 раза меньше, чем летом и вклад промышленных зон в формировании городского острова тепла ниже, чем летом. Возрастает роль основных автомобильных магистралей с высоким трафиком в увеличении температур земной поверхности. В первую очередь, это происходит за счет автомобильных выбросов, которые создают дополнительный газовый нагрев и уменьшают альбедо близлежащих поверхностей. Незастроенные территории в рамках городской черты, за счет большой площади снежного покрова и высокой отражательной способности поверхности, создают отрицательные аномалии температур.

Конечно, исследование единичных случаев городского острова тепла не дают полной картины изменения температурного поля г.Минска. Поэтому пополнение базы данных безоблачных снимков спутника Landsat-8 и их усредненная обработка может дать более однозначные выводы данного явления. С другой стороны, подобные исследования конкретных случаев дают определенное понимание происходящих процессов с точки зрения их взаимодействия.

Метод определения SUHI является неполноценным для исследования городского острова тепла, и должен дополняться методами наземной сети наблюдений и численным моделированием состояния атмосферного воздуха. Так как SUHI не учитывает перемещение атмосферных воздушных масс, например, блокирующих антициклонов, и связанные с этим, волны тепла в летний период и холода в зимний период.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Majkowska, A., Kolendowicz, L., Pótrolniczak, M. et al.* The urban heat island in the city of Poznań as derived from Landsat 5 TM. *Theor Appl Climatol* 128, 769–783 (2017).
2. *Гольберг, М. А.* Климат Минска / М. А. Гольберг. – Мн.: Выш. шк., 1976. – 288 с.
3. *Бурченко Г. Д., Прокопчик Е. А., Чумаков Е. А.* Изучение теплового поля территории г. Могилева по данным спутника LANDSAT-8. ГИС-технологии в науках о Земле [Электронный ресурс]: материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 18 нояб. 2020 г. 2020 Минск, Республика Беларусь, стр.171-177, БГУ
4. *Dempsey F.* A Survey of Regional-Scale Blocking Patterns and Effects on Air Quality in Ontario, Canada. *Atmosphere*. 2018. 9. 10.3390/atmos9060226.
5. *Barbieri, T.; Despini, F.; Teggi, S.* A Multi-Temporal Analyses of Land Surface Temperature Using Landsat-8 Data and Open Source Software: The Case Study of Modena, Italy. *Sustainability* 2018, 10, 1678.

### АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ НАКОПЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ТЕРНОПОЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ (УКРАИНА)

### ANTHROPOGENIC ENVIRONMENTAL CHANGES DUE TO ACCUMULATION OF SOLID HOUSEHOLD WASTE IN TERNOPIL REGION (UKRAINE)

**О. М. Ярема, Л. Я. Федонюк, Е. И. Скиба, А. Мочук**  
**O. M. Yarema, L. Ya. Fedonyuk, O. I. Skyba, A. Lesniak-Mochuk**

*Тернопольский национальный медицинский университет имени И. Я. Горбачевского*  
*МЗ Украины, г. Тернополь, Украина*  
*jaremaom@tdmu.edu.ua*

*I. Horbachevsky Ternopil National Medical University*  
*Ministry of Health of Ukraine, Ternopil, Ukraine*

Во всем мире переработка и утилизация бытовых отходов становятся все более злободневной проблемой. В процессе хозяйственного освоения нетронутых земель происходило постепенное разрушение природных экосистем и замена их антропогенными, нарушалось равновесие между отдельными видами растительного и животного миров. Это нежелательное воздействие на природу особенно проявляется на современном этапе развития человечества, характеризуется чрезвычайно стремительным демографическим ростом и быстрым научно-техническим и социально-экономическим развитием общества. Увеличение численности населения способствует росту отходов - веществ, материалов и предметов, образующихся в процессе человеческой деятельности и которые не имеют дальнейшего использования по месту образования или выявления.

All over the world, the recycling and disposal of household waste are becoming an increasingly pressing issue. In the process of economic development of virgin lands, there was gradual destruction of natural ecosystems and their replacement by anthropogenic ones, the balance between certain species of flora and fauna was disturbed. This undesirable impact of labor on nature is especially evident at the present stage of human development, which

is characterized by extremely rapid demographic growth and rapid scientific, technological, and socio-economic development of society. Population growth contributes to the growth of waste - substances, materials, and objects generated in the process of human activity, and have no further use at the place of formation or detection.

*Ключевые слова:* окружающая среда, твердые бытовые отходы, антропогенные изменения.

*Keywords:* environment, solid waste, anthropogenic changes.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-382-386>

Обеспечение жизнедеятельности человека связано с появлением огромного количества разнообразных бытовых отходов. Поэтому, проблема отходов является актуальной и достаточно острой для Украины. В настоящее время один житель в среднем производит 200-300 кг / год бытовых отходов. В настоящее время масса потока отходов, поступающего ежегодно в биосферу, достигла почти геологического масштаба и составляет около 400 млн. тонн в год, что негативно влияет на санитарно-эпидемиологическое благополучие населенных пунктов. Количество отходов растет, тогда как значительная часть из них удаляется на полигонах и свалках, расположенных и спроектированных к эксплуатации неправильно, следствием чего является негативное их воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Дымные свалки, кучи выброшенного хлама, переполненные мусорные баки – в Украине такие картины знакомы многим городским жителям. Подсчитано, что ежегодно в стране накапливается только твердых бытовых отходов 40000000 кубометров. Проблему уничтожения такой огромной массы мусора, бесспорно, можно отнести к категории экологических, и таких, которые требуют немедленного решения [1].

Одной из причин роста объемов загрязнения окружающей среды бытовыми отходами является отсутствие на региональном уровне эффективной системы сбора и сортировки отдельных видов отходов как вторичного сырья. В настоящее время только около 20% всех вторичных ресурсов задействовано в хозяйственном обороте. Как результат, на свалки попадает значительное количество материалов, которые имеют ресурсную ценность и подлежат переработке (стекло, бумага, пластик, текстиль, резина). Отходы рассматриваются прежде всего как фактор, который приводит к загрязнению окружающей среды, занимает пространство природных экосистем, негативно влияет на живые природные объекты, и поэтому требует удаления и уничтожения [1].

Сейчас в западном регионе Украины происходит рост объемов образования отходов, в том числе химически опасных, значительно распространяются площади несанкционированных свалок. При этом основными источниками образования отходов являются предприятия горнорудного, химического, металлургического, машиностроительного, топливно-энергетического, строительного и агропромышленного комплексов. Управление отходами – одна из самых сложных экологических проблем современного мира. Специалисты подсчитали, что если не уничтожать мусор, то через 10-15 лет оно укроет нашу планету слоем толщиной 5 м. Свалка - лучшее место размножения мух, тараканов, крыс, мышей, являющихся переносчиками возбудителей тяжелых инфекционных заболеваний. Природа, в которой молодым придется жить, загрязняется, подвергается разрушению, уничтожается. Наше будущее может стать ужасным, если не начать немедленно действовать.

«Тернопольский» мусор в течение нескольких последних лет является одной из основных тем для обсуждения. Проблема мусора в Тернополе - это симбиоз политики и финансирования. Именно эти два важных фактора приостановили ее решения. К сожалению, ситуация поведения Тернополя с мусором остается неутешительной. Жители города не перестают сорить на улицах Тернополя. В свое время Тернополь называли зеленой базой Украины. Впрочем, сегодня город этот статус потерял. А споры вокруг мусорной проблемы безрезультатно идут уже более десяти лет. Каждый раз новая власть обещает решить ее, однако еще все без изменений. В качестве доказательства этого, - мусор из Тернополя в дальнейшем вывозят в село Малашовцы, а мусороперерабатывающая линия, как и завод, сейчас «строятся» только на словах.

Загрязняя нашу среду мы должны понимать, что материалы, которые мы выбрасываем, разлагаются ни день ни два, это может продолжаться десятки, а то и сотни лет (время распада мусора). Бытовые отходы, разлагаясь, образуют много вредных веществ, которые отравляют воду, загрязняют воздух, наносят вред растениям, животным, человеку. В целом отходы являются неоднородными по химическому составу, сложными многокомпонентными смесями веществ, имеющих различные физико-химические и физико-механические свойства, их большое количество образуется в городах.

Все виды промышленных отходов делятся на твердые и жидкие. Также различают отходы: коммунальные (бытовые), производственного потребления, промышленные, сельскохозяйственные и строительные. К твердым бытовым отходам (ТБО) относятся отходы металлов, дерева, пластмасс и других материалов, пыль минерального и органического происхождения от очистных сооружениях в системах очистки газовых выбросов промышленных предприятий, а также промышленный мусор, состоящий из различных органических и минеральных веществ; резина, бумага, ткань, песок, шлак и т.д. Твердые отходы - отходы, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека: пищевые продукты, предметы быта, отходы после ремонта квартир, мусор общественных зданий и сооружений и другие [2]. К жидким отходам относятся осадки сточных вод после их обработки, а также пыль минерального и органического происхождения в системе мокрой очистки газов. ТБО образуются в процессе жизнедеятельности человека и накапливаются в жилых домах, учреждениях социальной сферы и не имеют дальнейшего использования по месту их образования. Накопление отходов опасные для человечества тем, что,

во-первых, природные экосистемы не успевают перерабатывать такое их количество, а во-вторых, быстро растет доля ксенобиотиков (материалы, созданные искусственным путем, которые очень медленно разрушаются в окружающей среде, например стекло сохраняется - до 1000 лет пластмасса - 500 лет полиэтилен - 200 лет консервные металлические банки - 100 лет бумага - 2-10 лет [2].

Целью всех способов является не только уничтожение ТБО, но и максимальная утилизация продуктов обезвреживания. При этом, согласно основным принципам государственной политики в сфере обращения с отходами должны использоваться «новейшие научно-технические достижения в целях реализации малоотходных и безотходных технологий».

Итак, государственная политика по проблеме бытовых отходов в первую очередь - это ликвидация существующих и предотвращение образования новых свалок, как достаточно крупных и опасных источников загрязнения и заражения окружающей среды. Во-вторых, при решении проблемы отходов должно быть соблюдено «научно обоснованное сочетание экологических и экономических интересов общества». И третье, самое главное, - обращение с отходами должно преследовать главную цель - «охрану здоровья человека, поддержание или восстановление благоприятного состояния окружающей природной среды и сохранение биологического разнообразия».

Основными методами обезвреживания ТБО являются: комплексная переработка отходов, пиролиз, сжигание, компостирование, захоронение отходов на полигонах.

Если мы будем придерживаться этих методов, это приведет к частичному решению проблемы занятости населения; значительная часть отходов снова станет товаром и это принесет значительный экономический эффект; раздельный сбор отдельных видов отходов является наиболее продуктивным по своему экономическим эффектом.

В противном результате, если эти методы переработки не будут использоваться, это может привести к снижению пропускной способности городских дорог; образованию трудностей для уборки города, создание неудобства для пешеходов, нарушение архитектурного облика и видеэкологии города, возникновению рисков возможного самовозгорания отходов; загрязнению воздуха от дыма, которое приведет к ухудшению здоровья людей; загрязнению водных объектов, что приведет к заражению почвы и подземных вод; возникновению экономических потерь от неиспользованных ресурсов.

Атмосферный воздух загрязняется во время гниения и горения бытовых отходов, а также испарения с поверхности свалки. При сжигании бытовых отходов с продуктами сгорания в атмосферу поступают: пыль 150–250 мг/м<sup>3</sup>; SO<sub>2</sub> – 50–200 мг / м<sup>3</sup>; HCL – 200–1000 мг / м<sup>3</sup>; CO – до 0,3%; альдегиды и органические кислоты – 0,3 1,5%; канцерогенные вещества – 6,5–7 мг/т мусора; имеющиеся следы HF и диоксинов [3].

Люди, которые живут вблизи свалок, в первую очередь, должны понимать, что газы и вещества, которые выделяются в результате долгого стояния отходов, могут негативно влиять на их здоровье, в первую очередь это может привести к развитию следующих патологических состояний и заболеваний: острый трахеобронхит ; отек легких; хронический бронхит; расстройства дыхания; приобретенная астма; сезонный ринит конъюнктивит и в конечном итоге это может привести к раку легких.

На сегодня одним из основных способов удаления ТБО является их захоронение на свалках, которые, в подавляющем большинстве в Тернопольской области, не отвечают санитарно-экологическим требованиям. Значительная часть свалок в сельских населенных пунктах являются стихийными, размещенные в водоохран-ных зонах, не имеют обвалования и других средств защиты окружающей среды. Длительное накопление бытовых отходов на свалках приводит к возникновению непредсказуемых физико-химических и биохимических процессов, продуктами которых являются многочисленные токсичные химические соединения в жидком, твердом и газообразном состоянии. Из-за отсутствия постоянных мониторинговых наблюдений мест складирования бытовых отходов последние являются значительными очагами загрязнения окружающей среды [3].

Как метод удаления ТБО захоронения их на полигонах имеет ряд существенных недостатков: быстрое переполнение за большого объема и малой плотности расположенных отходов; отсутствие площадей, пригодных для размещения полигонов, на удобном расстоянии от крупных городов, в сочетании с ростом цен на землю увеличивает стоимость транспортировки и депонирования ТБО. Многочисленными гигиеническими и экологическими наблюдениями установлено многофакторный влияние полигона на среду обитания и окружающую среду в целом. Полигон влияет на подземные воды, атмосферный воздух, почву. Содержание пестицидов и тяжелых металлов вокруг свалок и полигонов ТБО в радиусе 2 км превышает санитарные нормы качества почвы в 3-10 раз и более [4]. Загрязнение подземных вод фильтратом, выделение неприятного запаха, разброс летучих фракций отходов ветром, самопроизвольное возгорание полигонов, бесконтрольное образование метана, создание благоприятных условий для размножения переносчиков инфекционных заболеваний и гельминтофауны тому подобное. До сегодняшнего времени остается нерешенной проблема обращения с фильтратом и полигонным газом, кроме того, она усложняется с необходимостью продления срока эксплуатации полигона.

Загрязнение от полигонов твердых бытовых отходов распространяется в почву сточными, инфильтрационными и подземными водами, несмотря на установленные очистные сооружения. Когда загрязнения поступают в большом количестве, содержание растворимого кислорода снижается до уровня, которого недостаточно для жизни живых организмов. К резкому снижению интенсивности биохимических процессов приводят тяжелые металлы (Pb, Cu, Zn, Cd, Hg), содержащиеся в ТБО. Они характеризуются также мутагенным и токсическим действием в отношении живых организмов в почве [4].

Почвенный покров является одним из депонированных сред. Его экологическое состояние во многом зависит от различных факторов. Основными источниками его загрязнения в пределах влияния полигона: фильтратни стоки, кислые гудроны, присутствующие в атмосфере загрязняющие вещества поступают в почву, а имеющиеся в нем подвижные формы токсичных веществ частично поглощаются растениями, частично с дождевыми и талыми водами попадают в подземные водоносные горизонты.

Неудовлетворительное состояние геологической и смежных с ним сред в зоне влияния полигонов и неорганизованных свалок связан с тем, что места удаления отходов не соответствуют санитарно-гигиеническим нормам и эксплуатируются без применения превентивных и надежных мер изоляции их от подземных вод.

С подземными водами от свалок отходов в почву попадает большое количество загрязняющих веществ, которые затем поступают в подземные (особенно грунтовых) вод и в открытые водоемы, что приводит к загрязнению источников водоснабжения населения. Кроме того, вследствие расщепления органических веществ отходов, особенно тех, которые легко гнивают, образуются газы с неприятным запахом ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_8\text{H}_7\text{N}$ , меркаптаны), загрязняющих атмосферный воздух. Эти негативные проявления влияют на образование гидрохимической опасности, а также опасности загрязнения атмосферного воздуха.

Существуют технологические меры по уменьшению влияния полигона на окружающую среду: создать устройство водоотвода от полигона и от мест складирования ТБО (вертикальная планировка, водосточная канава и т.д.); внедрять устройство дизбарьера и ямы «Баккаре»; складировать ТБО в котловане; территорию полигона оградить забором; проводить дезинфекцию и дератизацию ТБО, мусоровозов, машин и механизмов; проводить промежуточную изоляция слоев ТБО (при высоте слоя не более 2,5 м) почвой толщиной 0,20 м; проводить контроль скважин и организацию работ по отбору проб для лабораторных исследований (периодически не менее 2 раз в год - весной и осенью, а также при затяжных дождях) в качестве изолирующих почв использовать супесчаные, с целью улучшения фильтрации выделяющих газов из толщины отходов; летом при температуре воздуха 100 °С и более, один раз в 7 суток территорию складирования необходимо поливать дезсредствами; регулярно очищать водоотводные каналы и др. Для исключения возможного загрязнения горных пород зоны аэрации и подземных вод существуют два подхода: 1) недопущение попадания излишнего количества влаги в тело полигона; 2) защита грунтовых вод с помощью правильного гидрогеологического обоснования выбора места для размещения полигона, обустройство водонепроницаемой основы полигона, сбор и очистка дренажных вод, удаляются.

Под первым подходом подразумевается перехвата поверхностного стока со стороны водосбора с помощью строительства нагорных каналов; понижение грунтовых вод с применением охотничьих каналов; перекрытия заполненных участков или очередей полигона водонепроницаемым слоем. Второй подход заключается в создании условий для исключения проникновения дренажных вод (фильтрата) в грунтовые воды: создание противоперфорационного экрана в основе полигона; обустройство дренажной системы для отвода фильтра из толщ тела свалки создание системы очистки фильтрата на локальных очистных сооружениях или вывоз его на централизованные очистные сооружения. Самым эффективным инженерным средством уменьшения влияния полигона ТБО на почвы и подземные воды является использование противоперфорационных экранов. Защитные экраны основания и поверхности полигона - это конструктивные элементы, обеспечивающие природоохранные функции. По минимизации влияния полигона на атмосферный воздух, то особое внимание необходимо обратить на меры снижения негативного воздействия свалочного газа, образующегося в толще тела свалки при складировании ТБО на полигонах. На 98% он состоит из метана и диоксида углерода и может использоваться в качестве топлива [4].

Использование метода термической обработки отходов позволяет уменьшить их количество в 3 раза, но при сжигании отходов образуются токсичные твердые, жидкие и газообразные вещества, а также канцерогенные соединения. Самыми опасными веществами, образующимися, являются соединения группы диоксинов. Строительство и эксплуатация мусоросжигательных заводов требует значительных средств, поскольку до 1/3 стоимости расходуется на системы очистки, в 1/2 - плата за захоронение золы.

Сравнительный анализ экономической эффективности различных технологий переработки ТБО, а именно сжигания, компостирования, сортировки и сжигания, сортировки и компостирования, комплексная переработка (комбинация процессов сортировки, термобииообработки) и сортировки с брикетированием показал, что единственным прибыльным способом является сортировка и брикетирование [4]. Этот метод имеет также неоспоримые санитарные и эколого-гигиенические преимущества. Глубокое прессования ТБО и складирования их в виде «пакетов» в корне улучшает санитарно-гигиеническую ситуацию на полигонах: тормозятся процессы гниения, прекращаются аэробные процессы, уменьшается выделение токсичного и пожароопасного газа, брикеты при достаточной плотности в аккумулируют в себе атмосферные осадки. Как следствие, исключаются характерные для полигонного захоронения ТБО проблемы: загрязнение подземных вод фильтрат полигона; пожара от возгорания биогаза.

Сбор и использование биогаза (свалочного газа) из полигонов ТБО, учитывая также на проблему с энергоресурсами для Украины на сегодня является одним из самых рентабельных методов, но не единственным. Также, как вариант, на местах свалок ТБО размещать цеха по производству катализаторов по очистке выхлопных газов. Как известно, катализаторы очистки выхлопных газов автомобилей, изготавливают из шламов - отходов производства металлургической, электронной и машиностроительной промышленности, содержащие оксиды меди, железа, хрома, никеля, марганца, кобальта и других металлов. Но анализ источников показал, что ТБО также содержат эти же вещества. Указанные оксиды находятся в шламе в высокодисперсном состоянии. Добавляя к

ним неорганические примеси при определенной обработке, возможно получать эти катализаторы. Они позволяют обеспечивать очистку выхлопных газов автомобилей от CO<sub>2</sub> до 6-0% и таким образом защищают атмосферу воздуха [5].

Итак, одним из главных эколого-гигиенических задач следует считать строительство мусороперерабатывающих комплексов и дальнейшее уменьшение неутрализованной части ТБО, внедрение на предприятиях города безотходных технологий. Утилизация свалочного газа позволят производить электрическую энергию, а также тепло, таким образом решив задачу увеличения доли использования возобновляемых источников энергии в топливно-энергетическом балансе страны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сміття – важлива екологічна проблеми. Шляхи її вирішення. Інформаційний посібник / Під ред. М. М. Скиданюк, Т. Р. Рогів, Манява, – 2010. – 60с.

2. Дяченко А.В. Наукова робота на тему: «Збір та утилізація відходів в контексті підвищення якості соціальних послуг» Полтава 2016 – 32с.

3. Тверді побутові відходи в Україні: потенціал розвитку сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами / Підсумковий звіт за 2018 рік/ Міжнародна фінансова корпорація (IFC, Група Світового банку). – 114с.

4. Молчанова А. В. Екологічні аспекти впливу полігонів твердих побутових відходів на агроландшафт, водне середовище та атмосферне повітря // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2016. – № 4. – С. 106-110.

5. Хоменко І.О., Бабаченко Л.В., Падій Я.В. Проблеми та напрями переробки твердих побутових відходів в Україні // Економіка і суспільство. – 2017. – № 12. – С. 454-459.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**



## MODERN ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES FOR TRAINING FOREIGN CITIZENS

### СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫХ ГРАЖДАН

***V. A. Tonkonogov, V. V. Zhuravkov, A. G. Sisa***  
***Б. А. Тонконогов, В. В. Журавков, А. Г. Сыса***

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*  
*boristonkonogov@iseu.by*

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,*  
*г. Минск, Республика Беларусь*

The features of the development and implementation of e-learning technologies and elements of digital infrastructure in the educational process are presented on the example of electronic educational resources for training of foreign citizens in new specialties with the corresponding profilings of the II stage of higher education in English. A feature of the organization of training is the development and use of modern electronic educational resources as educational and methodological tools, which include means of remote interaction and automation of educational activities and implemented in the environment of the electronic educational portal (learning management system) of ISEI BSU (<http://e-learning.iseu.bsu.by/>). These developments have been successfully introduced into the educational process and tested with the participation of foreign students from the People's Republic of China and the Republic of Iraq.

Представлены особенности освоения и внедрения технологий электронного обучения и элементов цифровой инфраструктуры в образовательный процесс на примере электронных образовательных ресурсов для обучения иностранных граждан по новым специальностям с соответствующими профилизациями II ступени высшего образования на английском языке. Особенностью организации обучения является разработка и использование в качестве учебно-методических средств современных электронных образовательных ресурсов, включающих средства дистанционного взаимодействия и автоматизации учебной деятельности и реализованных в среде электронного образовательного портала (системы управления обучением) МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ (<http://e-learning.iseu.bsu.by/>). Указанные разработки успешно внедрены в учебный процесс и апробированы с участием иностранных обучающихся из Китайской Народной Республики и Республики Ирак.

*Keywords:* electronic educational resources, training of foreign citizens, e-learning technologies, elements of digital infrastructure, learning management system.

*Ключевые слова:* электронные образовательные ресурсы, обучение иностранных граждан, технологии электронного обучения, элементы цифровой инфраструктуры, система управления обучением.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-389-394>

*Introduction.* The requirements for competitive specialists in the labor market are constantly changing and growing, and educational institutions have to periodically modernize and improve educational programs and training technologies. These phenomena are reflected in the development of the higher education system for training personnel in accordance with the requirements of the information society.

In the educational institution "International Sakharov Environmental Institute" of Belarusian State University (ISEI BSU), new specialties with the corresponding profilings of the II stage of higher education in English have been opened: 1-33 80 01 "Ecology (urban ecology)"; 1-33 80 05 "Biomedical science (applied immunology)"; 1-33 80 05 "Biomedical science (cytogenetics)"; 1-33 80 05 "Biomedical science (medical biochemistry)".

A feature of the organization of training in these profilings is the development and use of modern electronic educational resources as educational and methodological tools, which include means of remote interaction and automation of educational activities and implemented in the environment of the electronic educational portal (learning management system) of ISEI BSU (<http://e-learning.iseu.bsu.by/>). These developments have been successfully introduced into the educational process and tested with the participation of foreign students from the People's Republic of China and the Republic of Iraq.

*Main part.* Employees of ISEI BSU analyzed and used the experience of higher education institutions in the development and implementation of e-learning technologies and elements of digital infrastructure (computer, server and telecommunication equipment, computer networks and information systems for data transmission and processing, universal and specialized software, and so on) in the educational process, as well as advanced training of employees on digital

transformation in education. In particular, the main issues related to these problems are: the promotion of information and communication technologies in the educational process and the improvement of education in this direction; introduction of training practice using information and communication technologies; the introduction of information and communication technologies (learning management systems, cloud technologies, big data, and so on) in the educational process for education management; improving the education system, increasing competitiveness and integrating Belarusian education into the global innovation process; the use of information and communication technologies to expand the export of educational services and form the “University 3.0” model; social adaptation of educators to new innovative technologies; analysis of the effectiveness of digitalization processes in the education sector; a harmonious combination of innovative and traditional technologies for the training of comprehensively developed specialists; solving problems of the knowledge divide due to the fact that industries and technologies are changing much faster than educational outcomes and others.

The main goal of creating and using modern and convenient means of information and communication interaction in the framework of the opening of new specialties and corresponding profilings was the desire to implement the elements of digital transformation of the educational process, which consist in a significant qualitative and quantitative reorganization of the methods of providing educational services. Digital transformation in the field of education pursues not only the technical informatization of higher education institutions and the use of various information technologies, but also a change in educational forms and methods, as well as the educational process management system.

In the environment of the electronic educational portal of ISEI BSU the following distance learning courses for the relevant profilings are developed:

- 1-33 80 01 “Ecology (urban ecology)”:
  - Computer visualization of environmental information;
  - Environmental data processing methods;
  - Environmental problems of megacities;
  - Introduction to specialty;
  - Legal regulation of urbanization and technosphere;
  - Medical and demographic features of urban ecosystems;
  - Optimization of urban development;
  - Organization and market of environmental services;
  - Phytotechnology of urban restoration and improvement;
  - Project management of innovations in ecology;
  - Theory and methodology of environmental researches;
  - Urban biota and methods of its study;
- 1-33 80 05 “Biomedical science (applied immunology)”:
  - Applied microbiology;
- 1-33 80 05 “Biomedical science (cytogenetics)”:
  - Applied microbiology;
  - Cell biotechnology;
  - Computer modelling of bioactive chemicals;
  - Cytogenetic methods for diagnosis of systemic pathology;
  - Introduction to specialty;
  - Methods of molecular diagnosis of chromosomal aberrations;
  - Microbiological diagnostics;
  - Molecular cytology and genetics;
  - Oncogenetics;
  - Organization and market of services in medical and biological industry;
  - Theory and methodology of biomedical researches;
- 1-33 80 05 “Biomedical science (medical biochemistry)”:
  - Clinical biochemistry methods;
  - Clinical laboratory diagnostics;
  - Pathobiochemistry;
  - Pharmacological module. Clinical pharmacology.

These courses provide definite and discipline-specific graphical user interface and functionality for both students, teachers and staff (Fig. 1 - 5).

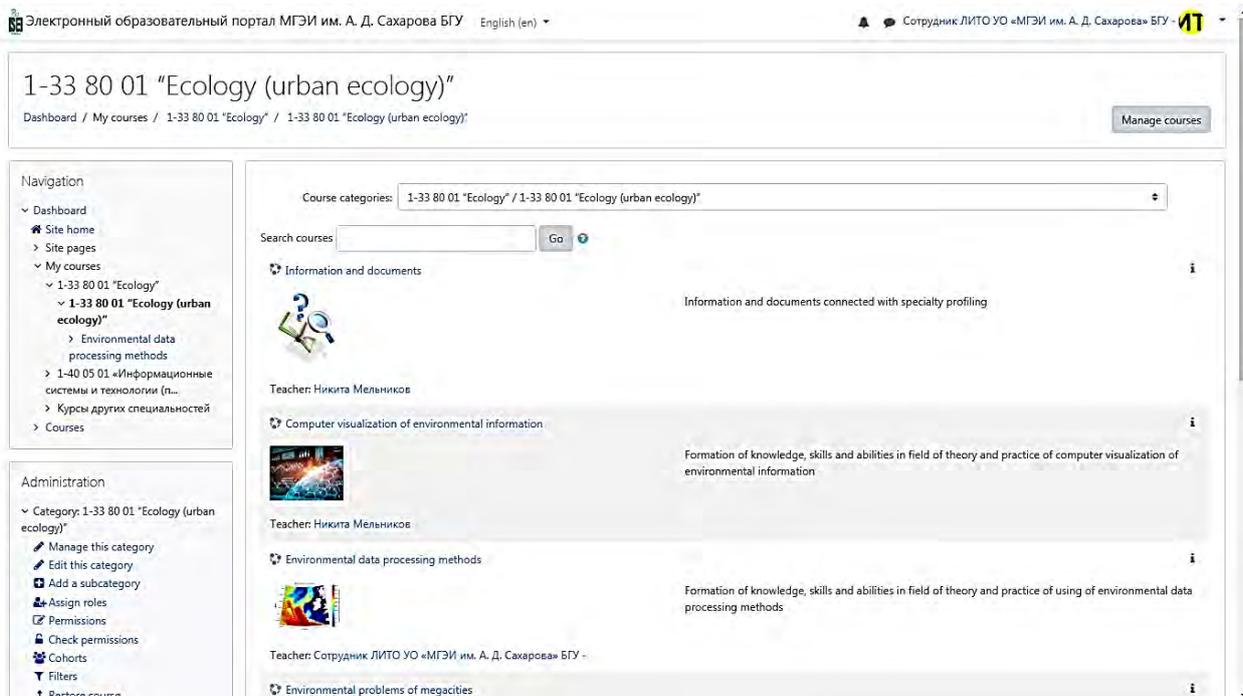


Fig. 1. Example of list of courses available to users with annotations

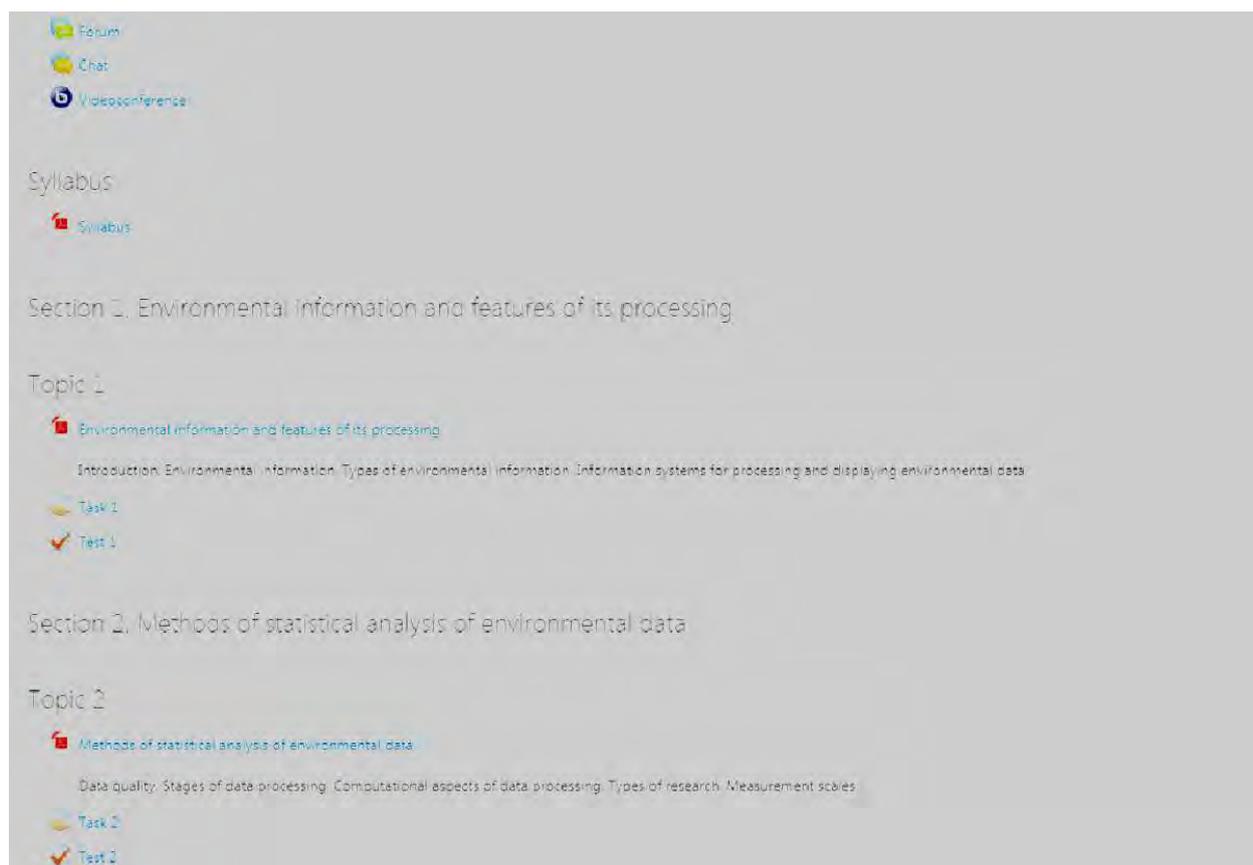


Fig. 2. Example of content and placement of course elements

### Participants

No filters applied

Enrol users

Search keyword or select filter

Number of participants: 65

Reset table preferences

First name: All A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Surname: All A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

1 2 3 4 >

First name / Surname	Email address	Roles	Groups	Last access to course	Status
Сотрудник ЛИТО УО «МГЭИ им. А. Д. Сахарова» БГУ -	lito@iseu.by	Teacher, Manager	No groups	10 secs	Active
Yuting Chu	2049575@--	Student	B01BKO3	32 mins 21 secs	Active
Ping He	2049576@--	Student	B01BKO3	1 hour 33 mins	Active
Man Yang	2049559@+.	Student	B01BKO3	1 hour 44 mins	Active
Yuhui Jing	2049547@--	Student	B01BKO3	1 hour 51 mins	Active
Pei Chen	2049541@--	Student	B01BKO3	4 hours 16 mins	Active
Xin Huang	2049579@+.	Student	B01BKO3	17 hours 7 mins	Active
Fangyan Luo	2049578@--	Student	B01BKO3	17 hours 17 mins	Active
Jinyu Zhang	2049582@--	Student	B01BKO3	18 hours 37 mins	Active
Zhenxun Shi	2049548@+.	Student	B01BKO3	18 hours 43 mins	Active
Shuai Gao	2049515@--	Student	B01BKO3	19 hours	Active

Fig. 3. Example of list of enrolled in course students and teachers

### Grader report

Grader report

Visible groups: All participants

All participants: 63/63

First name: All A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Surname: All A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

First name / Surname	Email address	Environmental data proce...			
		Task 1	Test 1	Task 2	Test 2
Pei Chen	2049541@--	9.0	9.5	-	10.0
Yinghao Chen	2049569@--	-	9.5	-	9.0
Ziyang Chen	2049552@--	-	-	-	-
Xue Cheng	379595944@qq.com	7.0	8.5	-	7.0
Yuting Chu	2049575@--	7.0	9.5	-	9.0
Wenwen Dong	2049507@--	-	8.5	-	7.5
Jun Fang	2049520@--	-	9.5	-	-
Xiangzi Fang	2049569@--	9.0	8.5	-	10.0
Ziming feng	2049526@+.	-	-	-	-
Shuai Gao	2049515@--	8.0	9.0	-	9.5
Yannan Gao	2049545@--	7.0	8.5	-	8.5
Ping He	2049576@--	-	10.0	-	10.0
Overall average		7.4	8.4	9.0	8.4

Fig. 4. Example of report on students' progress in tabular form

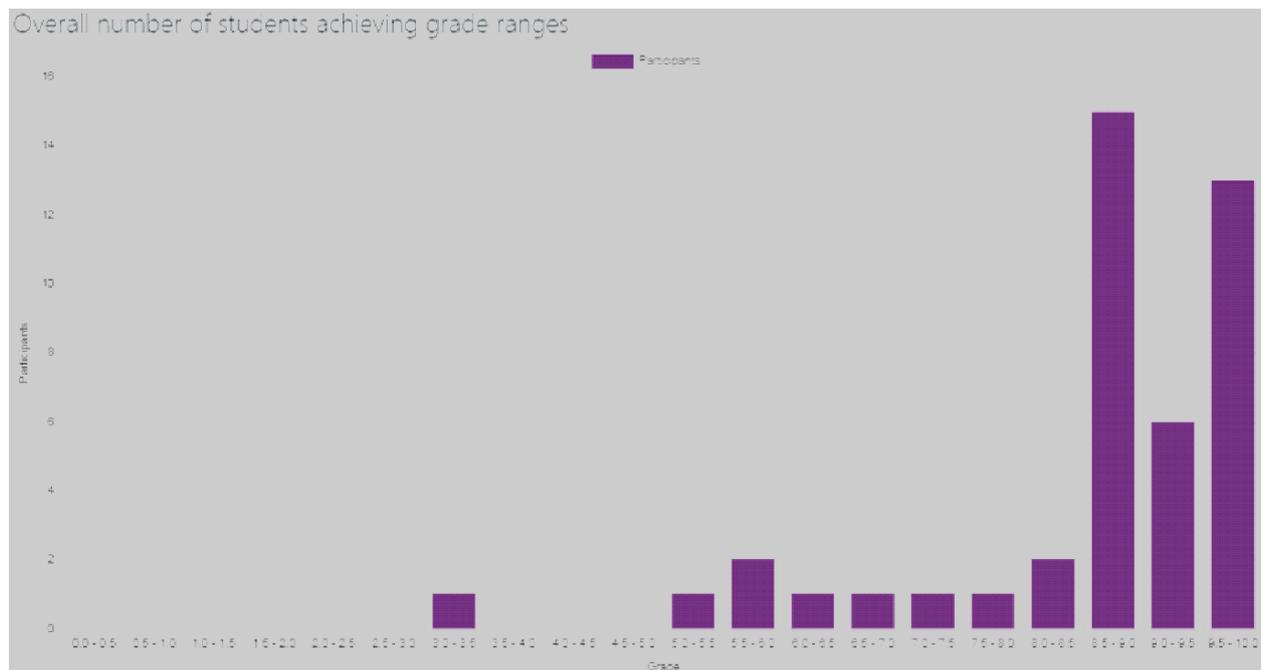


Fig. 5. Example of report on students' progress in graphical form

The developed electronic resources contain the following components, which make it possible to implement remote interaction for certain students (study groups) and teachers (departments):

- information and communication tools (posting news and announcements with the ability to create topics and attach files through the “Forum” elements, communication in the form of correspondence through the “Messaging drawer” and “Chat” elements and communication using video broadcasting through the “Videoconference” elements);
- automation tools for current and intermediate attestations (adding communication tasks, collecting and evaluating students' work, providing feedback from teachers through training elements “Task”, sending any digital content (files), such as text documents, spreadsheets, images, audio and video files and so on from the side of students);
- means of remote integrated monitoring and control of the action (activity) of students and teachers and the progress (assessment of the quality of knowledge) of students (using elements “Logs”, “Activity report” and “Statistics”);
- other means of remote interaction and consultation of the teachers with students (using elements “Messages” and “Course blogs”).

Alternatively or additionally, when assessing the results of assignments, teachers can require from students to enter their answers directly into the built-in text editor. They can also leave feedback in the form of comments, upload files with corrected student answers or audio feedback. Answers can be graded with points, a custom grading scale, or “advanced” methods such as rubrics. “Task” can also be used for the results of credits and exams, as well as for the performance (review) of master's theses. The final grades are recorded in special electronic grade journals.

Before starting the educational process students can be asked to get acquainted with the individual curricula of the specialty profilings and syllabi of courses. If they have any questions they can ask them in different ways using elements “Messaging drawer”, “Forum”, “Chat” or “Videoconference”. Different information, instructions and guidelines to educational material (lectures, tasks, tests and so on) can be situated in elements “Forum”. For example, students can be asked to make for teachers various reports or pass miscellaneous tests. There also can be questions for self-study assignments.

After the last topics of disciplines and before conducting credits and exams students can pass final tests, which contain definite number of questions and can be limited in time to a certain number of minutes. Before conducting credits or exams, students can familiarize themselves with the lists of attestation questions in elements “Questions for credit” and “Questions for exam”. For conducting the exam, they can obtain virtual exam tickets in elements “Exam tickets' questions”. In this case, the formations of answers are not required, but it is necessary to confirm (agree) with the received questions by writing the message “Confirmed”. Next, they can create virtual exam sheets in element “Answers to exam tickets' questions”. In this case, it is possible (recommended) to attach files of various formats, including graphic ones, containing answers to questions of exam tickets. The credit and exam dates and times are on schedule. Students' previous academic results are also counted towards their final grades.

Along with the provision of the educational process, the developed electronic resources make it possible to implement:

- innovative technologies to improve the quality of the educational process;
- elements of digital learning pedagogy and features of the development of educational programs;
- adaptation to the specifics of academic disciplines and the conditions for their development;
- methodological and technical support of the educational process;

- development of the competencies of teachers and specialists in the context of digital transformation of education and educational innovations;
- lifelong education based on massive open online courses, personal learning paths and universal competencies (soft skills) (critical thinking, creativity, management skills, and so on) in subjects of the educational process.

By employees of the educational and methodological laboratory of innovative education technologies of ISEI BSU the periodic monitoring is carried out with the aim of visual and functional optimization of courses, resources and e-learning tools for mobile devices, analysis of their structure and principles of development, opportunities for support (development and improvement) and use, as well as identification of problems and features of control and assessing the quality of students' knowledge using them.

*Conclusion.* Thus, the experience of developing electronic educational resources for teaching of foreign citizens has shown that in the process of digital transformation, education is becoming more and more global, and one of the priority areas of digital transformation is the development and improvement of distance learning technologies, the use of which can lead to an active transformation of forms and methods of traditional teaching. At the same time, a model of networked training of students can be implemented with the ability to study anywhere and at any time. The use of distance learning technologies in the educational process significantly increases its flexibility and attractiveness for students from other countries, creates the prerequisites for the implementation of individual educational trajectories and conditions for the export of educational services.

Developed and tested at ISEI BSU distance learning courses, electronic educational resources and tools for automating educational activities can be used both for teaching foreign citizens in English in a distance form of higher education at the II stage, and for the purpose of additional education as interactive Web-oriented means containing educational and methodological materials, replacing or supplementing the capabilities of electronic educational and methodological complexes by disciplines and intended for independent work of students (listeners), in the mode of authorized access [1 - 5].

#### LITERATURE

1. Zhuk E. Yu., Tonkonogov B. A., Kapustina T. G. Mastering and implementation of e-learning technologies and elements of digital infrastructure in the educational process in higher education institutions // Professional development of teachers in the context of digitalization of education: materials of scientific practical conf. with international participation, dedicated to the 80th anniversary of the Minsk Regional Institute of Development of Education: November 16 - 20, 2020 / ed. b.: I. P. Kondrat'eva [and others]; SEI "Min. Reg. Ins. of Development of Education". – Minsk: Min. Reg. Ins. of Development of Education, 2020. – 207 p. – P. 23 - 25.

2. Tonkonogov B. A., Zhuravkov V. V. Implementation of e-learning technologies in the educational process of higher education // Sakharov readings 2020: environmental problems of the XXI century: materials of the 20th international scientific conference, May 21 - 22, 2020, Minsk, Republic of Belarus: in 2 p. / Int. Sakh. Env. Ins. of Bel. St. Un.; ed. b.: A. N. Batyan [and others]; ed. Dr. of ph. and m. s., prof. S. A. Maskevich, Ph. D. of t. s., associate professor M. G. Germenchuk. – Minsk: ICC of the Min. of Fin., 2020. – P. 2. – 468 p. – P. 326 - 330.

3. Zhuravkov V. V., Tonkonogov B. A., Lepskaya N. D. Information technologies in the organization of innovative educational activities of higher education // Actual issues of scientific and methodological and educational and organizational work: a combination of classical approaches and innovative organizational and educational models and technologies [Electronic resource]: materials of the republican scientific and methodological conference (Gomel, March 12 - 13, 2020) / Min. of Education of the Republic of Belarus, F. Skorina Gomel St. Un.; ed. b.: I. V. Semchenko (ch. ed.) [and others]. – Electronic text data (10.5 MB). – Gomel: FSGSU, 2020. – System requirements: IE version 11 and higher or any current browser, access speed from 56 kbps. – Access mode: <http://conference.gsu.by>. – Title from the screen. – 909 p. – P. 451 - 454.

4. Zhuravkov V. V., Tonkonogov B. A., Lepskaya N. D. Application of innovative information and communication technologies for solving complex problems in the educational process of higher education // Innovative teaching techniques in physics, mathematics, vocational and mechanical training: materials of the XII Int. sc. pr. conf., Mozyr, March 5 - 6, 2020. In 2 p. P. 2 / EI I. P. Shamyakin MSPU; ed. b.: I. N. Koval'chuk (ed. in ch.) [and others]. – Mozyr: I. P. Shamyakin MSPU, 2020. – 158 p. – P. 25 - 27.

5. Zhuk E. Yu., Krasovskiy V. I., Tonkonogov B. A., Grigor'eva E. E., Kapustina T. G. Designing of distance courses in the light of additional education of specialists // Ecological Bulletin: scientific and practical journal. – N. 3(37). – Minsk: ISEI BSU, 2016. – P. 19 - 23.

# ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕТА ХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

## ORGANIZATION OF THE STORAGE AND USE OF CHEMICALS IN AN ENTERPRISE

**А. А. Акантинова, В. А. Иванюкович**  
**A. Akantinova, U. Ivaniukovich**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ*  
*г. Минск, Республика Беларусь*  
*u.ivaniukovich@gmail.com*

*Belarusian State University, ISEI BSU*  
*Minsk, Republic of Belarus*

Описана структура и функциональные возможности мобильного приложения, предназначенного для учета и заказа химических веществ, используемых на предприятии. Приложение позволяет в режиме реального времени использовать базу данных, созданную на специализированном сайте.

The structure and functionality of a mobile application designed for accounting and ordering of chemicals used in an enterprise is described. The application allows real-time use of the database created on a specialized site.

*Ключевые слова:* учет химических веществ, свойства химических веществ, режим реального времени, химическое предприятие, мобильное приложение, технологии программирования, сайт.

*Keywords:* accounting of chemicals, properties of chemicals, on-line, chemical enterprise, mobile application, programming technologies, website.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-395-398>

Во всех развитых странах химическая промышленность составляет существенную часть внутреннего валового продукта. Большие объемы химического сырья и выходной химической продукции вынуждают разрабатывать новые технологии их учета. Сегодня для этого применяются различные информационные технологии специального или общего назначения, такие как интегрированные системы управления производством на платформе 1С, электронные таблицы и т.п. Как правило, они не позволяют организовать ведение учета химических веществ непосредственно в ходе технологического процесса. Возможный путь оптимизации учета – использование мобильных технологий для организации взаимодействия со стационарными программными платформами и хранилищами данных.

В настоящее время специалисты многих химических компаний, университетов и исследовательских центров имеют возможность использовать специализированный web-сайт для учета химических веществ, созданный по заказу NASA и Гонконгского политехнического университета. Сайт предоставляет пользователям специальную платформу, которая может быть адаптирована под потребности промышленных предприятий, научно-исследовательских центров, университетских лабораторий и иных организаций, для которых актуален учет химических веществ.

Пользователи данного сайта неоднократно сообщали о том, что процесс учета достаточно проблематичен, так как многие компании, использующие данный web-сайт, имеют крупные склады и большие производственные мощности. У работников, отвечающих за складские запасы и следящих за использованием ресурсов, нет возможности вносить и изменять данные в режиме on-line. Это приводит к замедлению процесса учета, что влечет за собой удорожание продукции и создает множество проблем, связанных с неактуальностью данных. Для решения этой проблемы предлагается кроссплатформенное мобильное приложение, которое поможет решить данную проблему. Основные требования к разрабатываемому приложению следующие:

- поддержка наиболее популярных мобильных операционных систем iOS, Android и Windows Phone;
- аутентификация пользователя в системе;
- возможность редактирования данных;
- возможность добавления данных;
- доступ к необходимой информации о веществе (место хранения, количество, свойства и т.п.).

Создание кроссплатформенного приложения обусловлено необходимостью поддержки нескольких операционных систем. Реализация таких приложений связана с решением ряда проблем. Принципиальные различия в подходах построения графического интерфейса делают необходимым подстраивать приложение под требования к интерфейсу платформы. Различия в API в программных интерфейсах и реализациях функционалов также требуют различные подходы.

Характерной особенностью кроссплатформенной разработки является создание единой логики приложения с корректно отображающимся интерфейсом и функционированием на разных платформах.

Основная часть программного продукта создана на языке C# в среде разработки Visual Studio. Для реализации требований кроссплатформенности мобильного приложения использован фреймворк Xamarin.Forms. Xamarin основан на Mono, open-source реализации платформы .NET. Фреймворк позволяет создавать приложения с помощью инструментов корпоративного уровня, что позволяет проводить оптимизацию производительности приложения, а также исследование их в среде выполнения для быстрого поиска ошибок. Тестирование разработки проводится на реальных устройствах в тестовом облаке Xamarin. Система включает в себя собственный компилятор C#, среду выполнения, а также основные .NET-библиотеки. Благодаря этому достигается запуск программ, написанных на языке C#, в операционных системах, отличных от Windows, в том числе и в мобильных Android, iOS и Windows Phone, обеспечивая при этом корректность логики программы и визуализации интерфейсов. Использование фреймворка Xamarin.Forms дает ряд преимуществ. В процессе разработки создается единый код для всех платформ. Xamarin предоставляет прямой доступ к собственным API каждой платформы. При создании приложений может быть использована платформа .NET и язык программирования C#. Xamarin Forms поддерживает все упомянутые мобильные платформы. В фреймворке визуальный интерфейс состоит из страниц, которые занимают все пространство экрана, что очень удобно для разработчиков.

Пользовательские интерфейсы Xamarin.Forms отображаются с использованием собственных элементов управления целевой платформы, что позволяет приложениям Xamarin.Forms сохранять соответствующий внешний вид для каждой платформы. Пользовательские средства визуализации позволяют разработчикам настроить внешний вид интерфейсов и поведение элементов управления Xamarin.Forms на каждую платформу, соответствующую кодам самой платформы.

Для создания интерфейсов приложения используется язык разметки XAML, основанный на расширенном языке форматирования xml, который позволяет создавать объекты декларативно. Созданные в XAML объекты по своей природе совместимы с web-технологиями.

Общая архитектура приложения спроектирована с использованием шаблона MVVM (Model-View-ViewModel). Основное преимущество данного подхода – разграничение логики приложения и логики визуальной части. Каждый модуль отвечает только за свою конкретную функцию. Благодаря такому разграничению код становится более гибким и простым в поддержке. Шаблон MVVM состоит из трех компонентов: модели (Model), модели представления (ViewModel) и представления (View). Модель хранит данные и не связана с бизнес-логикой приложения. Приложение содержит отформатированные данные, соответствующие модели, и обеспечивает доступ к виджетам, отображающим информацию на экране. ViewModel обеспечивает связь модели с представлением, организуя логику поведения представления в соответствии с работой модели.

Первый этап разработки включал создание страницы аутентификации пользователя и отображение существующих данных о химических веществах в папках.

Важной задачей при разработке подобных приложений является ограничение доступа к использованию программного продукта. В нашем случае каждый пользователь имеет свой собственный логин и пароль. Аутентификация проводится через отправку запроса на сервер. Для взаимодействия приложения с сайтом (сервером) используется библиотека .NET Refit, которая позволяет применять протокол REST и формат Json для создания простого интерфейса с понятным набором входных и выходных параметров. В запросе отправляется e-mail, password, а также булевский флаг returnSecureToken, который будет указывать, необходимо ли серверу вернуть токен (электронный ключ для доступа к чему-либо). Токен будет необходим в дальнейшем для получения данных с сервера. Модуль аутентификации содержит три поля для ввода (User Name, Account и Password) и кнопку Login, касание к которой будет запускать процесс аутентификации.

Непосредственно реализация логики данной страницы представлена в классе LoginPageModel. Основным в данном классе является метод CheckLogin, который, в свою очередь, вызывает метод LoginAsync.

Метод CheckLogin:

```
private async Task CheckLogin()
{
    IsAccountValid = !string.IsNullOrEmpty(Account);
    IsUserNameValid = !string.IsNullOrEmpty(Username);
    IsPasswordValid = !string.IsNullOrEmpty>Password);

    if (IsAccountValid && IsUserNameValid && IsPasswordValid)
    {
        ErrorMessage = «»;
        if (networkInfo.GetNetworkState())
        {
            var authSuccess = await LoginAsync();
            if (authSuccess)
            {
```

```

var mainPage = FreshPageModelResolver.ResolvePageModel<StartPageModel>();
var container = new FreshNavigationContainer(mainPage,
    App.NavigationContainerName.MainContainer);
container.BarBackgroundColor = Color.FromHex(«#262831»);
container.BarTextColor = Color.FromHex(«#e2d2b6»);

CoreMethods.SwitchOutRootNavigation(App.NavigationContainerName.MainContainer);
}
else
{
ErrorMessage = «Authorization error»;
}
else
{
await CoreMethods.DisplayAlert(«Network error», «Network connection is not available», «OK»);
}
else
{
ErrorMessage = «Empty field!»;
}

```

В этом методе происходит проверка корректности введенных данных и контроль состояния сети (есть ли интернет-соединение). В случае отрицательного результата проверки выводится информация об ошибке. Если все условия выполнены, вызывается метод `LoginAsync` и при успешном его завершении происходит переход на основную страницу.

Метод `LoginAsync`, используя сервис `WebClientService`, отправляет запрос на сервер. Если ответ получен, происходит сохранение токена, в противном случае отображается ошибка:

```

private async Task<bool> LoginAsync()
{
bool success = false;
try
{
Visibility = true;
var response = await webClientService.AuthenticateAsync(Account, Password);
success = response != null;
if (success)
{
AppContext.Token = response.IdToken;
SaveApiToken(response);
SaveApi(response);
}
}
catch (NetworkException)
{
await CoreMethods.DisplayAlert(«Network error», «Network connection is not available», «OK»);
}
catch (OtherExceptions)
{
await CoreMethods.DisplayAlert(«Authorization error», «Please check entered data and then try again.», «OK»);
}
finally
{
Visibility = false;
}
return success;
}

```

Здесь же реализована логика, позволяющая запоминать состояние пользователя (авторизован ли он), для того, чтобы в следующий раз при запуске приложения не нужно было снова вводить персональные данные.

Чтобы узнать, где именно находится конкретное вещество, при помощи страницы-проводника организуется поиск папок. Папки создаются в соответствии с требованиями пользователей и могут соответствовать, например, организационной структуре предприятия. В приложении отображена текущая иерархия папок с их содержимым. Благодаря набору папок обеспечивается быстрый поиск материалов на складе.

Визуальное представление страницы-проводника реализовано в классе SearchBrowsePageModel.xaml.cs. Данные подгружаются через GET запрос, с помощью интерфейсов IFoldersApi для получения папок и IMaterialsApi для получения сведений о материалах (химических веществах). Получение данных происходит в момент инициализации данной страницы – в методе InitAsync.

В методе InitAsync происходит отправка запроса для получения папок и запроса для получения сведений о материалах (химических веществах). Модель ответа FoldersResponse имеет поля Name, Id, ParentId.

После получения данных происходит выборка папок первого поколения (начальное состояние страницы-проводника) с помощью запросов LINQ (Language-Integrated Query). В качестве источника данных могут выступать объекты различных типов, но независимо от типа источника LINQ работает одинаково. На этой же странице организован поиск веществ с предоставлением всей интересующей пользователя информации с использованием фильтров, сортировки по нескольким критериям, статуса (всего 3 статуса: active – в данный момент вещество используется, located – имеется на складе, pending – ожидание поступления на склад). При изменении значения поля “Status” автоматически происходит выборка материалов, статус которых соответствует выбранному, и обновление их свойств.

Со страницы материалов есть возможность перейти к редактированию конкретного химического вещества и внести необходимые данные.

Для отображения месторасположения конкретного химического вещества на складе или в структурном подразделении предприятия подключаются карты Google Map. Создание этого блока связано с тем, что часто различные подразделения предприятия территориально разделены.

Взаимодействие созданного прототипа мобильного приложения с сайтом учета химических веществ, используемых на производстве, обеспечивает реализацию основных требований к программному продукту, в том числе ограничение доступа к хранящимся данным, создание пользователями удобной файловой системы для быстрого доступа к необходимым данным, подключение карт Google Map для отображения местоположения конкретного химического вещества, редактирование и сортировку данных.

## **КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ФЛУДАРАБИН ФОСФАТА С ЭМОКСИПИНОВОЙ СОЛЬЮ (F-PE) QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF FLUDARABINE-P WITH EMOXIPINE SALT (F-PE)**

***М. А. Атрошко, С. Альбасри  
M. A. Atroshko, S. Albasri***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, Минск,  
Республика Беларусь*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

*atroshkomikhail@gmail.com*

*yuridragonv@gmail.com*

В работе приведены данные полуэмпирических и теоретических расчетов молекул в среде растворителя, их спектр поглощения и оптимизированная структура с значением полной энергии системы.

The paper presents the data of semi-empirical and theoretical calculations of molecules in the medium of the solvent, their absorption spectrum and the optimized structure with the value of the total energy of the system.

*Ключевые слова:* PM6, DFT, спектр.

*Keywords:* PM6, DFT, spectra.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-398-401>

### **Предварительное квантово-химическое моделирование молекулы**

Для расчетов использован персональный компьютер с процессором intel core i7 (2.21 GHz CPU) с установленной операционной системой Ubuntu 18.04. При вычислениях стартовой геометрии молекулы с азометиновым основанием выбран метод молекулярной механики (ММ<sup>+</sup>) программного пакета HyperChem 08. Выбор метода ММ<sup>+</sup> обоснован тем, что он разработан для органических молекул, учитывает потенциальные поля, формируемые всеми атомами рассчитываемой системы, и позволяет гибко модифицировать параметры расчета в зависимости от конкретной задачи. Стартовую геометрию молекулы дополнительно оптимизировали в среде растворителя воды (water) полуэмпирическим методом PM6 программного пакета Gaussian 16 до достижения глобального минимума

полной энергии изучаемых систем. Для нахождения глобального энергетического минимума и наиболее устойчивых конформеров анализировали все стационарные точки на поверхности потенциальной энергии молекул. Методом РМ6 находят оптимизированные геометрические конфигурации, общую энергию молекул, электронные свойства и энтальпию образования веществ. Для визуализации результатов использована программа Gauss View 06. Равновесная геометрия молекулы полуэмпирическим методом РМ6 приведена на рисунке 1.

$E = -2071.31$  Hartree

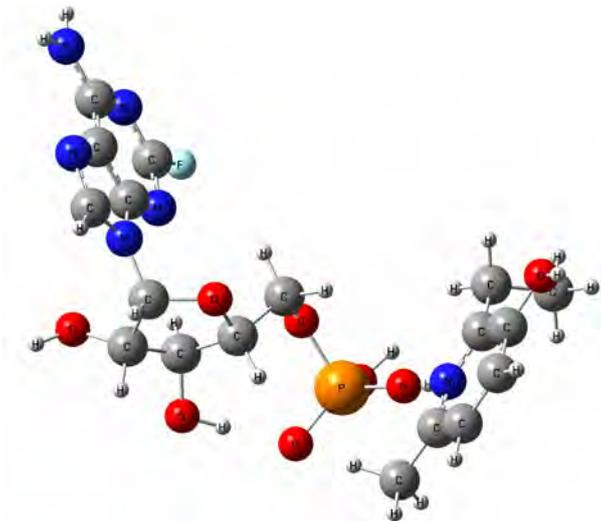


Рис. 1 – Оптимизированная молекула F-PE методом РМ6

### Полное квантово-химическое моделирование равновесной геометрии и электронной структуры молекулы

Полная оптимизация и расчет электронной структуры проводились неэмпирическим методом DFT/ RB3LYP в базе 6-31++G. Данный метод используется для расчета оптимизированных геометрий, электронных абсорбционных спектров, значений полной энергии и теплоты образования и применен нами для расчета электронного спектра поглощения молекул. Электронный спектр молекулы F-PE рассчитан для 20 одноэлектронных возбуждений в области нм. Результаты расчета абсорбционного спектра даны в таблице 1.

Таблица 1 – Рассчитанный электронный спектр поглощения молекулы F-PE

Состояние	Длина волны, нм	Энергия перехода, эВ	Разложение волновых функций по однократно возбужденной конфигурации	Сила осциллятора (f)
$S_0 \rightarrow S_1$	292.26	4.2422	131 ->132 0.70700	0.00
$S_0 \rightarrow S_2$	272.33	4.5528	118 ->134 -0.12085 130 ->132 0.69018	0.1961
$S_0 \rightarrow S_3$	254.51	4.8714	129 ->132 0.69533	0.0001
$S_0 \rightarrow S_4$	252.39	4.9124	125 ->132 -0.12413 126 ->132 0.13321 127 ->132 -0.11097 128 ->132 0.66532	0.0013
$S_0 \rightarrow S_5$	248.07	4.9980	131 ->133 0.66109 131 ->136 0.14134	0.3372
$S_0 \rightarrow S_6$	243.10	5.1001	123 ->133 0.11624 126 ->133 -0.18542 128 ->133 0.13365 129 ->133 0.12933 131 ->133 -0.19159 131 ->135 0.33379 131 ->136 0.48582	0.0472
$S_0 \rightarrow S_7$	241.83	5.1270	127 ->133 0.43928 128 ->133 0.16360 129 ->133 0.48437 131 ->136 -0.13179	0.0054
$S_0 \rightarrow S_8$	238.21	5.2048	+ 125 ->132 0.58550 127 ->132 0.30338 128 ->132 0.19223	0.0004
$S_0 \rightarrow S_9$	236.47	5.2431	123 ->132 -0.23042 124 ->132 -0.35568 125 ->132 -0.23387 127 ->132 0.49568	0.0049

Состояние	Длина волны, нм	Энергия перехода, эВ	Разложение волновых функций по однократно возбужденной конфигурации		Сила осциллятора (f)
$S_0 \rightarrow S_{10}$	232.34	5.3364	125 ->132 126 ->132 128 ->132	0.14594 0.67262 -0.11113	0.0004
$S_0 \rightarrow S_{11}$	231.65	5.3523	122 ->132 123 ->132 124 ->132 125 ->132 127 ->132	-0.12010 0.36302 0.39786 -0.19858 0.38068	0.0049
$S_0 \rightarrow S_{12}$	230.27	5.3843	131 ->134 131 ->135 131 ->136	0.66156 0.15398 -0.18531	0.0000
$S_0 \rightarrow S_{13}$	227.95	5.4390	131 ->134 131 ->135 131 ->136	-0.23313 0.57847 -0.31994	0.0000
$S_0 \rightarrow S_{14}$	224.25	5.5289	122 ->132 123 ->132 124 ->132 125 ->132 126 ->132	-0.33936 0.41902 -0.41515 0.12588 -0.12152	0.0025
$S_0 \rightarrow S_{15}$	223.99	5.5352	130 ->133	0.70677	0.0000
$S_0 \rightarrow S_{16}$	222.36	5.5758	127 ->135 127 ->136 128 ->135 128 ->136 129 ->135 129 ->136	0.17046 0.37009 0.10770 0.16809 0.30452 0.42268	0.0032
$S_0 \rightarrow S_{17}$	218.88	5.6645	125 ->135 125 ->136 126 ->135 127 ->135 128 ->134 128 ->135 128 ->136 129 ->135	-0.23343 0.10965 0.17878 -0.10544 0.19197 0.51199 -0.16585 -0.11008	0.0085
$S_0 \rightarrow S_{18}$	218.39	5.6773	125 ->133 128 ->133 129 ->133	0.10551 0.61420 -0.28737	0.0199
$S_0 \rightarrow S_{19}$	217.65	5.6965	124 ->133 125 ->133 127 ->133 128 ->133 129 ->133	0.10242 -0.18883 0.48767 -0.17273 -0.38185	0.0174
$S_0 \rightarrow S_{20}$	216.33	5.7312	118 ->132 122 ->132 130 ->134 130 ->135	0.26333 -0.10461 0.56835 0.25293	0.0526

Первая интенсивная полоса поглощения с максимумом при 272.33 нм относится к переходу в возбужденное синглетное состояние молекулы ( $S_0 \rightarrow S_2$ ). Расчеты показывают, что данное возбужденное состояние описывается волновой функцией, отвечающей наложению двух функций: (118 ->134), (130 ->132). Возбуждение электрона с 130 молекулярной орбитали (МО) на нижнюю вакантную молекулярную орбиталь 132 дает главный вклад в полосу поглощения при 272.33 нм (табл. 1, рис. 2,3).

Вторая широкая и интенсивная полоса поглощения с максимумом при 202.74 нм относится к переходу в возбужденное синглетное состояние молекулы ( $S_0 \rightarrow S_5$ ). Расчеты показывают, что данное возбужденное состояние описывается волновой функцией, отвечающей наложению восьми функций: (131 ->133), (131 ->136). Возбуждение электрона с 131 МО на 133 МО дает главный вклад в полосу поглощения при 202.74 нм (табл. 1, рис. 2,3). Остальные переходы имеют маленькое значение  $f$  и запрещены по симметрии.

Теоретический спектр поглощения оптимизированной молекулы в среде растворителя рассчитан с помощью программного пакета Gaussian 16, используя уровень теории RB3LYP/6-31++G. Усредненный масштабирующий коэффициент программы при расчете УФ спектров равен 0.99. Рассчитанный электронный спектр поглощения молекулы в среде растворителя представлен на рисунке 2 [1,2].

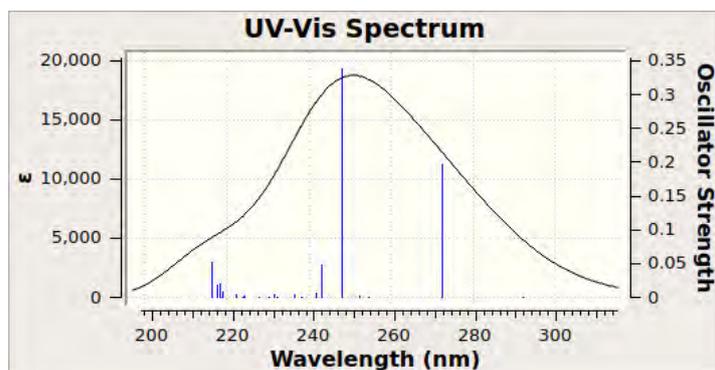
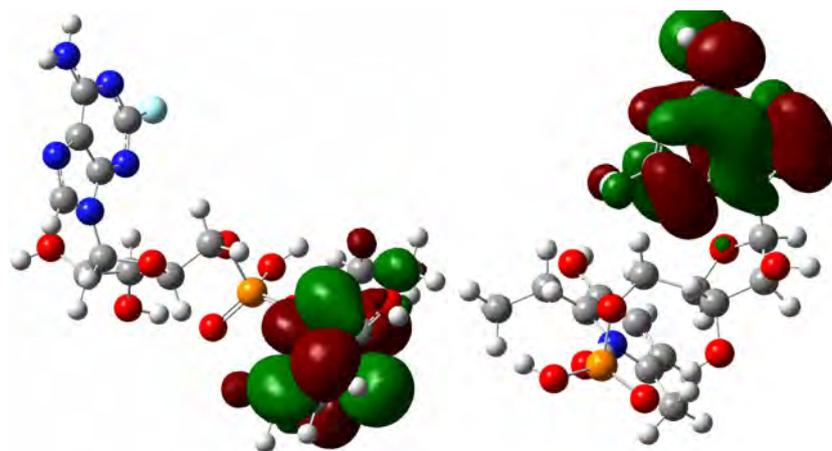


Рис. 2 – Спектр поглощения молекулы



*HOMO*

*LUMO*

Рис. 3 – Виды молекулярных орбиталей, участвующих в образовании спектра поглощения молекулы F-PE при  $\lambda = 272.33$  нм

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Srdana Grgurevic, Patricia Montilla-Perez, Alice Bradbury, et al. DNA polymerase  $\gamma$  gene expression influences fludarabine resistance in chronic lymphocytic leukemia independently of p53 status. *Haematologica* 2018;103(6):1038-1046; <https://doi.org/10.3324/haematol.2017.174243>.
2. Siyamak Shahab\*, Masoome Sheikhi, Mehrnoosh Khaleghian, Marina Murashko, Mahin Ahmadianarog and Mikhail Atroshko, “Investigation of Adsorption Effect of Carbon Monoxide on Coniine: A DFT Study”, *Letters in Organic Chemistry* (2020) 17: 1. <https://doi.org/10.2174/1570178617666210108114822>

## БИОПРОТЕЗИРОВАНИЕ, ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ BIOPROSTHETICS, PROGRAMMING AND USE OF BIONIC PROSTHESES

**Д. Д. Вышидкевич, Е. А. Васюкевич, Л. А. Липницкий**  
**D. D. Vyshidkevich, E. A. Vasykevich, L. A. Lipnickij**

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь

[yc9911111@gmail.com](mailto:yc9911111@gmail.com)

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В современном мире проходит активное развитие технологий и роботизация бесчисленного числа производств, но несмотря на это, уровень травматизма по всему миру сохраняется на прежнем уровне. Ежегодно, по тем или иным причинам, более 50 миллионов человек приобретают инвалидность. Потеря конечностей

негативно влияет на уровень физической и социальной активности человека. Для изменения негативного влияния травмы, человечество всячески изменяет инфраструктуру городов, делая среду более благоприятной и адаптированной для лиц с ограниченными возможностями, а также прибегает к изготовлению искусственных конечностей – протезов и биопротезов.

In the modern world, there is an active development of technologies and robotization of countless industries, but despite this, the level of injuries around the world remains at the same level. Every year, for one reason or another, more than 50 million people acquire disabilities. Loss of limbs negatively affects a person's level of physical and social activity. To change the negative impact of trauma, humanity is changing the infrastructure of cities in every possible way, making the environment more favorable and adapted for people with disabilities, as well as resorting to the manufacture of artificial limbs – prostheses and bioprostheses.

*Ключевые слова:* протезирование, протез, бионика, искусственная конечность, травмы, информационные системы.

*Keywords:* prosthetics, prosthesis, bionics, artificial limb, trauma, information systems.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-401-404>

С развитием человечества прогрессировали и технологии развития протезов. С каждым годом они становились всё совершеннее и технологически более сложными. От деревянной имитации облика конечности до сложного механического произведения искусства. Но даже к настоящему времени не существует ни одного стопроцентного проекта по созданию бионической руки. Различные протезы рук помогают их владельцу удерживать некоторые предметы, справляться с рутинными делами, единичные экземпляры даже могут имитировать некоторые тактильные ощущения благодаря датчикам нервных сигналов и подобием кожных рецепторов.

Ранее протезы крепились к телу пациента механически, при этом не имея никакой связи с нервной системой своего носителя. Любое, даже самое минимальное движение в суставах-шарнирах требовало больших усилий. Поведение протеза необходимо было регулировать нефизиологическими движениями мышц, для обеспечения обратной связи и дальнейшего выполнения простых команд, список которых состоял из простых «топорных» действий. Практически вся мелкая моторика для таких устройств была недоступна.

На сегодняшний день протезы рук обладают более широким функционалом. Они представляют собой металлическую или пластмассовую кисть, покрытую латексной или поливинилхлоридной оболочкой, а крепятся при помощи пластмассовой неспадающей приёмной гильзы или других видов крепления («Манжетка», «Уздечка», ремешковое, гильза плеча с облегченными или обычными шинами и локтевыми шарнирами). Различные варианты захвата и сжатия предметов, расширенный набор движений для выполнения повседневных действий. Всего этого удалось достичь благодаря переходу к нейрофизиологическому принципу работы биопротезов.

Это помогло значительно упростить работу с устройством, частично вернуть пациенту ощущение обладания полноценной конечностью, дать возможность пациентам заниматься спортом, а также упростить выполнение простых бытовых действий: работа с компьютером, глажка белья, использование столовых приборов, открытие пластиковых бутылок и так далее. Однако протезы рук, доступные в настоящее время, ещё очень далеки от функциональности человеческой руки. Улучшения функциональности возможно достичь, если внедрить в протез мелкую моторику с сотнями различных вариаций движений. С механической точки зрения это даже возможно, но пока появляется временно непреодолимый барьер с системой управления.

Управление протезом такого типа происходит посредством регистрации биопотенциалов нервных волокон, которые находятся в уцелевших группах мышц конечностей, или напрямую, считывая изменения электрических сигналов от головного мозга. При желании пошевелить конечностью возникает конкретный нервный импульс, который приводит к изменению электрического биопотенциала мышцы и улавливается специальными датчиками прибора. Данная система работает при помощи ЭМГ-датчиков, после чего информация с них передаётся на микропроцессор кисти, где после преобразования через компьютерные алгоритмы кисть получает двигательные команды. Такая система ограничивается каналами считывания сигнала. На среднестатистических протезах верхних конечностей обычно используют два канала приема (по датчику на двух мышцах). Пользователь с такой системой может выполнять два действия в зависимости от активной в данный момент мышцы. Добавление функциональности в данную схему осуществляется путем переключения режимов (смена режима осуществляется при сокращении двух активных мышц одновременно). Далее система изменяет свою конфигурацию и выполняет другой набор из двух действий. При данной схеме вполне реально обучить пользователя использовать кисть без потерь времени на обдумывание предстоящего действия. Однако сделать аналогичную вещь для схемы, где речь шла бы о сотне и тысяче действий, невозможно. Даже увеличение числа электродов, с последующим увеличением числа каналов до 4, 6, 8, 10, не даст нужного нам результата. У человека попросту будут уходить минуты на попытки задействовать определенные группы мышц для реализации необходимого в данный момент движения протеза.

В протезировании также нашли своё применение протезы, в которых вместо электрической энергии для приведения в действие механизмов используют энергию сжатого газа. В качестве источника питания в данном случае выступает расположенный в гильзе протеза пневмоаккумулятор сжатого углекислого газа.

Материалы протезов в наши дни должны обладать целым рядом уникальных свойств. Независимо от конечного назначения материала, он должен быть безвреден для организма. Если речь идёт о материале для приемных

гильз протеза, то ему необходимо обладать устойчивостью к колебаниям температуры и деформации в процессе эксплуатации. Необходимо, чтобы такой материал допускал термическую и механическую формовку, был удобен для подгонки протеза и легко подвергался последующей гигиенической обработке. Также есть целый ряд других специфических свойств, которыми должен обладать материал для протезов других видов и иного назначения, такие как клапаны сердца, зубные протезы и протезы для проведения операций по шунтированию.

В данный период для создания протезов широко применяются полимеры, облегченные сплавы (магниевый сплав, дюралюминий) и др. Гильзы обычно изготавливаются из полимерных материалов. Протезы нижних конечностей в зависимости от материала, из которого они изготовлены, могут быть деревянными, металлическими, шинно-кожаными, пластмассовыми и комбинированными. Деревянные протезы (как правило, используют липу) имеют достаточно малый вес, не так сильно деформируются при эксплуатации, но не обладают такой эластичностью, как шинно-кожаные. Металлические протезы в свою очередь прочны, гигиеничны и долговечны, но трудны в моделировании и в подгонке.

Новейшим достижением в области протезирования является появление такой отрасли как нейропротезирование. Медицина в сотрудничестве с цифровыми технологиями и биоинженерией движется к созданию протезов, которые будут превосходить по функционалу все ныне существующие. Речь идет о восстановлении осязательных чувств, которые были потеряны пациентом. Примером может послужить кохлеарный имплантат, который уже на сегодняшний день восстанавливает функции барабанной перепонки и стремечка, за счёт имитации частотного анализа в ушной улитке. Наружный микрофон улавливает и обрабатывает звуки, после чего обработанный сигнал поступает на имплантированный блок, который через микроэлектродный массив стимулирует волокна слухового нерва в улитке. Нейропротезирование – многообещающая область медицины и науки в целом, которая наверняка создаст себе прочную базу и станет неотъемлемой частью повседневного быта для людей, которые при каких-либо обстоятельствах лишились той или иной конечности. Однако при разработке нейропротезов стоит учитывать, что мозг нужно будет “заставить научиться” чувствовать и распознавать сигналы от новообращенной конечности.

После решения проблемы “общения” протезов с нервной системой человека поднимается вопрос о возможности сращивания биологических тканей с искусственным модулем (остеоинтеграция). Регулярно проводятся эксперименты по сращиванию титановых имплантатов с костями, мышцами, кожей. Достижение успехов в этой области позволит вовсе отказаться от использования гильз и механического крепления на протезах.

Ещё одним перспективным развитием отрасли в протезировании является разработка экзоскелетов. Уже сегодня эти устройства всячески применяются в различных областях жизни человека. Экзоскелет – некий механизм, одеваемый на человека и обеспечивающий движения с помощью системы моторов. Область применения экзоскелетов довольно широка. Они применяются в военной и рабочей сфере, для облегчения мышечной нагрузки при тяжелой физической работе, для защиты от травм наиболее уязвимых частей тела (плечевые суставы, позвоночник). Также экзоскелеты используются для реабилитации больных людей, которые утратили возможность передвигаться, “заставляя” неработающие мышцы совершать движения в их привычной амплитуде, для дальнейшего восстановления функционирования парализованных конечностей. Кроме того, люди, утратившие возможность передвигаться самостоятельно, могут с его помощью стоять и даже ходить. И хотя на данном этапе развития экзоскелеты являются довольно громоздкими и узконаправленными, эта отрасль на стыке робототехники, биоинженерии и медицины является так же очень перспективной.

Несомненно, что прогресс в развитии протезирования есть. Благодаря достижениям современной медицины воссозданы протезы органов слуха и зрения, а также конечностей с биоэлектрическим управлением. Сегодня конструирование протезов основано на использовании достижений биомеханики, физиологии, механики, электроники, электромеханики, химии, физики, технологии материалов, математики и прочих практических и научных дисциплин. Люди, потерявшие свои конечности, перестают чувствовать себя неполноценными, а спрос на протезы растет с каждым днем. Но несмотря на это существует и постоянная потребность в улучшении бионических протезов. Это связано в первую очередь с тем, что перед протезами ставится задача восстановления сенсорных способностей и полного спектра двигательных функций утраченной конечности. Так что же мешает протезам прочно войти в жизнь человека?

На данный момент все модели рук и ног не могут развивать достаточных усилий, работают недостаточно чувствительно, точно и свободно. Ученые в области бионики по всему миру пытаются решить эту проблему при помощи использования технологии искусственных мышц на основе углеродных нанотрубок. Данная технология по своей работе может превзойти «живые» аналоги, а её чувствительность к малейшим изменениям давления даёт возможность использовать нанотрубки в качестве переключателей в компьютерных чипах и микросхемах, встроенных в протез.

Следующая проблема, которая препятствует развитию протезирования – зашумленность передаваемого сигнала. Из-за данного явления наблюдается задержка в реакции протеза, что не даёт возможности использовать искусственные конечности там, где эта самая скорость реакции просто необходима. Однако и для этого недочёта уже придумали возможное решение. Предлагается имплантировать датчики внешнего устройства непосредственно в двигательные центры коры мозга, что почти наверняка сведёт задержку отклика к минимуму.

Из-за использования протеза могут развиваться болезни культуры. Особенно частым является хронический венозный застой. Его причинами служат неправильно собранный протез, повышенный режим вакуумного клапана, тесная приёмная область, длительное стояние на протезе, и его нерациональное крепление. Также это может

привести нарушению кровообращения и лимфооттока, возникновению в тканях культы мягкотканых валиков над краем протеза, трофических язв, бурсита и гиперкератоза. Профилактика нежелательных последствий заключается в правильной сборке протеза, хорошей подгонке приёмной полости и тщательным уходом за протезом и культёй.

Следующей проблемой по счёту, но не по значению, является доступность. Данный аспект мешает широкому распространению протезирования. Стоимость новой конечности может достигать 50-100 тысяч долларов, что несомненно ограничивает возможность массового внедрения и ставит под сомнение доступность данной технологии. В начале 2014 года все части протеза начали печатать на 3D-принтере, что значительно снизило их итоговую стоимость, но всё ещё не позволило сделать их доступными для всех нуждающихся.

Ещё одной из ключевых проблем современной носимой электроники является небольшая емкость встроенных в неё аккумуляторов. Учёным и производителям постоянно приходится идти на компромисс: либо использовать большой объем батареи, при этом сделать устройство массивнее, либо использовать компактный аккумулятор, что сделает устройство более компактным, но в тоже время участит необходимость подзарядки.

Решение было предложено инженерами из компании Matrix. Они предложили использовать в качестве источника энергии тело человека, где тепло при помощи термоэлектрической технологии и эффекта Зеебека преобразуется в электроэнергию. Эффект этот рассматривает возникновение электродвижущей силы в замкнутой цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах. В массовых масштабах данная технология еще не применяется, но созданный прототип является очень перспективным в области протезирования в будущем.

На данный момент времени я могу с уверенностью заявить, что человечество готово принять внедрение в медицину такой ступени технологического прогресса, как протезирование. Создание идеальных конечностей, внутренних органов, частей тела человека, которые по функционалу не будут ничем уступать своим прообразам, а возможно и в чем-то давать какие-либо привилегии её владельцу. Высокотехнологичное протезирование пока не нашло своего распространения из-за ряда факторов, которые усердно устраняются учёными в этой области.

Бионика стремится к тому, чтобы владелец протеза имел возможность ощутить объект, к которому он прикасается. Стереть ту самую грань «искусственности» и дать максимальное ощущение своей собственной конечности. Протезы будут становиться всё доступнее, легче, сильнее, автономнее, чувствительнее и более подходящими под человека, а социум в свою очередь будет относиться к биопротезированию как к чему-то обыденному, как к приобретению нового технического гаджета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пельтихина О.В. БИОПРОТЕЗИРОВАНИЕ. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ/ Пельтихина О.В., Хорак К.И. // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 4.

### **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕСУРСА «СИСТЕМА ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. ОРШИ И ОРШАНСКОГО РАЙОНА» DEVELOPMENT OF THE INFORMATION AND ANALYTICAL RESOURCE «ONLINE MONITORING SYSTEM FOR THE STATE OF ENVIRONMENTAL COMPONENTS OF ORSHA AND ORSHA DISTRICT»**

***В. В. Жураков, Б. А. Тонконогов***  
***V. V. Zhuravkov, B. A. Tonkonogov***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*zhvl@mail.ru:*

*Belarusian State University, ISEI, Minsk, Republic of Belarus*

В статье представлены концептуальные подходы по созданию информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района». Работа выполнялась в рамках Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2016 – 2020 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17.03.2016 №205.

The article presents conceptual approaches to the creation of an information resource «Online monitoring system for the state of environmental components of Orsha and Orsha district». The work was carried out within the framework of the State Program «Environmental Protection and Sustainable Use of Natural Resources» for 2016–2020, approved by the resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus No. 205. of 17.03.2016.

**Ключевые слова:** геоинформационной системы, информационно-аналитический ресурс, многоуровневая региональная Web-ориентированная система.

**Keywords:** geographic information system, information and analytical resource, multi-level regional Web-oriented system.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-404-408>

Стратегической целью развития информатизации в Республике Беларусь на 2016–2022 годы, утвержденной на заседании Президиума Совета Министров от 03.11.2015 №26, является создание единой многоуровневой региональной веб-ориентированной геоинформационной системы на основе принципов пространственного краудсорсинга и концепции общественной ГИС, развитие 3D-ГИС и электронных услуг на их основе, а также реализация концепции открытых данных, в том числе посредством создания национального портала открытых данных как основного инструмента их распространения и стимулирования создания на их основе электронных услуг [1-2].

В 2016–2022 годах одними из ключевых задач данного направления являются создание единой многоуровневой региональной Web-ориентированной геоинформационной системы на основе принципов пространственного краудсорсинга и концепции общественной ГИС [3-4].

В результате выполнения задания разработан информационно-аналитический онлайн ресурс «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» на основе современных информационных систем, наилучших международных практик и с выбором оптимальных решений по поэтапному расширению вышеуказанного ресурса включающая:

- анализ существующей системы мониторинга окружающей среды г. Орши и Оршанского района, а также других городов и районов республики, с определением возможности ее использования и принципов экспорта данных в создаваемую систему;
- анализ международного опыта наблюдений за состоянием окружающей среды городов и определение возможности и целесообразности использования данных дистанционного зондирования Земли;
- анализ ГИС-технологий и методов моделирования загрязнения окружающей среды;
- описание и обоснование методов моделирования загрязнений окружающей среды предприятиями и транспортом;
- разработанную типовую модель, описывающую принципы развития существующей системы контроля, включая использование методов моделирования и современных ГИС-технологий.

Указанный информационно-аналитический ресурс реализует процесс автоматизированного (с участием оператора в режиме онлайн) мониторинга состояния компонентов окружающей среды на основе имеющейся (хранящейся в базе данных) информации с возможностью последовательного ее накопления для реализации возможности проведения различного рода ретроспективных и хронологических (статистических) наблюдений и анализа. Информационный ресурс представляет собой программный комплекс в виде единого одностраничного Web-приложения, разработанного с использованием определенного стека технологий и платформ (фреймворков), библиотек и форматов, которое находится по адресу <http://monitoring.iseu.by>. Ввод и манипуляция данными в среде информационного ресурса осуществляется через базу данных с использованием регистрационной информации (логина и пароля). Скриншоты информационного ресурса представлены на рисунках 1-4.

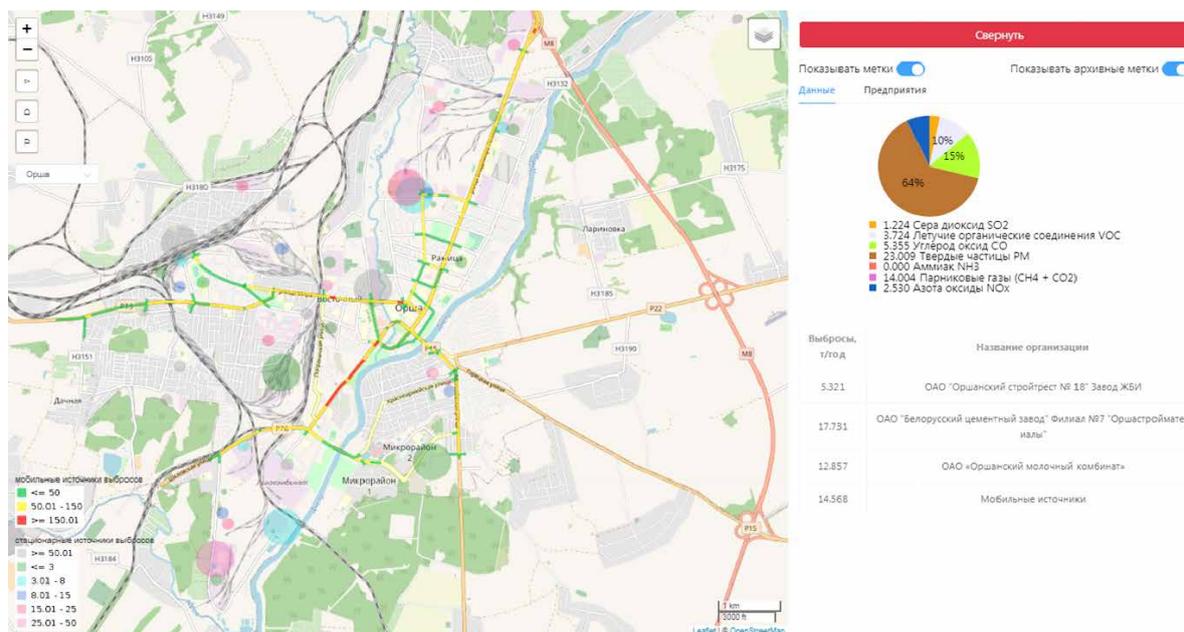


Рис. 1. Информация о выбросах в воздушную среду и загрязнениях транспортных магистралей

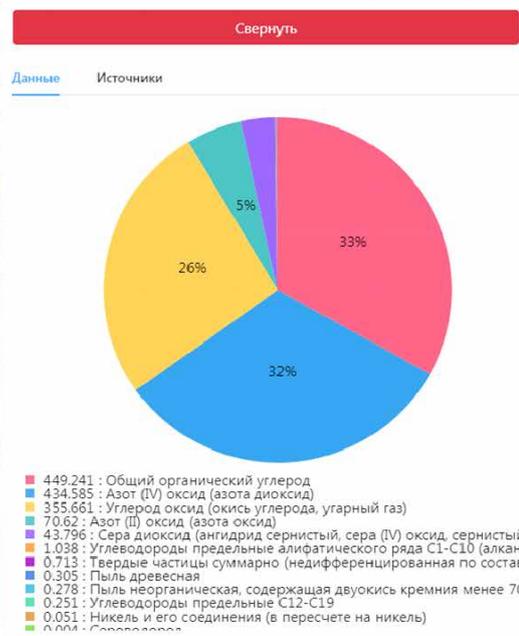
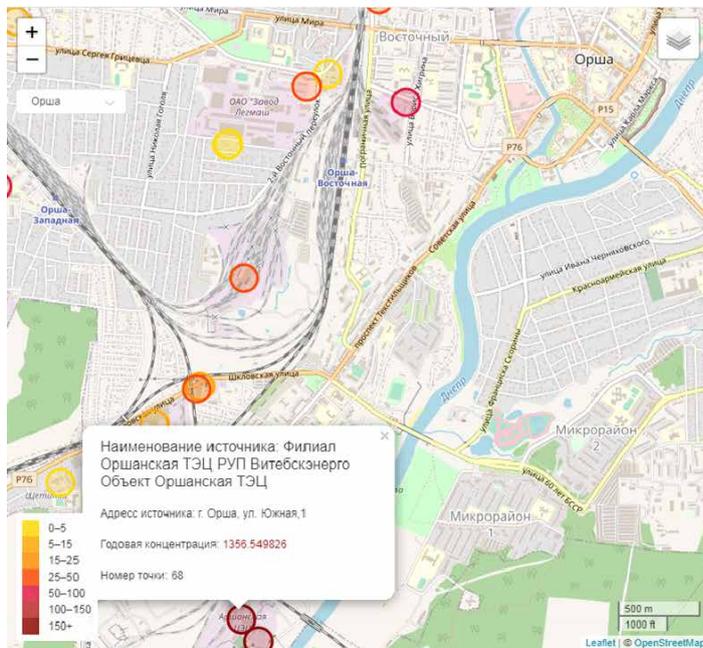


Рис 2. Результаты мониторинга воздушной среды

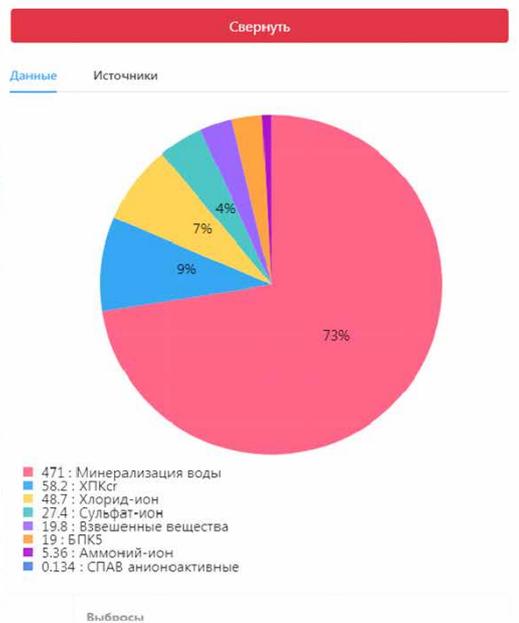
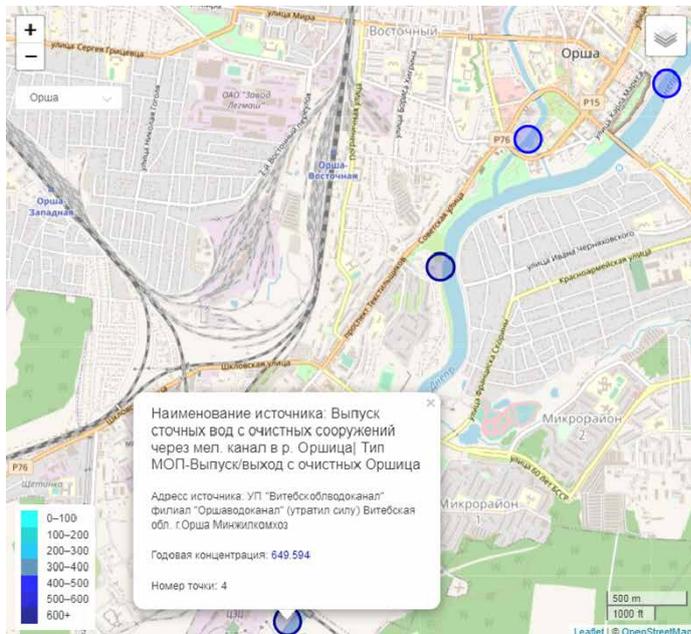


Рис 3. Результаты мониторинга водной среды

Исходными данными для выполнения работы являются [5,6]:

- нормативно-правовые и технические нормативно-правовые акты в области охраны окружающей среды, в том числе в части мониторинга окружающей среды (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 14.07.2003 № 949 «О Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь» и др.);
- данные мониторинговых наблюдений в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь;
- данные за природными и антропогенными объектами, расположенными на территории г. Орши и Оршанского района, описание внутренних форматов и кодов электронной карты г. Орши и Оршанского района для картографического представления результатов [5];
- иные данные, полученные от Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, его подчиненных организаций, научных организаций и учреждений, главного информационно-аналитического центра НСМОС, информационно-аналитического центра атмосферного воздуха, ИАЦ мониторинга поверхностных вод, ИАЦ локального мониторинга, ИАЦ мониторинга подземных вод [6].

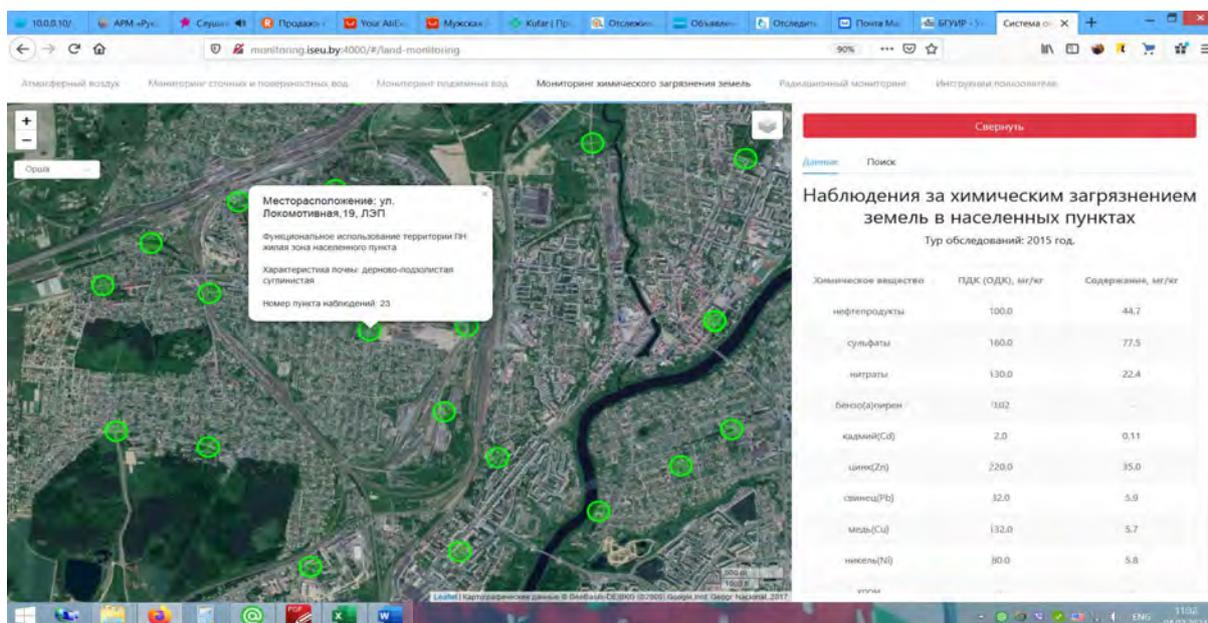


Рис. 4. Результаты мониторинга почв с использованием растровой подложки Google Maps

Впоследствии указанная система может быть доработана в направлении расширения ее функционала для реализации возможности проведения автоматического (без участия оператора в режиме реального времени) мониторинга состояния компонентов окружающей среды для уточнения различных характеристик и состояния объектов мониторинга, что потребует проектирования, реализации и адаптации (интеграции) дополнительных (специализированных) программно-аппаратных модулей и соответствующего программного обеспечения. Информационный ресурс «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» представляет собой открытый и не требующий покупки лицензии Web-ориентированный серверный программный комплекс, основанный на ГИС-технологиях и предназначенный для хранения и манипуляции данными, характеризующими различные компоненты окружающей среды г. Орши и Оршанского района Витебской области Республики Беларусь.

Информационный ресурс «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» будет интегрирован с экологической картой г. Орши и Оршанского района и разработан на основе современных информационных Web- и ГИС-технологий с выбором оптимальных решений по поэтапному расширению вышеуказанного информационного ресурса по всем средам и элементам воздействия на окружающую среду в пределах г. Орши и Оршанского района, включая атмосферный воздух, водные ресурсы, земли (почвы), отходы и др.

Важность информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района»:

- для органов государственной и местной власти информационный ресурс «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» представляет собой инструмент поддержки принятия управленческих решений на основе использования государственных информационных ресурсов;
- для руководителей и специалистов министерств и ведомств, Витебского областного исполнительного комитета, Оршанского районного исполнительного комитета, подведомственных и иных организаций, выполняющих свои функции на территории района, информационный ресурс «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» представляет собой инструмент создания, накопления и систематизации учетных данных, удаленного обмена информацией, получения и предоставления статистических, картографических и других отчетных сведений об объектах и процессах, находящихся в их сфере ответственности;
- для научных организаций, юридических лиц и граждан в рамках накопления и систематизации учетных данных, удаленного обмена информацией, получения и предоставления статистических, картографических и других отчетных сведений об объектах окружающей среды.

Таким образом, использование информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» позволяет создать универсальную модель, предназначенную для комплексного представления объектов планирования и управления территорией района, ее аналитического изучения и мониторинга на основе современных ГИС и веб-технологий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития информатизации в Республике Беларусь на 2016–2022 годы / Утверждена на заседании Президиума Совета Министров от 03.11.2015 №26, [www.e-gov.by](http://www.e-gov.by), [Электронный ресурс].

2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 17.03.2016 №205 «Об утверждении Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2016–2020 годы», [https://kodeksy-by.com/norm\\_akt/source/205-17.03.2016](https://kodeksy-by.com/norm_akt/source/205-17.03.2016), [Электронный ресурс].

3. Об утверждении Государственной программы развития Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь на 2006–2010 годы: Указ Президента Республики Беларусь, 18.04.2006, №251 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2006. – №69. – 1/7482.

4. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений. 2011, ежегодник / под общей редакцией С.И. Кузьмина, И.В. Комоско. – Минск, «БелНИЦ «Экология». – 2012. – 320 с., ил. 318.

5. Об утверждении Инструкции об обмене экологической информацией в Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 28 дек. 2004 г., № 43: В редакции постановления от 30.05.2008 г., № 56 // ИПС «Эталон» [Электронный ресурс]. / Нац. центр правовой информ. Республики Беларусь. – Минск, 2012.

6. Сайт ГИАЦ Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (<http://www.nsmos.by/>), [Электронный ресурс].

## **ОБРАБОТКА И ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ БРОНИРОВАНИЯ DATA PROCESSING AND STORAGE FOR THE BOOKING AUTOMATION SYSTEM**

***М. А. Ибрахим<sup>1</sup>, М. М. Ибрахим<sup>2</sup>***

***M. A. Ibrakhim, M. M. Ibrakhim***

*<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University  
Minsk, the Republic of Belarus  
E-mail: milana6666666@gmail.com*

*<sup>2</sup>Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
Minsk, the Republic of Belarus  
E-mail: maksim.ibr.17@gmail.com*

Рассматривается разработка системы обработки и хранения данных при бронировании. Обоснована необходимость автоматизации процессов, надежного хранения данных, экономии человеческих и бумажных ресурсов.

The development of a system for processing and storing data when booking is considered. The necessity of automation of processes, reliable storage of data, saving of human and paper resources is substantiated.

*Ключевые слова:* АВТОМАТИЗАЦИЯ, .NET CORE, ENTITY FRAMEWORK.

*Keywords:* AUTOMATION, .NET CORE, ENTITY FRAMEWORK.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-408-411>

Объектом исследования и разработки является надежное хранилище, способное к обработке бронирования услуг, подходящего для любого рода компаний, в том числе связанных непосредственно с экологией, сокращение времени и затрат на данный процесс.

Целью проекта является разработка программного комплекса, который представляет собой слой обработки и хранения данных, предоставляющий возможные временные интервалы для услуги.

При разработке и внедрении приложения использовался такой стек технологий как .Net, Asp.Net Core, SqlServer.

Требования для разработки:

- надежное хранилище, не позволяющие потерять данные;
- автоматизация процессов для высчитывания свободных промежутков времени, необходимого для услуги с учетом всех предусмотренных факторов;
- надежное сокрытие данных компании, предоставляемое только для сотрудников;
- слабая связанность данных;
- возможность разместить приложения на любой операционной системе;

Для любой эффективно работающей системы необходимо понимание что же такое архитектура. Итак, архитектура – это организация системы, которая реализована некоторыми компонентами/слоями, их отношением между собой и внешней средой.

Основные типы компонентов архитектуры:

- Серверный слой

Данный слой реализовывает логику по приему запросов, валидации данных и выдаче ответов в необходимом формате. При этом серверный слой абстрагирован от всей логики, что упрощает обслуживание, тестирование и позволяет без труда использовать его повторно, то есть, проще говоря, он становится переносимым. Самым основным компонентом слоя является API (Application Programming Interface). По сути, это интерфейс программирования приложений. Для его реализации в проекте используются контроллеры, которые располагаются в папке `Controllers`. Для взаимодействия с методами контроллеров используются HTTP методы

- Слой доступа к данным

Данный слой необходим для непосредственного обращения к базе данных через специальный класс `Repository`. Этот класс реализовывает такие методы как сохранение сущности, сохранение коллекции объектов, удаление сущности, удаление коллекции объектов, получение данных.

- Слой представления

Слой представления – эта та часть приложения, которую видит пользователь. К данному слою имеются особые требования, такие как удобство использования, дизайн и возможность взаимодействия с пользователем.

В данном случае нас интересует именно Слой доступа к данным, о нем подробнее:

Данный слой необходим для непосредственного обращения к базе данных.

Он реализовывает такие методы как сохранение сущности, сохранение коллекции объектов, удаление сущности, удаление коллекции объектов, получение данных. Для упрощения разработки можно использовать обертку `Entity Framework Core (EF)`, что позволяет нам к тому же расширить функциональность и добавлять свои действия при необходимости. Эта обертка позволяет работать приложению именно с моделями, а не с базой напрямую.

Чтобы база данных была сгенерирована, необходимо описать, собственно, все модели.

- `ApplicationUser`; Модель, описывающая зарегистрированного пользователя, то есть администратора. Помимо данных о самом пользователе, хранит всю информацию о компании;

- `Appointment`. Сущность бронирования. Хранит в себе информацию о клиенте, дате встречи, цене и предоставляемой услуге;

- `Company`. Данная модель помимо данных компании, хранит в себе её время работы, сотрудников, предоставляемых услуг и администраторов;

- `Employee` – модель сотрудника компании;

- `EmployeeWorkingTime` – модель, подробно описывающая время работы сотрудника.

- `Resource` – модель, описывающая ресурсы компании, используемые в услугах, также хранит в себе оставшееся количество самого себя;

- `Service` предоставляет данные об услуге компании, её название, цену, описание, информацию о сотрудниках, которые оказывают её, необходимых ресурсах, частях услуг (услуга может быть поделена на части), бронированиях этой услуги.

Имеются и другие модели, но они несут лишь вспомогательные функции, например, для обеспечения возможности организации связи “многие ко многим”.

Система моделирования позволяет EF в дальнейшем, при создании миграции в приложении, автоматически переписать модели в язык структурированных запросов или SQL, который уже непосредственно применяется для создания, модификации и управления данными в реляционной базе данных.

Вся работа с базой при использовании такого подхода может быть автоматизирована благодаря сервисам, в которых и заключена вся логика работы приложения, по сути являющимися связующим звеном между серверным слоем и слоем доступа к данным.

Так как каждый сервис работает со своими моделями, к тому же в асинхронном режиме, это позволяет системе выдерживать колоссальные нагрузки и не “падать” в критический момент.

Важно подчеркнуть, что не только асинхронность является залогом успеха, не менее важную роль играет правильная расстановка самих моделей. Приведем пример на Схеме 1:

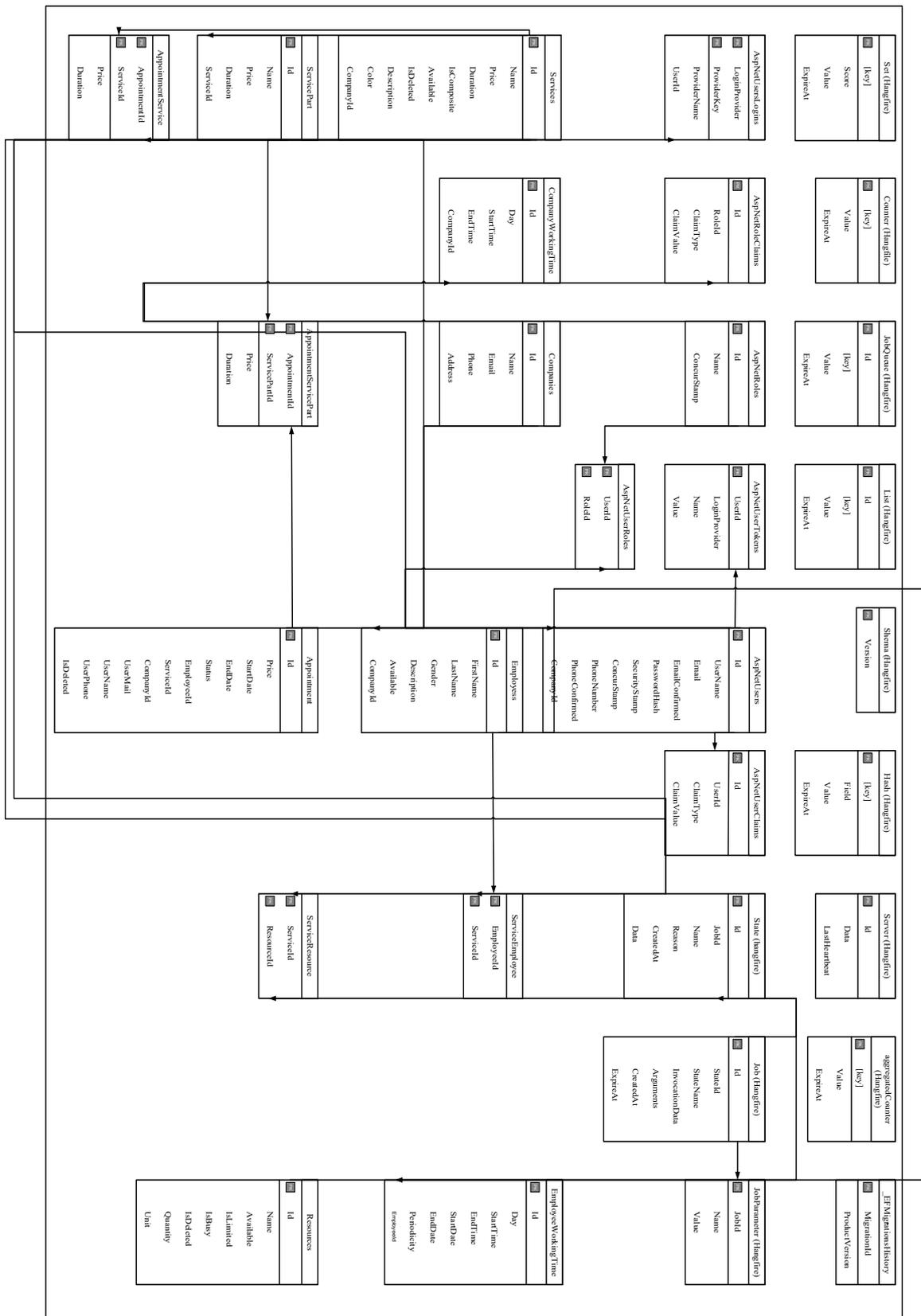


Схема 1. Расстановка моделей в архитектуре

Приведем пример, ниже представлена модель компании:

```
public class Company : EntityBase<Guid>
{
    public string Name { get; set; }
}
```

```

public string Email { get; set; }
public string Phone { get; set; }
public string Address { get; set; }
public virtual ICollection<WorkingTime> WorkingTime { get; set; }
public virtual ICollection<ApplicationUser> Users { get; set; }
public virtual ICollection<Employee> Employees { get; set; }
public virtual ICollection<Service> Services { get; set; }
}

```

Остальные модели реализованы аналогично.

В папке Services же находятся все сервисы, в которых и заключена вся логика работы приложения. Данные являются связующим звеном между серверным слоем и слоем доступа к данным. В данной работе представлены следующие сервисы:

- AccountService. Необходим для работы с администраторами;
- CompanyService. Отвечает за обработку данных компании;
- EmployeeService. Данный сервис выполняет все действия, связанные с сотрудниками компании;
- ProfileService. Данный сервис необходим для предоставления некоторых данных в теле токена авторизации;
- ReservationService. Данный сервис работает непосредственно с бронированиями;
- ResourceService. Сервис, отвечающий за ресурсы;
- ServiceService. Сервис, в котором заключена вся логика по работе с услугами;
- TimeService. Основной сервис, который предоставляет все свободные временные зоны для бронирований.

Данный подход к обработке и хранению данных может быть предназначен для любой экологической организации, которая располагает некими услугами, для более эффективной работы в своей сфере, а также для надежности хранения ценной информации. К тому же позволяет экономить человеческие усилия, которые можно направить в другое русло, и, само собой, бумажные и другие ресурсы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Архитектура межсервисного взаимодействия, <https://secretmag.ru/business/methods/7-servisov-dlya-onlajn-zapisi.htm>, [Электронный ресурс].
2. Модель взаимодействия клиент-сервера, <https://ru.wikipedia.org/wiki/>, [Электронный ресурс].
3. Семь сервисов для онлайн записи, <https://secretmag.ru/business/methods/7-servisov-dlya-onlajn-zapisi.htm>, [Электронный ресурс].
4. .Net Framework, <https://www.guru99.com/net-framework.html>, [Электронный ресурс].
5. .Net Core, <https://metanit.com/sharp/aspnet5/>, [Электронный ресурс].

## РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ДИПЛОМНЫХ, АСПИРАНТСКИХ И МАГИСТЕРСКИХ РАБОТАХ DEVELOPMENT OF A WEB-APPLICATION FOR STORING INFORMATION ABOUT GRADUATE, POST-GRADUATE AND MASTER'S WORKS

***А. Л. Карпей, Д. А. Кормужанин***  
***A. L. Karpei, D. A. Kormuzhanin***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: kar\_an@tut.by  
Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

С использованием языка программирования Python с фреймворком Django разработано web-приложение, хранящее информацию о дипломных работах студентов, аспирантских и магистерских диссертациях. Web-приложение связано с базой данных SQLite и предоставляет возможности добавления, изменения и удаления информации из базы данных. Для создания приложения были использованы среда разработки PyCharm и программа для просмотра информации о базе данных DB Browser for SQLite.

Using the Python programming language with the Django framework, a web-application has been developed that stores information about students' theses, postgraduate and master's theses. The web application is linked to a SQLite database and provides the ability to add, modify, and remove information from the database. To develop the

application, the PyCharm development environment and the program for viewing information about the DB Browser for SQLite database were used.

*Ключевые слова:* хранение информации, дипломные и диссертационные работы, Python, фреймворк Django, база данных SQLite.

*Keywords:* information storage, theses and dissertations, Python, Django framework, SQLite database.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-411-414>

Основной целью работы является создание web-приложения, которое дает возможность хранить информацию о дипломных работах студентов, аспирантских и магистерских диссертациях. Его разработка обусловлена потребностью в ней МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ. Основными задачами web-приложения являются: хранение информации, работа с ней, возможность добавления, изменения и удаления информации, возможность расширения функционала web-приложения в будущем. Web-приложение должно быть связано с нормализованной базой данных.

Для разработки web-приложения был выбран язык программирования Python с фреймворком Django.

Язык программирования Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью, ориентированный на повышение производительности разработчика, читаемости кода и его качества, а также на обеспечение переносимости написанных на нем программ. Python является мультипарадигмальным языком программирования, поддерживающим императивное, процедурное, структурное и объектно-ориентированное программирование.

Для того чтобы написать web-приложение с помощью Python, существует множество web-фреймворков. Web-фреймворк обрабатывает как минимум запросы клиента и ответы сервера. Он может предоставлять следующие возможности: маршруты – интерпретирует URL и находит соответствующие файлы на сервере или серверный код Python, шаблоны – объединяет серверные данные в страницы HTML, аутентификация и авторизация – обрабатывает имена пользователей, пароли, разрешения, сессии – обслуживает временное хранилище данных во время посещения пользователем [1].

Django – один из самых популярных фреймворков для создания web-приложений, написанный на языке программирования Python. Web-приложение на Django строится из одного или нескольких приложений, которые рекомендуется делать независимыми друг от друга и подключаемыми. Это является существенным отличием этого фреймворка от других. Один из основных принципов – не повторять себя. Каждый раз при разработке web-приложения требуются похожие компоненты: способ аутентификации пользователей, панель администратора, формы, менеджер загрузки файлов и так далее. Данный фреймворк позволяет использовать готовые шаблоны для ускорения и упрощения разработки.

Для удобства работы с фреймворком была выбрана среда разработки PyCharm. Выбор среды разработки был обусловлен возможностями среды разработки, такими как виртуальная среда для каждого проекта, удобная навигация между файлами и папками проекта и поддержкой работы с фреймворком Django.

Система управления базами данных – совокупность программных средств, позволяющих управлять и создавать базы данных.

Фреймворк Django поддерживает работу со следующими системами управления базами данных: SQLite, MySQL, PostgreSQL. Для разработки web-приложения была выбрана система управления базами данных SQLite. SQLite является легко встраиваемой в приложения базой данных. Так как эта система базируется на файлах, то она предоставляет довольно широкий набор инструментов для работы с ней, по сравнению с сетевыми системами управления базами данных. При работе с SQLite обращения происходят напрямую к файлам (в эти файлах хранятся данные), вместо портов и сокетов в сетевых системах управления базами данных. Именно поэтому SQLite очень быстрая, а также мощная благодаря технологиям обслуживающих библиотек [2].

При проектировании базы данных было выделено три таблицы для хранения (рис.1).

Таблица “Обучающиеся” хранит в себе информацию о студентах. Первичным ключом в ней является ID обучающегося, который позволяет однозначно идентифицировать студента. Также важным полем является категория студента, с помощью которого можно отдельно выделить работы студентов, магистрантов и аспирантов. Таблица “Обучающиеся” связана с таблицей “Исследования” связью один к одному, так как один обучающийся проводит одно исследование.

Таблица с информацией о руководителях связана с таблицей исследования связью один ко многим, так как один руководитель может участвовать в нескольких исследованиях.

В таблице “исследования” с помощью внешнего ключа прямо указываются студент и преподаватель, которые занимались исследованием.

Скриншот созданной базы данных показан на рисунке 2.

Фреймворк Django имеет строгую структуру файлов в web-приложении. На рисунке 3 показана схема обработки HTTP запроса.



Рис. 1 – Инфологическая модель базы данных

Сущность	Атрибут	Тип	Описание
thesis_research	id	integer	"id" integer NOT NULL PRIMARY KEY AUTOINCREMENT
	topic	varchar(500)	"topic" varchar(500) NOT NULL
	purpose	text	"purpose" text NOT NULL
	objectives	text	"objectives" text NOT NULL
	results	text	"results" text NOT NULL
	scope	varchar(100)	"scope" varchar(100) NOT NULL
	organization	varchar(100)	"organization" varchar(100) NOT NULL
	explanation	text	"explanation" text
	stage	varchar(50)	"stage" varchar(50)
	date	date	"date" date NOT NULL
	student_id	integer	"student_id" integer UNIQUE
teacher_id	integer	"teacher_id" integer	
thesis_student	id	integer	"id" integer NOT NULL PRIMARY KEY AUTOINCREMENT
	full_name	varchar(200)	"full_name" varchar(200) NOT NULL
	specialty	varchar(50)	"specialty" varchar(50) NOT NULL
	form	varchar(70)	"form" varchar(70) NOT NULL
	phone_number	varchar(18)	"phone_number" varchar(18)
	email	varchar(30)	"email" varchar(30)
	date_start	date	"date_start" date NOT NULL
	date_end	date	"date_end" date NOT NULL
	category	varchar(1)	"category" varchar(1) NOT NULL
thesis_teacher	id	integer	"id" integer NOT NULL PRIMARY KEY AUTOINCREMENT
	full_name	varchar(200)	"full_name" varchar(200) NOT NULL
	degree	varchar(50)	"degree" varchar(50) NOT NULL
	email	varchar(30)	"email" varchar(30)
	phone_number	varchar(18)	"phone_number" varchar(18)

Рис. 2 – Созданная база данных

Файл `urls.py` содержит в себе функции для обработки каждого ресурса приложения. Он используется для перенаправления HTTP-запроса в соответствующее представление. Так же может передавать данные из URL-адреса в функцию в файле `views.py` в качестве аргумента.

Файл `views.py` является обработчиком запросов, вызываемым из `urls.py`. Функции, описанные в этом файле, имеют доступ к данным, описанным в `models.py`, и могут передавать эти данные на HTML-шаблон.

Файл `models.py` представляет собой модели, описывающие структуру данных приложения, и предоставляет возможность для управления, добавления и удаления, а также выполнения запросов в базе данных.

Каталог `Templates` содержит в себе структуру или разметку HTML-страниц. `Views.py` может динамически создавать HTML-страницы, используя HTML-шаблоны и заполняя их данными из модели (`models.py`). Шаблон может быть использован для определения структуры файлов любых типов, не обязательно HTML.

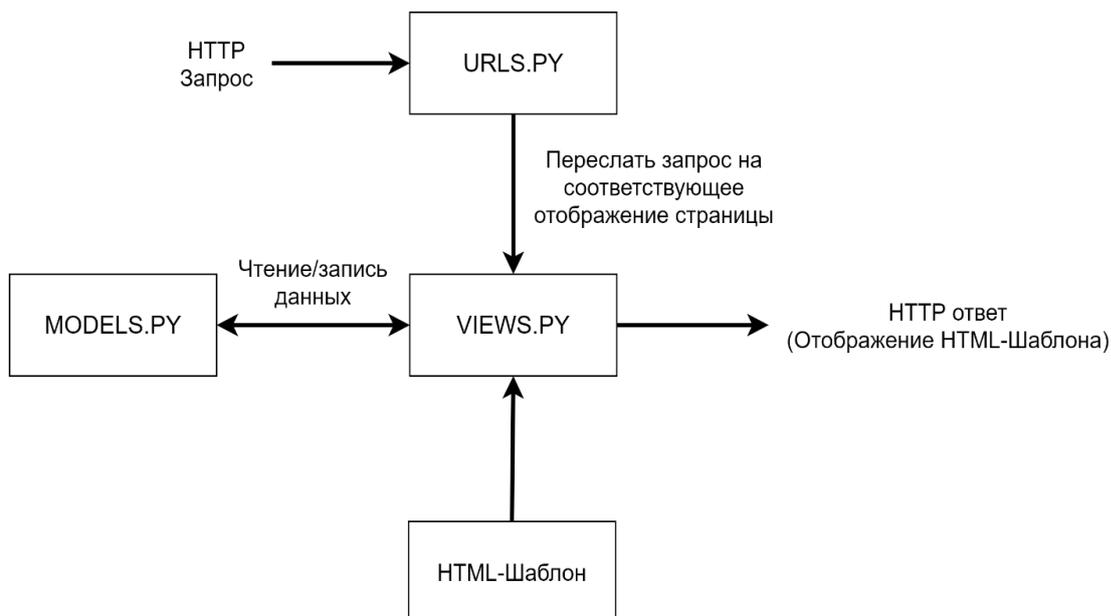


Рис.3. Схема обработки HTTP запроса

Для передачи информации из базы данных используются функции. Функции отвечают за отображение страницы и передачу информации из базы данных. Для отображения информации из базы данных на HTML-странице следует обращаться к нужной таблице, как к объекту описанного класса. Так же с помощью функций можно управлять существующими записями в базе данных, либо добавлять новые (рис.4).

```

127 def EditTeacher(request, pk):
128     try:
129         teacher = Teacher.objects.get(pk=pk)
130         if request.POST:
131             teacher.full_name = request.POST.get("full_name")
132             teacher.degree = request.POST.get("degree")
133             teacher.phone_number = request.POST.get("phone_number")
134             teacher.email = request.POST.get("email")
135             teacher.save()
136             return HttpResponseRedirect(reverse('teachers'))
137         else:
138             return render(request, "thesis/edit_teacher.html", {"teacher": teacher})
139     except Teacher.DoesNotExist:
140         return HttpResponseRedirect("<h2>Преподаватель не найден</h2>")
141
  
```

Рис.4. Пример функции в файле views.py

Фреймворк Django работает с базами данных с помощью моделей, обращаясь к ним как к объектам. Для создания простейшей модели в папке с приложением и создается файл models.py, в котором и объявляются классы, которые будут записаны в базу данных. После создания нужных классов в Django следует сделать миграции. Миграции в Django являются системой контроля версий базы данных. После создания миграций следует их применить. Если система контроля не выдала ошибок, в базе данных будут созданы соответствующие таблицы [3].

Разработанный пользовательский интерфейс web-приложения позволяет использовать функции добавления аккаунтов пользователей с разграничением полномочий по работе с информацией в базе данных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Любанович Б. Простой Python. Современный стиль программирования/ Б. Любанович – Санкт-Петербург: Изд-во Питер, 2016. - 480 с.
2. SQLite vs MySQL vs PostgreSQL: сравнение систем управления базами данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://devacademy.ru/article/sqlite-vs-mysql-vs-postgresql> – Дата доступа 15.03.2021.
3. Документация Django 1.9 [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://djbook.ru/rel1.9/topics/migrations.html> – Дата доступа 25.02.2021.

# ОБЗОР КОМПАРТМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

## OVERVIEW OF COMPARTMENT MODELS OF INFECTIOUS DISEASES PREVALENCE DYNAMICS

***И. В. Лефанова, Т. В. Смирнова***  
***I. V. Lefanova, T. V. Smirnova***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
irina.lefanova@mail.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk), Republic of Belarus  
irina.lefanova@mail.ru*

Компартментные модели применяются для математического моделирования и последующего вычислительного эксперимента динамики распространения инфекционных заболеваний. Исходная популяция разделяется на изолированные отсеки (компартменты), индивиды перемещаются между отсеками в соответствии с заданными параметрами. Данные модели чаще всего работают с системами обыкновенных дифференциальных уравнений и применяются для прогнозирования распространения инфекционных заболеваний, продолжительности эпидемий, позволяют оценить различные эпидемиологические параметры, а также путем введения необходимых отсеков позволяют предсказать влияние разного рода мер общественного здравоохранения на развитие и исход эпидемий инфекционных заболеваний.

Compartmental models are used for mathematical modeling and subsequent computational experiment of the dynamics of the spread of infectious diseases. The initial population is divided into isolated compartments (compartments), individuals move between the compartments in accordance with the specified parameters. These models most often work with systems of ordinary differential equations and are used to predict the spread of infectious diseases, the duration of epidemics, make it possible to estimate various epidemiological parameters, and, by introducing the necessary compartments, make it possible to predict the impact of various kinds of public health measures on the development and outcome of infectious disease epidemics.

*Ключевые слова:* компартментные модели, модель SIR, эпидемиология, эпидемия, математическое моделирование.

*Key words:* compartment models, SIR model, epidemiology, epidemic, mathematical modeling.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-415-418>

Эпидемиология инфекционных болезней претерпела ряд изменений методологической парадигмы на протяжении своего развития. Эти три парадигмы: (1) эмпирическое исследование, (2) теоретическое моделирование и (3) компьютерное моделирование. Соответственно эпидемиологические методологии, основанные на этих парадигмах можно называть (1) эмпирическая эпидемиология, (2) теоретическая эпидемиология и (3) вычислительная эпидемиология, соответственно.

Вычислительная парадигма в эпидемиологии возникла в связи с бурным развитием информационных систем и технологий, методов машинного обучения и интеллектуального анализа данных. Вычислительные методы нацелены на лучшее описание и понимание реальных процессов передачи болезни, путем моделирования и анализа моделей передачи и количественной оценки потенциальных результатов вмешательства. Основные используемые вычислительные инструменты включают вычислительное моделирование, симуляцию, прогнозирование и оптимизацию, а также анализ и визуализацию данных, чтобы результаты были доступны органам общественного здравоохранения и эпидемиологам. Это еще больше расширило масштабы и возможности эпидемиологии для анализа и прогнозирования динамики передачи заболеваний и последствий вмешательства в конкретную популяцию. Кроме того, органы общественного здравоохранения теперь могут более эффективно проводить анализ сценариев, что облегчает принятие ими стратегических решений.

Основные проблемы, возникающие при использовании вычислительных методов в эпидемиологии в значительной степени связаны с генетической мутацией патогенов, социально-экономическими изменениями в поведении индивидов, условиями окружающей среды, в том числе с сезонностью и погодными условиями.

В динамические процессы вспышек инфекционных заболеваний вовлечен широкий спектр факторов, которые могут включать следующее: (1) патогенные факторы, такие как вирусная генетическая рекомбинация и экспрессия патогенов; (2) факторы «хозяина», такие как иммунитет людей разного возраста; (3) социальные и поведенческие факторы, такие как передвижение или путешествия индивидов; и (4) политические факторы, такие

как меры вмешательства в ход распространения заболеваний. Важно понимать, что данные факторы взаимодействуют друг с другом.

При возникновении угрозы эпидемии инфекционного заболевания осуществление своевременных и эффективных мер вмешательства имеет решающее значение для предотвращения смертности и заболеваемости, а также сокращения социально-экономических потерь. Для этих целей применяются разнообразные вмешательства в ход распространения инфекционного заболевания, такие как: (1) немедленная изоляция / карантин помогают предотвратить массовое распространение инфекционного заболевания, (2) массовое профилактическое использование противовирусных препаратов может снизить уязвимость восприимчивых лиц к инфекционным заболеваниям, (3) социальное дистанцирование (например, перевод учащихся на дистанционное обучение) могут снизить частоту контактов между восприимчивой частью населения и, следовательно, снизить вероятность передачи заболеваний между восприимчивыми и инфицированными индивидами.

Помимо вышеупомянутых мер вмешательства, вакцинация считается одним из наиболее эффективных методов предотвращения инфекционных заболеваний из-за эффекта индуцированного вакциной коллективного иммунитета (т.е. иммунизация определенной части популяции «хозяина» обеспечивает косвенную защиту для невакцинированных лиц). То есть, чтобы предотвратить потенциальную вспышку инфекционного заболевания, охват вакцинацией в популяции «хозяев» должен быть выше критического уровня для возникновения эффекта коллективного иммунитета, известного как порог коллективного иммунитета.

Одним из способов математического моделирования инфекционных заболеваний для дальнейшего применения их в вычислительном эксперименте является использование детерминированных математических моделей. Данные модели построены на системах дифференциальных или разностных уравнений и предполагают, что размеры восприимчивой, инфицированной и выздоровевшей частей популяции «хозяина» являются непрерывными функциями по времени. Чаще всего данный тип моделей применяется для прогнозирования динамики инфекционного заболевания. Компарментный подход в моделировании предполагает разделение всей популяции на взаимоисключающие отсеки – компартменты. Целью моделирования является отслеживание количества индивидов в каждом из отсеков () в любой момент времени  $t$ , и мы обозначаем эти числа соответственно  $S(t)$ ,  $I(t)$  и  $R(t)$ .

Базовая компартментная модель (модель «восприимчивые (S – susceptible) – инфицированные (I – infectious) – выздоровевшие (R – recovered)», сокращенно SIR) описывает динамику передачи заболевания в рамках одной эпидемии, в которой не принимаются во внимание коэффициенты рождаемости и смертности населения.

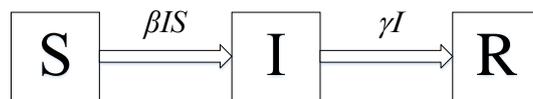


Рис. 1 – Диаграмма передачи для простой модели SIR.

Количество людей в каждом отсеке описывается следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\beta IS \\ \frac{dI}{dt} &= \beta IS - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I \end{aligned}$$

При этом начальные условия в данной системе обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$S(0) = S_0 > 0, I(0) = I_0 > 0, R(0) = 0$$

Коэффициент  $\beta$  определяет интенсивность контактов восприимчивых индивидов с инфицированными, а коэффициент  $\gamma$  – интенсивность выздоровления заболевших индивидов.

При использовании данной математической модели для прогнозного моделирования распространения инфекционного заболевания используются следующие допущения:

(1) Передача заболевания возможна только при прямом контакте между инфицированным и восприимчивым индивидом.

(2) Взаимодействие между индивидами из разных отсеков однородно, т.е. соблюдается закон массового действия: количество контактов между индивидами из разных отсеков пропорционально количеству особей в отсеке.

(3) Скорость выхода индивида из отсека пропорциональна численности отсека.

(4) Отсутствует латентный период заболевания, т.е. инфицированные особи способны заражать восприимчивых непосредственно после собственного заражения.

(5) У выздоровевших особей вырабатывается постоянный иммунитет, т.е. переход особи из отсека R в отсек S невозможен.

(6) Суммарная численность популяции постоянна, т.е. не учитывается рождаемость и смертность.

(7) В модели не учитываются возрастные и половые различия

Следует учесть, что модель SIR применима в случае с заболеваниями, после которых сохраняется пожизненный иммунитет.

Одним из важнейших параметров модели SIR является базовое репродуктивное число  $R_0$  (в другой литературе базовый коэффициент репродукции, основное репродуктивное число), которое является безразмерным параметром и определяет среднее число вторичных заражений одним инфицированным индивидом в полностью восприимчивой популяции при отсутствии эпидемиологических мер, направленных на предотвращение возникновения эпидемии.

Базовое репродуктивное число невозможно измерить напрямую, оно вычисляется в зависимости от выбранной модели и способа распространения заболевания.

Для классической модели SIR, базовое репродуктивное число рассчитывается по формуле:

$$R_0 = \beta S_0 \frac{1}{\gamma}$$

Если при отсутствии противоэпидемических мер базовое репродуктивное число  $R_0 > 1$ , то возникает эпидемия заболевания, причем число заразившихся будет расти экспоненциально.

При необходимости в модель SIR вводятся дополнительные отсеки и направления перемещения между отсеками:

(1) E – exposed – инфицированные при наличии у заболевания инкубационного периода, при котором инфицированный человек не может распространять инфекцию и находящиеся в инкубационном периоде, не распространяя инфекцию.

(2) D – dead – для заболеваний с высокой смертностью умершие от заболевания.

(3) V – vaccinated – вакцинированные восприимчивые индивиды, вакцинированные индивиды сразу перемещаются в отсек R.

(4) Q – quarantined – инфицированные, помещенные в карантин.

Кроме того, путем изменения модели SIR имеется возможность предусмотреть наличие временного иммунитета с последующим возвращением индивида в отсек восприимчивых, а также распространения заболеваний, для которых не вырабатывается иммунитет.

Рассмотрим модификацию базовой компартментной модели SIR при условии вакцинирования от инфекционного заболевания.

Обычно о влиянии вакцинации судят по двум параметрам: (1) насколько эффективно она защищает от заболевания вакцинированных индивидов; и (2) насколько эффективно она может косвенно защитить невакцинированных индивидов. Непрямая защита восприимчивой части популяции получила название «коллективного иммунитета» и относится к доле субъектов с иммунитетом в данной популяции, что может быть связано с естественным выздоровлением от инфекции, иммунизацией, вызванной вакциной, или их комбинацией. По сути, коллективный иммунитет указывает на долю иммунизированных лиц в популяции, которые смогут противостоять распространению заболевания. Из-за коллективного иммунитета нет необходимости вакцинировать всех членов восприимчивой популяции для предотвращения вспышек, поскольку размер восприимчивой популяции уменьшился, а вместе с ним уменьшается и вероятность передачи болезни от инфицированного к восприимчивому.

Порог коллективного иммунитета указывает на критическую часть восприимчивой популяции, которую необходимо вакцинировать / иммунизировать для предотвращения дальнейшей передачи заболевания. В классической модели SIR, которая предполагает, что индивиды имеют однородные и случайные контакты друг с другом, порог коллективного иммунитета, обозначенный  $\theta$ , для случайной вакцинации (при условии 100% эффективности вакцины), можно записать следующим образом:

$$\theta = 1 - \frac{1}{R_0}$$

Для вновь возникающих антропонозов, а также для мутировавших патогенов степень эффективности вакцины значительно снижается, т.е. вакцинированные индивиды также могут заразиться инфекционным заболеванием, но с меньшей долей вероятности. Для моделирования таких вакцин вводится дополнительный отсек V, куда помещаются вакцинированные индивиды.

Диаграмма передачи для модели SIR с введенным отсеком вакцинированных индивидов имеет следующий вид:

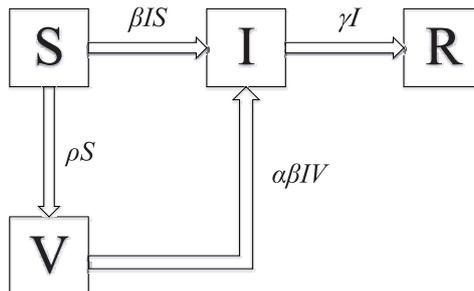


Рис. 2 – Диаграмма передачи для простой модели SIR с отсеком вакцинированных индивидов.

Редуцированная вероятность инфицирования при использовании несовершенной вакцины при этом  
 $0 < \alpha \leq 1$

Тогда система обыкновенных дифференциальных уравнений для описания динамики распространения инфекционного заболевания принимает вид

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta IS - \rho S \\ \frac{dV}{dt} &= \rho S - \alpha \beta IV \\ \frac{dI}{dt} &= \beta IS + \alpha \beta IV - I \\ \frac{dR}{dt} &= I\end{aligned}$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Brauer Fred, Castillo-Chavez Carlos, Feng Zhilan *Mathematical Models in Epidemiology* / F. Brauer, C. Castillo-Chavez, Zh. Feng – New York: Springer, 2019. – 625 p.
2. Li, Michael Y *An Introduction to Mathematical Modeling of Infectious Diseases* / M.Y. Li – New York: Springer, 2018. – 163 p.
3. Martcheva, Maia *An Introduction to Mathematical Epidemiology* / M. Martcheva – New York: Springer, 2015. – 462 p.

## МЕТОДОЛОГИЯ И ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ METHODOLOGY AND PRINCIPLES OF SYSTEMS ANALYSIS WHEN DESIGNING INFORMATION SYSTEMS

***T. В. Смирнова, Н. Б. Борковский***  
***T. Smirnova, N. Borkovsky***

*Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова  
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь  
smirnova@iseu.by  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Приведены материалы по применению методологии системного подхода и методов системного анализа при проектировании сложных информационных систем, включая экосистемы. Рассмотрены этапы проектирования, основанные на системном подходе, и практическое построение модели на языке объектно-ориентированного моделирования UML в редакторе диаграмм Rational Rose.

The materials on the application of the methodology of the system approach and methods of systems analysis in the design of complex information systems, including ecosystems are presented. The design stages based on the system approach and the practical construction of a model in the object-oriented modeling language UML in the Rational Rose diagram editor are considered.

*Ключевые слова:* система, системный анализ, системный подход, модель, экспертные методы, принятие решений.

*Keywords:* system, systems analysis, systems approach, model, expert methods, decision making.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-418-421>

Прикладная наука на современном этапе имеет дело не просто со сложными проблемами, но лежащими на стыке различных областей знания. Совершенствование вычислительной техники, появление новых направлений в физике, химии, математических дисциплинах способствовало формированию новой методологии исследований – системному анализу, основанному на системном подходе к явлениям.

Системный анализ – междисциплинарная наука, использующая как количественные методы математики, так и качественное описание процессов и явлений, связанных с функционированием сложных систем.

## 1 Роль системного анализа в проектировании информационных систем

Одна из характерных тенденций развития общества – появление больших и сложных систем, обусловленных увеличением сложности технических средств, что предполагает повышение требований к качеству их проектирования и управления.

Проектирование любой системы предполагает обязательные этапы:

1. Определить цель и показатели эффективности системы
2. Разработать структурную схему системы
3. Установить связи между подсистемами и отношения между отдельными элементами
4. Выявить необходимые ресурсы
5. Учесть влияние внешней среды
6. Обосновать оптимальный алгоритм функционирования системы для достижения цели

Важнейший этап построения системы – выделение и изучение структуры как совокупности элементов и связей между ними. Связь – обязательное свойство системы, которое обеспечивает возникновение и сохранность структуры и целостных свойств системы. Общее число связей обуславливает сложность системы, при этом число внутренних связей определяет внутреннее устройство системы, число внешних связей характеризует взаимодействие системы со средой. Общее число взаимодействий между элементами определяет устойчивость системы.

Решение таких вопросов требует системного подхода, в основе которого лежит представление о системе как целом объекте, взаимодействующем с внешней средой. Системный подход – это совокупность некоторых общих принципов, применяемых при проектировании сложных объектов.

К числу важнейших принципов относят следующие:

- Принцип выявления цели построения системы
- Принцип целостности предполагает, что исследуемый объект рассматривается как автономный относительно окружающей среды.
- Принцип сложности указывает на необходимость рассматривать объект, как сложную совокупность различных элементов, находящихся в разнообразных связях между собой и окружающей средой
- Принцип всесторонности указывает на то, что объект нужно изучать со всех сторон.

В зависимости от уровня сложности, все проблемы подразделяются на три класса:

1. хорошо структурированные (количественно сформулированные проблемы);
2. не структурированные (качественно выраженные проблемы);
3. слабо структурированные (проблемы, состав элементов и взаимосвязей которых установлен только частично; задачи, содержащие неперебиваемые на язык математики неформализуемые элементы)

Для решения хорошо структурированных проблем (формализованных) используется методология исследования операций. Она состоит в применении математических моделей и методов для отыскания оптимальной стратегии управления целенаправленными действиями.

В неструктурированных проблемах традиционным является эвристический метод, который состоит в том, что опытные эксперты собирают различные сведения о решаемой проблеме, и на основе количественных оценок и суждений вносят предложения о действиях для решения проблемы.

К слабо структурированным проблемам, для решения которых предназначен системный анализ, относится большинство наиболее важных технических, экономических, военно-стратегических и сопутствующих задач крупного масштаба.

Типичными проблемами являются те, которые:

- 1) намечены для решения в будущем;
- 2) сталкиваются с широким набором альтернатив;
- 3) зависят от текущего несовершенства технологических достижений;
- 4) требуют больших финансовых вложений и содержат элементы риска и неопределенности;
- 5) сложны и затратны по ресурсам, необходимых для их решения.

Методы системного анализа направлены на выдвижение альтернативных вариантов решения проблемы, выявление масштабов неопределенностей по каждому из вариантов. Основной результат системного анализа – не количественное решение проблемы, а увеличение степени ее понимания и возможных путей решения как у специалистов и экспертов, участвующих в исследовании проблемы, так и у лиц, ответственных за принятие решения.

## 2 Основные фазы проектирования информационной системы

Прикладным объектом системного анализа в экологии и медицине выступают реальные объекты природы, которые и рассматриваются как системы. Объекты характеризуются составом, структурой, системной организацией, функционированием и развитием. Характерная особенность таких объектов – непредсказуемость, короткие нелинейные связи между компонентами, наличие обратных связей как внутри объектов, так и с внешней средой.

Необходимый этап разработки информационной системы – описание этапов ее жизненного цикла. Жизненный цикл (ЖЦ) информационной системы – совокупность стадий и этапов, которые проходит система в своем развитии от момента принятия решения по созданию или усовершенствованию до момента прекращения существования. На практике реализуются три модели ЖЦ, зависящие от сложности постановки, наличия информации, полноты сформулированных требований: каскадная, инкрементная, спиральная (Рис.1)

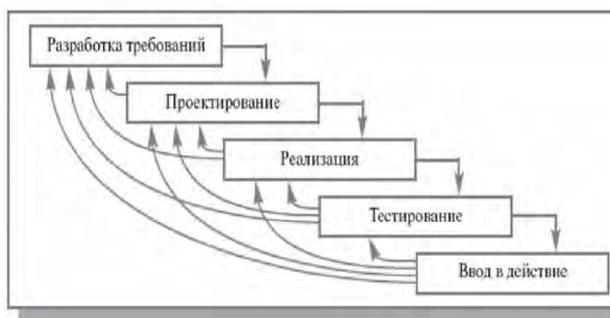


Рис.1а. Инкрементная модель ЖЦ



Рис.1б. Спиральная модель ЖЦ

На первом этапе любой модели ЖЦ формулируются потребности в новой системе или идентифицируются недостатки в существующей. Переход к следующим этапам происходит либо последовательно после завершения всех работ этапа, либо итерационно (или инкрементно), с уточнением требований к этапу и созданием нескольких версий продукта.

Для экологических систем, где присутствуют вероятностные оценки, неопределенность состояния внешней среды в каждый момент времени, часто отсутствуют сильная связь между признаками, целесообразно использовать спиральную модель ЖЦ, пригодную для создания системы любой сложности при отсутствии основных требований в начале работы над проектом.

### 3 Методы системного анализа

Различают неформальные и формальные методы системного анализа [1].

К неформальным методам относят следующие.

- Метод мозгового штурма. Используется для поиска новых идей на основе обсуждения и выработки конструктивных решений.
- Метод экспертных оценок. Выбор наиболее предпочтительного варианта основан на оценках экспертов о достоверности или значимости события.
- Метод «Дельфи» применяется для усовершенствования форм и методов работы системы.
- Диагностические методы для предсказания возможных отклонений в работе системы.
- Морфологические методы – для нахождения всевозможных вариантов реализации системы путем комбинирования выделенных элементов или признаков.
- Метод дерева целей – иерархическое деление общей цели на подцели.

Формализованные методы: сетевые; статистические, аналитические (аппарат нелинейного и динамического программирования, матричных игр).

В решении задач прикладной экологии главная роль принадлежит математическому моделированию.

Основные этапы построения математической модели с применением системного подхода:

- 1) Выделение системы из внешней среды, разбиение множества связей на входные и выходные параметры.
- 2) Выбор аппарата формализации
- 3) Построение внешнего описания системы: поиск области определения и области значений.
- 4) Тестирование модели. Если модель адекватно описывает поведение сложной системы, то переходим к внутреннему описанию системы определяем ее характеристики.

### 4 Использование экспертных оценок при проектировании информационных систем

В рамках дисциплины «Системный анализ и проектирование информационных систем» для студентов специальности «Информационные системы и технологии» разработан комплекс работ по применению методов системного анализа для решения неструктурированных и слабоструктурированных проблем.

Метод экспертных оценок основан на результате опроса группы экспертов – специалистов в конкретной области). Оценки могут быть представлены в числовых или номинальных шкалах.

Для решения неструктурированных проблем представлены методы экспертных оценок:

- Методы формирования индивидуальных экспертных оценок (метод рангов, методы парных сравнений, последовательных сопоставлений, взвешивания экспертных оценок)
- Методы формирования коллективных экспертных оценок (сбор исходных данных для метода Delpi, построение дерева целей, оценка согласованности мнений с применением коэффициента конкордации, метод Саати).

Для представления получаемой от экспертов эвристической информации введены различные виды шкал, позволяющие формализовать оценки для удобства их обработки.

Для решения слабоструктурированных задач предложен метод кластерного анализа, предназначенный для разделения множества анализируемых объектов и явлений на группы объектов, схожих друг с другом по каким-либо признакам. На учебном примере рассмотрены особенности применения методов кластерного анализа.

1. Подготовка данных, нормализация признаков объектов.

## 2.Разделение объектов по кластерам методом К-средних или максимина.

### 5 Стрoение и функционирование систем

До построения модели системы требуется получить практические навыки в выделении компонент и элементов системы, описывать свойства системы, ее внутреннюю структуру и взаимодействие с внешней средой, возможности управления системой.

На учебном примере модели технического устройства рассмотрены этапы:

1. Построение иерархии состава, с выделением подсистем и отдельных элементов.
2. Описание сущностного свойства системы, доказательство его эмерджентности.
3. Описание структуры системы, ее взаимодействия с окружающей средой.
4. Выделение характеристик системы, описывающих ее поведение во времени.
5. Описание различных состояний системы, наличие обратных связей.
6. Механизмы управления системой.

Для построения модели разработанной системы использовался язык унифицированного моделирования UML [2]. Язык UML позволяет разработать подробный план создаваемой системы, содержащей все ее элементы, схемы баз данных и программные компоненты многократного использования. В результате получаем код на языке программирования C++. Для работа с языком использовался редактор диаграмм Rational Rose.

В качестве одного из самостоятельных заданий разработана и построена модель информационной системы приемного отделения больницы, позволяющая решать основные задачи по автоматизации процесса регистрации и ведения пациентов, с доступом к базе данных. Диаграммы некоторых вариантов использования приведены на Рис.2а, б

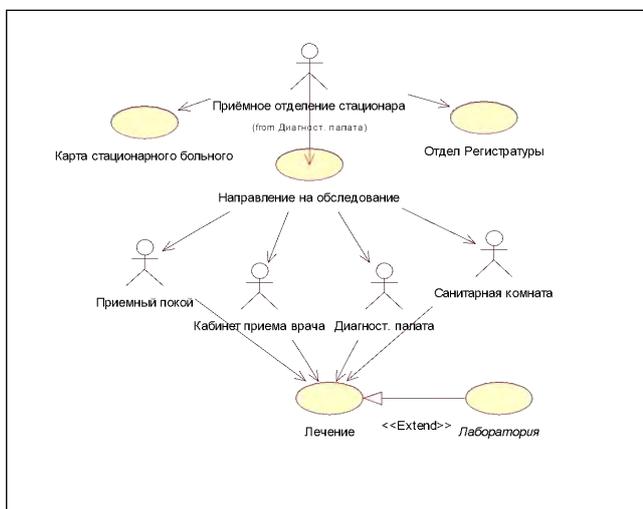


Рис.2а. Диаграмма вариантов использования (сценариев поведения пользователей системы) на уровне приемного отделения

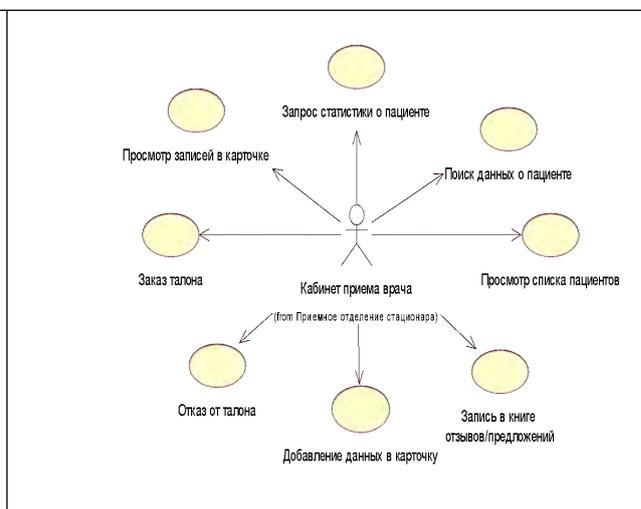


Рис.2б. Функциональные возможности системы по автоматизации процесса сопровождения истории болезни

### Заключение

Одна из задач системного анализа – раскрытие проблем, стоящих перед руководителями, принимающими решения, настолько, чтобы им стали очевидны все основные последствия решений, которые можно было учитывать в своих действиях. Системный анализ помогает ответственному за принятие решения лицу более строго подойти к оценке возможных вариантов действий и выбрать наилучший из них с учетом дополнительных, неформализуемых факторов и моментов. Ценность системного анализа, основанного на системном подходе, состоит в большем понимании сути проблемы, в более четкой формулировке глобальной цели, в выявлении общих элементов и обнаружении скрытых связей.

В работе представлены результаты применения методов системного анализа при решении задачи построения модели информационной системы. На этапе предварительного анализа требуется провести экспертизу разрабатываемой системы. Предложены методы экспертного оценивания и выбора наилучшего варианта.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Волкова В. Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ. М.: Изв-во Юрайт, 2014 – 616 с.
2. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений, 3-е изд.: Пер с англ. – М.: ООО “И.Д. Вильямс”, 2010. – 720 с.

**ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ  
ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**ECOLOGICAL, GEOGRAPHICAL AND HISTORICAL ASPECTS OF THE STUDY  
OF HYDROMINERAL RESOURCES OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

**А. В. Соколова**  
**A. V. Sokolova**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ  
Минск, Республика Беларусь  
sokolovaav@bsu.by  
Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

Рассмотрены основные закономерности территориального распространения и состава гидроминеральных ресурсов Республики Беларусь. Выполнена эколого-географическая оценка ресурсов и перспектив использования сапропелей в стране. Установлено, что Беларусь самостоятельно обеспечивает свои потребности, в обеспечении санаторно-курортных объектов страны лечебными рассолами, а также сапропелевыми и торфяными гязями, что позволяет укреплять лечебно-оздоровительную базу объектов здравоохранения Беларуси, и развивать туристический бизнес в стране.

The main regularities of the territorial distribution and composition of hydromineral resources of the Republic of Belarus are considered. An environmental and geographical assessment of the resources and prospects for the use of sapropels in the country was carried out. It has been established that Belarus independently meets its needs in providing health resort facilities of the country with medicinal brines, as well as sapropel and peat mud, which makes it possible to strengthen the medical and health-improving base of health facilities in Belarus, and to develop the tourist business in the country.

*Ключевые слова:* минеральные ресурсы, сапропелевые гязи, рекреация, бальнеолечение.

Key words: mineral resources, sapropel mud, recreation, balneotherapy.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-422-424>

Беларусь относится к странам, не обладающим в достаточной степени собственными ресурсами минеральных руд и горючих ископаемых, на которых базируется современное машиностроение и химическая промышленность. В условиях нашей страны основной местной сырьевой базой для развития экономики могут служить отложения торфа и сапропеля, накопившиеся в течение тысячелетий в болотах и озерах.

Запасы ресурсов практически не тронутого человеком сапропеля составляют в Беларуси более 4 млрд м<sup>3</sup>. Сапропель – горная порода преимущественно биогенного происхождения, формирующаяся на дне пресноводных водоемов из остатков планктонных и бентосных организмов при участии бактериальных процессов.

Большинство современных исследователей в настоящее время используют термин «сапропель» согласно Г. Потонье (1920) для обозначения озерных седиментов, обогащенных органическим веществом. Границей между минеральными осадками озер (илами) и сапропелем в настоящее время принято считать 15%-ное содержание органического вещества.

Первоначальные сведения о водоёмах Беларуси и их отложениях получены в 1914-1919 годы, Систематические работы по изучению сапропелей стали проводиться в СССР в 1920-е - 1930-е годы после организации опытной сапропелевой станции (1920 г.) и Лаборатории генезиса сапропеля при Институте горючих ископаемых АН СССР (1931 г.). Тогда были открыты ряд новых месторождений, и в печати приведены комплексные физико-химические, биологические и микробиологические сведения по сапропелям некоторых озёр, разработке методических подходов по исследованию сапропеля, впервые предложены классификации типов озёрных отложений и установлены ресурсы сапропелевого сырья в стране.

В Беларуси по исследованию сапропеля в указанный период работала экспедиция под руководством И. Н. Арнольда в районе г. Полоцка и г. Лепеля. В 20-е годы в северо-восточной части страны работали Г. Ю. Верещагин и К. К. Гильзен, которые помимо специальных гидрологических исследований изучали особенности накопления донных отложений.

Начало специальному изучению озерных сапропелей республики положено в 1929 году, когда были организованы экспедиции для выявления их сырьевых запасов (Соловьев, 1931, 1934, 1935). В результате проведенных исследований установлено, что сапропель является экологически чистым природным сырьем, обладающим

разнообразным вещественным составом, высокими тепловыми свойствами, гомогенной структурой, широким спектром макро- и микроэлементов, витаминов, ферментов и других биологически активных веществ.

Республика Беларусь отличается достаточно хорошей изученностью озерного сапропеля. Первые геолого-разведочные работы в стране были проведены в 30-е годы прошлого века, но планомерные изыскания начали активно осуществляться лишь в 70-е - 90-е годы. К настоящему времени детальная разведка сапропеля (категория оценки запасов А) выполнена на 71 озере. Поисково-оценочные работы (категория оценки запасов С2) проведены на 590 водоемах. Кроме того, насчитывается около 200 озер, запасы сапропеля в которых оценены прогнозно, вследствие недостаточного количества разведочных пунктов бурения. Для остальных 1 070 неизученных озер прогнозные ресурсы сапропеля установлены с учетом их площади и средней мощности осадков в исследованных водоемах в пределах каждого административного района страны (категория прогнозных ресурсов Р).

В настоящее время общие запасы сапропеля в Беларуси составляют порядка 3,7 млрд м<sup>3</sup>, в том числе 2,7 млрд м<sup>3</sup> в озёрах и около 1 млрд м<sup>3</sup> под торфяной залежью. Так, например, в Брестской области – 139 млн м<sup>3</sup>. В таблице 1 представлены показатели по уровню изученности и составу сапропеля Беларуси на 01.01.2020 года. Установлено, что разведанные их запасы составляют 690,2 млн т, а прогнозные ресурсы в неисследованных озерах – 174,1 млн т. Таким образом, показатели общих геологических запасов сапропеля в стране составляют 864,3 млн т, из которых 10 % разведано по категории А и 70 % – оценено по категории С2.

Неисследованными в Беларуси являются около 20 % общих запасов сапропеля. Наибольшие их ресурсы сосредоточены в Витебской области и на севере Минского региона, а также в Гродненском, Ивацевичском, Житковичском и в ряде других районов Беларуси. В зависимости от геоэкологических условий и ряда других природных факторов запасы сапропеля и их вещественный состав в стране заметно отличается. Как показал опыт проведения геологоразведочных работ, даже в пределах одного месторождения иногда насчитывается до четырех типов отложений, несколько классов и более десяти видов сапропеля.

В Беларуси, в освоении сапропеля отмечены два активных периода. Первый – приходится на довоенные годы, когда в районе г. Чашники был построен завод по переработке сапропеля. Тогда для обеспечения работы завода в Витебской области было разведано более 100 объектов с запасами малозольного сапропеля – 180 млн м<sup>3</sup>.

На белорусские сапропели рассчитывали, как на местное энергетическое сырьё и материал, способный служить базой для развития новых отраслей экономики страны.

Существенный вклад в изучение генезиса и особенностей сапропелевых месторождений Беларуси внес профессор А.П. Пидопличко. Он исследовал несколько десятков сапропелевых озер в различных регионах страны, что позволило выявить основные закономерности развития сапропелевых месторождений, раскрыть особенности формирования ценных в практическом отношении малозольных их залежей, разработать методику анализа, оценки и классификацию сапропелей.

В работах М.З. Лопотко и сотрудников Института Торфа АН БССР, представлена всесторонняя оценка ресурсов сапропелей Беларуси и разработаны методические приемы их разведки, представлены направления технологии промышленной разработки сапропелей, исследованы возможности их широкомасштабного использования в грязелечении и в качестве кормовых добавок в животноводстве и сельском хозяйстве.

Сапропелевые отложения как продукт природных ландшафтов и совокупности процессов, происходящих в озерах, изучались отраслевой научно-исследовательской лабораторией озераведения БГУ профессором О.Ф. Якушко. Особое внимание ею уделялось исследованию современных осадков и процессам антропогенного воздействия на озера.

Геохимические аспекты при формировании и развитии озерно-болотных систем исследовались учеными Института геохимии и геофизики АН БССР В.К. Лукашевым, А.Л. Жуховицкой, А.А. Хомичем [1].

Несмотря на значительные исследования физико-химического состава сапропелей в Беларуси, их генезиса и стратиграфии, следует отметить, что работ, отражающих влияние комплекса внешних и внутренних факторов на развитие водоемов и накопление в них осадков, незначительно и в настоящее время. Так, Н.М. Страхов в 1954 году подчеркивал в своих работах, что при исследовании водоема необходимо подходить к нему, как к природному объекту, тесно связанному с водосборной площадью, среди которой он находится.

В настоящее время предложены новые, более наукоемкие направления использования сапропеля, которые рассчитаны на меньшее потребление ресурсов: производство сорбентов, буровых растворов, косметических препаратов, кормовых добавок и лечебных грязей.

Экономический потенциал Беларуси в значительной мере зависит от степени использования местных сырьевых ресурсов. Ценным полезным ископаемым в стране является сапропель – специфическое тонкоструктурное коллоидное отложение пресноводных водоемов. На территории Беларуси в настоящее время насчитывается около 1 900 гляциогенных озер площадью более 1 га. Все они, за редким исключением, являются сапропелепродуктивными. Для озер старичного генезиса, которые широко представлены в поймах рек Припять, Днепр и Сож, формирование сапропеля не характерно. В них в основном формируются маломощные слои минеральных илов [3].

Территория Беларуси отличается достаточно хорошей изученностью озерного сапропеля. Его ресурсы, практически не вовлечены в хозяйственную деятельность, в озерах и болотных массивах их запасы составляют более 4 млрд м<sup>3</sup>. К настоящему времени детальная разведка сапропеля (категория оценки запасов А) выполнена на 71 объекте. Поисково-оценочные работы (категория оценки запасов С2) проведены на 660 водоемах. Кроме того, насчитывается около 200 озер, запасы сапропеля в которых оценены прогнозно, по причине недостаточного

количества разведочных пунктов бурения. Для остальных 1 070 неизученных озер прогнозные ресурсы сапропеля установлены с учетом их площади и средней мощности осадков в водоемах в пределах каждого административного района страны (категория прогнозных ресурсов Р)[2].

По степени изученности и составу сапропеля Беларуси на 2020 год разведанные их запасы составляют 690,2 млн. тонн, а прогнозные ресурсы в неисследованных озерах 174,1 млн. тонн. Таким образом, показатели общих геологических запасов сапропеля составляют 864,3 млн. тонн, из которых 10% разведано по категории А и 70% – предварительно оценено по категории С<sub>2</sub>. Неисследованными являются около 20% общих ресурсов сапропеля в стране. Наибольшие их ресурсы сосредоточены в Витебской области и на севере Минской, а также в Гродненском, Ивацевичском, Житковичском и ряде других районов страны [4].

В зависимости от геоклиматических и ряда других природных факторов запасы сапропеля и их вещественный состав заметно отличаются. Как показывает опыт проведения геологоразведочных работ, даже в пределах одного месторождения иногда насчитывается до 4 типов отложений, несколько классов и более 10 видов сапропеля. Так, общие их геологические запасы в Брестской области составляют 31,8 млн. тонн, Витебской – 606,3 млн. тонн, Гомельской – 23,7 млн. тонн, Гродненской – 31,5 млн. тонн, Минской – 160,3 млн. тонн и Могилевской области – 10,7 млн. тонн. Всего – 864,3 млн. тонн (табл.1).

Таблица 1. Изученность и типологический состав озерного сапропеля Беларуси (по состоянию на 01.01.2011).

Область	Общие геологические запасы, млн т	Категория разведанных запасов, млн т		Прогнозные ресурсы, млн т	Тип сапропеля, % от общих запасов			
		А	С <sub>2</sub>		органический	кремнеземистый	карбонатный	смешанный
Брестская	31,8	12,2	16,5	3,1	47	35	1	17
Витебская	606,3	28,3	470,6	107,4	15	75	4	6
Гомельская	23,7	17,8	4,1	1,8	13	83	1	3
Гродненская	31,5	6,0	19,3	6,2	9	33	31	27
Минская	160,3	13,9	91,4	55,0	14	52	14	20
Могилевская	10,7	7,7	2,4	0,6	49	14	1	36
Всего по Беларуси	864,3	85,9	604,3	174,1	17	68	6	9

Самое крупное в Беларуси месторождение сапропеля расположено в озере Дикое в Дятловском районе Гродненской области. Сапропель – илстые отложения пресных водоёмов, содержащие большое количество органических веществ, используемых в лечебной практике для аппликаций и ванн для грязелечения. В сельском хозяйстве сапропель используют как удобрение. Около 80% их сконцентрировано в Витебской и на севере Минской области. В одном только озере Освейском их запасы достигают 86 млн. тонн. В озерах Червоном, Судобль и других ведется промышленная добыча этого ценного сырья. В озере Кривом в Ушачском районе на глубине 30 м залегают сапропель черного цвета. В нем содержится более 10% железа и 2% марганца. В озере Ричи, что на Браславщине, озерная руда распространена на глубине 5-8 метров. Количество железа в ней достигает 25%. В самом большом по площади Беларуси озере Нарочь сапропели похожи на густую манную смесь, представляющие озерную известь СаСО<sub>3</sub> и превращающиеся в сухом виде в грязно-белую рыхлую массу, в которой возможно различить мелкие раковины моллюсков.

Таким образом, все вышеизложенное раскрывает необходимость расширения и углубления знаний о процессах формирования и пространственной дифференциации озерного сапропеля, выделение его месторождений с ценными видами осадков и последующего их использования для получения новой продукции и применения в различных отраслях экономики страны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Курзо, Б. В. Исследования в области генезиса использования и охраны сапропелевых месторождений Беларуси / Б.В. Курзо, О.М. Гайдукевич // Природопользование; под. ред. И.И. Лишвана. – Минск: ОДО «Топник». – 2002. – Вып.8. – С. 22-33.
2. Курзо Б.В., Молочко Л. Г., Васкевич А.Ю., Мелец Б.Ф., Ситник Г.Д. и др. Инструкция по использованию сапропелевых лечебных грязей для оздоровления и санаторно-курортного лечения – Минск.: РЦ по оздоровлению и сан.-курортному лечению населения, 2008. – 28 с.
3. Курзо Б.В., Гайдукевич О.М., Кляуззе И.В., Роговой Ю.И., Кашицкий Д.Э.// Перспективы использования сапропелевых лечебных грязей в санаторно-оздоровительных учреждениях Материалы республ. научно-практической конфер. «Современные проблемы курортной терапии», 26 ноября 2010 г., – Гродно, 2010. – С. 34–39.
4. Курзо Б.В., Кашицкий Э.С., Гайдукевич О.М., Кмит Н.А. Ресурсы сапропелевых лечебных грязей в Республике Беларусь Матер. республ. научно-практич. конфер. с междуна. участием «Санаторно-оздоровительный комплекс в сфере туризма и гостеприимства», г. Минск, 20 марта 2013 г., Минск: Экономпресс, 2013. С. 197-202.

# ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ДЕТЕКТОРА ФИЗИЧЕСКОГО ДИСТАНЦИРОВАНИЯ В ПЕРИОД ЭПИДЕМИИ

## THE POTENTIAL OF COMPUTER VISION AS A PHYSICAL DISTANCE DETECTOR DURING THE EPIDEMIC

**С. В. Ткаченко, Т. В. Смирнова**  
**S. Tkachenko, T. Smirnova**

*Учреждение образования “Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова” Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Республика Беларусь  
freddy.clarck@yandex.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Представлены материалы по реализации детектора физического дистанцирования на базе системы компьютерного зрения ввиду инфекции COVID19. Приводится описание использования компонентов системы и обоснование возможностей их использования.

The materials on the implementation of a physical distance detector based on a computer vision system due to COVID19 infection are presented. The description of the use of the system components and the rationale for their use is given.

*Ключевые слова:* дистанцирование, компьютерное зрение, OpenCV, свёрточная нейронная сеть, детектор объектов YOLO, NVIDIA CUDA.

*Keywords:* distance, computer vision, OpenCV, convolutional neural network, YOLO object detector, NVIDIA CUDA.

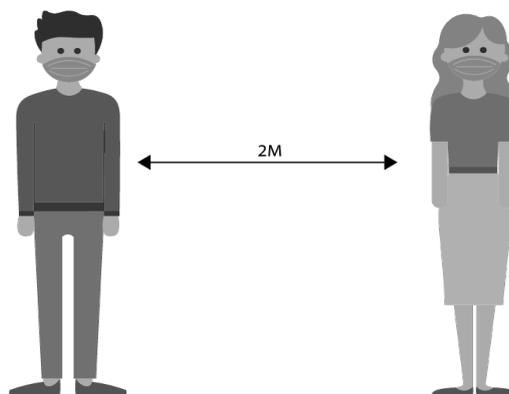
<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-425-428>

Актуальность работы объясняется необходимостью создания средств автоматического контроля за распространением социально значимых заболеваний. В статье представлен макет устройства, позволяющий контролировать соблюдение дистанции физического дистанцирования. Такое устройство может использоваться различными службами, включая санитарные, для контроля соблюдения населением рекомендаций системы здравоохранения относительно правил дистанцирования.

Цель работы – разработка прототипа детектора физического дистанцирования с использованием системы компьютерного зрения OpenCV и детектора объектов YOLO.

Физическое дистанцирование – это комплекс немедикаментозных действий, направленных на замедление распространения инфекционного заболевания. Цель физического дистанцирования – снижение вероятности контакта между инфицированными и неинфицированными людьми, чтобы уменьшить уровень передачи инфекции.

Физическое дистанцирование, возможно, является наиболее эффективным нефармацевтическим способом предотвращения распространения болезни – по определению, если люди не находятся близко друг к другу, они не могут распространять инфекцию (рис.1)



*Рис. 1. Соблюдение физической дистанции как мера по предотвращению распространения инфекций*

### Аппаратная составляющая детектора дистанцирования

В настоящее время государственными и частными организациями, а также отдельными лицами используется большое количество готовых систем видеонаблюдения – от профессиональных охранных камер, до простых

веб-камер, которые имеют различные разрешения, тип матрицы, фокусное расстояние и множество других характеристик. Но все существующие системы по выявлению необходимых объектов в режиме реального времени требуют специального оборудования, включая мощные компоненты для обработки логических и графических операций. Также в качестве необходимого элемента системы используются и оптические компоненты – камеры видеонаблюдения.

Главной проблемой при создании аппаратной части мобильного недорогого детектора является решение вопроса об определении точного расстояния между контролируемыми объектами, в данном случае – дистанции между людьми. Точнее, нужно определить, соблюдается ли расстояние между объектами более чем  $N$  пикселей.

Поэтому для использования данных оптических приборов в системе необходимо понять, какое количество пикселей (двумерных наборов входных данных) для нас будет оптимально. Для этого предлагается использовать метод подобия.

Допустим, есть маркер или объект с известной шириной  $W$ . Затем мы помещаем этот маркер на некотором расстоянии  $D$  от камеры. Мы берем картину нашего объекта, используя камеру, а затем измеряем видимую ширину  $P$  в пикселях. Это позволяет нам получить воспринимаемое фокусное расстояние  $F$  нашей камеры [1]:

$$F = (P \cdot D) / W \quad (1)$$

Продолжая перемещать камеру как ближе, так и дальше от объекта / маркера, можно применить свойство подобия треугольников, чтобы определить расстояние от объекта до камеры:

$$D' = (W \cdot F) / P \quad (2)$$

Кроме аппаратной части системы, для ее управления требуется программное обеспечение. Программная составляющая детектора физического дистанцирования основывается на системе компьютерного зрения OpenCV, глубоком обучении, детекторе объектов YOLO, программно-аппаратной архитектуре параллельных вычислений NVIDIA CUDA GPU.

С учётом этого была разработана программа, способная выполнять анализ как по уже имеющимся данным видеодатасетов, так и в режиме реального времени. Преимущество системы в том, что она способна работать как на экономичных одноплатных микрокомпьютерах, так и на мощных системах.

### Использование методов глубокого обучения при обработке данных от систем компьютерного зрения

Глубокое обучение – область машинного обучения, которая рассматривает методы решения задач искусственного интеллекта с использованием глубоких нейронных сетей. Основная проблема при использовании глубоких нейросетей с большим количеством скрытых слоев – трудность обучения по причине исчезающего градиента: при использовании традиционных функций активации сигналы об обратном распространяемых ошибках быстро становятся очень малыми (или слишком большими). Хотя прогресс в создании алгоритмов глубокого обучения к настоящему времени существенный [2].

Для задач компьютерного зрения используют главным образом архитектуру свёрточных нейронных сетей. Свёрточные нейронные сети (Convolutional Neural Network, CNN) устраняют необходимость ручного извлечения признаков объектов, поскольку используют шаблоны для классификации изображений. Кроме того, CNN могут быть переобучены на предварительно обученных моделях для выполнения новых задач классификации и распознавания. Данный тип нейронных сетей объединяют три архитектурных идеи для обеспечения инвариантности распознавания к изменению масштаба, повороту, сдвигу и пространственным искажениям, тем самым хорошо подходят для работы как со статическими, так и с динамическими изображениями (рис. 2).

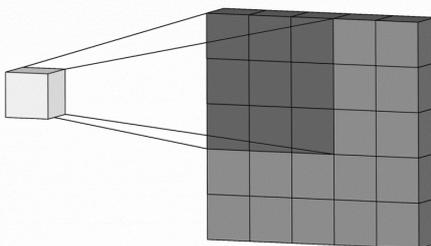


Рис.2. Свёрточная нейронная сеть

Свёрточная нейронная сеть состоит из разных видов слоев: свёрточные слои, субдискретизирующие слои и слои «обычной» нейронной сети – перцептрона. Первые два типа слоев, чередуясь между собой, формируют входной вектор признаков для многослойного перцептрона.

Локальные рецепторные поля обеспечивают локальную двумерную связность нейронов. Общие синаптические коэффициенты обеспечивают детектирование некоторых черт в любом месте изображения и уменьшают общее число весовых коэффициентов.

В системе социального дистанцирования используется детектор объектов YOLO. На текущий момент является популярной архитектурой для свёрточных нейронных сетей и используется для распознавания множества объектов на изображении.

Главная особенность этой архитектуры, реализующей алгоритмы быстрой детекции, по сравнению, например, с двухэтапными (R-CNN, Fast R-CNN), состоит в том, что семейство двухэтапных методов применяет сверточную нейронную сеть несколько раз к разным регионам изображения, а YOLO «прогоняет» изображение через CNN один раз. Сеть делит изображение на своеобразную сетку и обнаруживает объекты указанного класса для каждого участка, с определением охватывающей рамки.

Плюсы данного подхода состоит в том, что сеть смотрит на все изображение сразу и учитывает контекст при детектировании и распознавании объекта.

Если сравнивать с подобными решениями, то YOLO в 1000 раз быстрее чем R-CNN, и почти в 100 быстрее чем Fast R-CNN [3].

С учётом того, что данная система разрабатывалась под разные архитектуры в программе, сразу указываются две константы, на основании которых будет работать система:

- логическое значение, указывающее, следует ли использовать NVIDIA CUDA GPU;
- определить минимальное безопасное расстояние (в пикселях), на котором могут находиться друг от друга два человека.

Для ускорения обучения на больших наборах данных рекомендуется распараллеливать вычисления на многоядерных процессорах и на графических процессорах GPU. NVIDIA CUDA GPU (Compute Unified Device Architecture) является программно-аппаратной архитектурой параллельных вычислений, которая позволяет существенно увеличить вычислительную производительность благодаря использованию графических процессоров фирмы NVIDIA [4].

У видеочипов работа простая и распараллеленная изначально. Видеочип принимает на входе группу полигонов, проводит все необходимые операции, и на выходе выдаёт пиксели. Обработка полигонов и пикселей независима, их можно обрабатывать параллельно, отдельно друг от друга [5]. Поэтому, из-за изначально параллельной организации работы в GPU используется большое количество исполнительных блоков, которые легко загрузить, в отличие от последовательного потока инструкций для CPU.

Таким образом предполагая, что результат программного приложения дает хотя бы одно обнаружение, мы перебираем их, извлекаем координаты ограничивающего прямоугольника и обновляем наши полученные результаты список, состоящий из данных по признакам:

- вероятность обнаружения каждого объекта (человека);
- ограничивающая рамка каждого человека;
- центроид каждого человека;
- возвращаем полученные результаты вызывающей функции.

Реализация детектора социального дистанцирования с помощью OpenCV и глубокого обучения проходит по следующему сценарию:

- идёт выбор аппаратной части (определяется ее мощность), тем самым корректируются параметры конфигурационного файла на использование NVIDIA CUDA GPU;
- определяется, будет ли происходить работа обработки изображения в реальном времени или с уже подготовленным файлом.

При использовании уже готового файла системой предусмотрена возможность подготовки измененного видеофайла с метками на анализируемых объектах.



Рис.3. Пример работы системы социального дистанцирования

Таким образом, разработанная система социального дистанцирования с использованием сверточной нейронной сети и детектора YOLO, позволяет:

- обнаруживать наличие объекта в видеопотоке;
- определять центроиды для каждого обнаруженного человека;
- производить вычисление попарных расстояний между всеми центроидами;

• производить проверку, выдерживалось ли рекомендуемое расстояние между объектами. Если обнаруживается, что парные расстояния менее  $N$  пикселей, то это означает, что пара людей нарушила правила социального дистанцирования (рис. 3).

Кроме того, возможности графического процессора с поддержкой NVIDIA CUDA позволяют работать в режиме реального времени, что позволяет использовать детектор в качестве проверочного прибора при соблюдении норм социального дистанцирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бринк Хенрик, Ричардс Джозеф, Феверолф Марк. Машинное обучение. – СПб.: Питер, 2018. – 336 с.
2. Boominathan L., Kruthiventi S.S., Babu R.V. CrowdNet: A Deep Convolutional Network for Dense Crowd Counting // Proceedings of the 2016 ACM on Multimedia Conference (Amsterdam, The Netherlands, October 15–19, 2016), 2016. P. 640–644. DOI: 10.1145/2964284.2967300
3. Винстон Уэйн. Бизнес-моделирование и анализ данных. Решение актуальных задач с помощью Microsoft Excel. 5-е издание. – СПб.: Питер, 2018. – 864 с.: ил. – (Серия «Библиотека программиста»).
4. Николенко С., Кадурин А., Архангельская Е. Глубокое обучение. – СПб.: Питер, 2018. – 480 с.
5. Плас Дж. Вандер. Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение. – СПб.: Питер, 2018. – 576 с.

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И ВЛАЖНОСТИ В ЗАМКНУТОЙ СРЕДЕ AUTOMATION AND CONTROL SYSTEM FOR CARBON DIOXIDE CONCENTRATION AND HUMIDITY IN A CLOSED ENVIRONMENT

**А. В. Чернявский, И. В. Лефанова**  
**A. V. Chernyavsky, I. V. Lefanova**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: Alex27by@gmail.com  
Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

Создание автоматизированной системы контроля концентрации углекислого газа и влажности на базе микроконтроллера Arduino UNO, с использованием реле, модуля реального времени ds1307 и датчика температуры и влажности DHT11. Контроль осуществляется посредством программы, написанной в Arduino IDE на языке программирования C++.

Creation of an automated carbon dioxide and humidity control system based on the Arduino UNO microcontroller, using a relay, real-time ds1307 module and DHT11 temperature and humidity sensor. The control is carried out by means of a program written in the Arduino IDE in the C ++ programming language.

*Ключевые слова:* Arduino, модуль реального времени, язык программирования C++.

*Keywords:* Arduino, real-time module, C ++ programming language.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-428-430>

В связи с экспоненциальным ростом населения Земли и вместе с тем с ростом городского населения одной из основных проблем современности стало обеспечение населения продовольствием. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур за счет внедрения генномодифицированных растений в целом не способно справиться с основными сельскохозяйственными проблемами, такими как зависимость урожайности от погодных условия и стремительной деградацией плодородных почв. Одним из наиболее перспективных способов решения продовольственной проблемы стало внедрение технологий внегрунтового растениеводства (гидро-, аэро- и аквапоника). Гидропонные системы используются уже несколько лет. Оборудуются специальные теплицы, помещения, являющиеся закрытой средой. В России есть несколько проектов, которые являются доказательством дееспособности подобных систем. Есть проекты, в которых создают готовые теплицы, которые можно установить и выращивать различные сорта растений, другие же создают автоматическую систему, готовую к установке в практически любом помещении, подходящим по требованиям. Некоторые компании используют подобные решения как метод выращивания чистых овощей, позволяющий зарабатывать средства, за счет продажи этой продукции.

Организация городского агропромышленного комплекса в виде замкнутой автономной системы возможно за счет автоматизированного управления всеми модулями и этапами выращивания растений. Автоматизированное

и удаленное управление аква- и гидропонными установками позволяет минимизировать потери материальных ресурсов и повысить урожайность растений.

Разрабатываемый в данном проекте модуль контроля температуры и влажности, позволяет контролировать температурные границы для поддержания их в рамках оптимальных для роста большинства культур, а также контролировать влажность, избегая ее чрезмерного превышения, что может приводить к гниению растущих организмов. Для поддержания температурных границ было решено использовать две установки: охлаждающую и нагревающую[1]. Для контроля влажности остановились лишь на осушителе для понижения влажности ввиду того, что гидропонные системы подразумевают обильное количество воды и влаги в воздухе, понизится ниже комфортной влажность не может. Для получения усредненных результатов по всей площади установки было решено использовать несколько датчиков, с возможностью увеличения их в дальнейшем при необходимости. В нашем проекте используется 4 датчика, с целью найти среднее значение по ним, особенно с учетом того, что данные датчики будут расположены по углам помещения гидропонной установки. Для лучшей передачи температуры и влажности в гидропонной установке предусмотрена система, перегоняющая воздух по всему помещению, что способствует лучше проводить мониторинг интересующих нас параметров.

Экосистема пригодная и благоприятная для выращивания растений требует соблюдения нескольких факторов: подача углекислого газа только в дневное время, для симуляции цикла день/ночь а также поддержание концентрации в промежутке от 1000 до 1500 ppm(миллионная доля, единица измерения концентрации).

Большинство систем подобного вида базируется на микроконтроллерах. Они позволяют осуществить сбор информации, ее обработку, проведение алгоритма для вычисления следующего действия и дальнейшее взаимодействие с системой.

Так как возможностей микроконтроллеров для полноценного поддержания всей системы и логирования происходящего с системой не достаточно – потребуется использовать одноплатный компьютер, ввиду их малого размера, достаточной вычислительной мощности, учитывая цели, а также малым тепловыделением, что позволит не беспокоиться о перегреве, и, как следствие, охлаждении, в избежание раннего прихода в негодность оборудования.

Для реализации проекта были использованы следующие компоненты:

- Arduino UNO



Рис. 1 – Arduino UNO

- Электромагнитное реле



Рис. 2 – Электромагнитное реле

- Датчик температуры и влажности DHT11

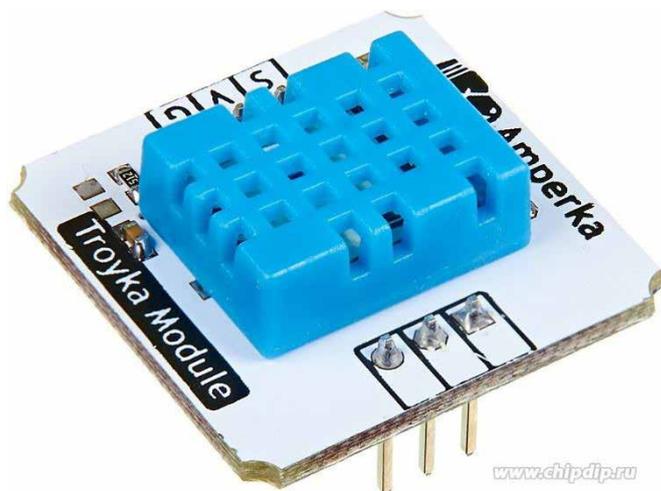


Рис. 3 – Датчик температуры и влажности DHT11

- Часы реального времени DS1307



Рис. 4 – Часы реального времени DS1307

Система, проводящая анализ воздуха на концентрацию газа получает информацию от датчиков размещенных по периметру помещения, после получения данных получает среднее значение концентрации, проводит проверку, достаточна ли имеющаяся концентрация для поддержания благоприятного для растений уровня CO<sub>2</sub>. Также проводится проверка, соблюдены ли условия временного режима день/ночь, при котором выпуск в среду углекислого газа возможен лишь днем. После прохождения двух этих проверок, если уровень CO<sub>2</sub> недостаточно высок, магнитный клапан переключается для выпуска газа в среду. Выпуск углекислого газа происходит поэтапно, чтобы он мог распространиться по всему объему помещения.

Система, проводящая анализ влажности воздуха получает информацию из датчиков, размещенных по периметру помещения, после получения данных рассчитывает среднее значение, проводит проверку, находится ли значение в рамках комфортных значений для растений (на данном этапе не определена культура, которая будет выращиваться в гидропонной системе, потому невозможно привести точные значения). При превышении комфортных условий будет подаваться питание на осушающую воздух установку, для понижения влажности. Стоит отметить, что увлажнять воздух дополнительно не требуется, ввиду того, что в гидропонных системах воздух всегда поддерживает достаточно высокую влажность.

Рис. 5 – Схема подключения компонентов

В дальнейшем планируется расширить функционал для управления несколькими модулями при помощи одноплатного компьютера, а также контроль оставшегося газа в баллоне, содержащем CO<sub>2</sub>

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ревич Ю. Занимательная электроника / Ю. Ревич – СПб: БХВ-Петербург, 2015. – 577 с.
2. Веб-инструмент [circuito.io](https://www.circuito.io) [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://www.circuito.io/app>. Дата доступа: 09.12.2020.
3. Температура выращивания растений [Электронный ресурс] / Сад и огород – Режим доступа: <https://7dach.ru/orest/o-temperaturnom-rezhime-15109.html>. Дата доступа: 03.12.2020.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ В ПРОБЛЕМАХ МЕДИЦИНЫ

ВЛИЯНИЕ ФИБРИЛЛООБРАЗОВАНИЯ ИНСУЛИНА В. Ю. Абакумец, К. Я. Буланова .....	7
ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ И ПРОФИЛАКТИКА РАКА ЛЕГКИХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ О. С. Аксёненко.....	10
МИКРОЭЛЕМЕНТОЗЫ ПРИ ОСТЕОАРТРИТАХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ А. М. Башура, И. В. Коктыш, В. Т. Коктыш .....	13
ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ НА ПАРАМЕТРЫ ДОСТАВЛЯЕМОГО ИМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТРЕХМЕРНОГО ДОЗОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ Г. В. Бельков, М. Н. Петкевич .....	17
СИНТЕЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО НУКЛЕОЗИДА 8-БРОМАДЕНОЗИНА И ЕГО ФОСФОЛИПИДНОГО ПРОИЗВОДНОГО Л. Л. Биричевская, М. А. Винтер, А. К. Дорошевич, М. А. Ханчевский, Е. И. Квасюк, А. И. Зинченко .....	20
ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ФИБРИЛЛООБРАЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЫ ИНСУЛИНА Н. В. Богданова, В. В. Саган, О. А. Соколович .....	24
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ДОКИНГА ПОТЕН- ЦИАЛЬНЫХ ЛИГАНДОВ БЕЛКА S1 SARS-COV-2 С. Д. Бруякин, Д. А. Макаревич .....	27
ПРЕДИКТОРЫ РАЗВИТИЯ САХАРНОГО ДИАБЕТА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ Е. Н. Будкова, М. В. Лобанова.....	31
ИНФОРМАЦИЯ НЕФЕЛОМЕТРИЧЕСКОГО И ГЕМОЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОМПЛЕМЕНТА Т. П. Володащик, Т. Р. Романовская .....	34
ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ШТАММА-ПРОДУЦЕНТА КСАНТОЗИНФОСФОРИЛАЗЫ <i>ESCHERICHIA COLI</i> А. В. Дайнеко, А. Б. Булатовский, А. И. Зинченко.....	38
СИНТЕЗ ТРИГИДРОКСИ-ИНОЗИНА Е. С. Деусова, М. А. Ханчевский, Е. И. Квасюк .....	41
АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОЗОВ У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА Г. ЖОДИНО Ю. В. Жильцова, Е. А. Синевич, Н. С. Смольник, Л. А. Майор, П. Р. Хилимончик .....	45
АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И Г. МИНСК. ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ РАКА ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ Л. А. Жук, Ю. В. Малиновская.....	48
АНТИОКСИДАНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ ЭМОКСИПИНА В КАЧЕСТВЕ АДЪЮВАНТА ПРОТИВООПУХОЛЕВЫХ ПРЕПАРАТОВ Т. А. Жуковец, М. А. Ханчевский, И. В. Коктыш, Е. И. Квасюк, А. Г. Сыса .....	52

МИКРОРНК LET-7E И MIR-140 КАК БИОМАРКЕРЫ ДЕФОРМИРУЮЩИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ СУСТАВОВ	
П. Т. Журко, И. В. Коктыш, Р. М. Смолякова.....	55
АНАЛИЗ ЧАСТОТЫ ВСТРЕЧАЕМОСТИ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ К СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ПАТОЛОГИИ У СПОРТСМЕНОВ	
А. С. Люльченко .....	58
ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА ПЛОДОВЫХ ТЕЛ <i>GANODERMA LUCIDUM</i> НА ПОКАЗАТЕЛИ ВИДОВОГО ИММУНИТЕТА В МОДЕЛИ ИММУННОГО ОТВЕТА У МЫШЕЙ ЛИНИИ BALB/C	
А. К. Лямцева, Т. Р. Романовская.....	62
ПРОТОКОЛ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВЫ И ШЕИ	
А. И. Макарова, М. Н. Петкевич .....	66
ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ, СФОРМИРОВАННОЙ НА ОСНОВЕ НАНОПЛЕНОК СЕРЕБРА РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ, ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИММУНОХИМИЧЕСКИХ ТЕСТ-СИСТЕМ	
Я. И. Мельникова, А. А. Щербович, И. В. Коктыш, О. С. Кулакович, А. А. Романенко, С. А. Маскевич.....	69
ПОЛУЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА КОПРОПОРФИРИНОВЫХ КОНЪЮГАТОВ МОНОКЛОНАЛЬНЫХ АНТИТЕЛ	
Я. И. Мельникова, Я. В. Лайков .....	73
МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА P2Y12 РЕЦЕПТОРА ЧЕЛОВЕКА С МОЛЕКУЛОЙ R-138727	
А. А. Морозова, А. В. Бакунович .....	76
THE COMPARISON OF INTRAEPITHELIAL LYMPHOCYTES IN SMALL AND LARGE INTESTINE OF CROHN'S DISEASE PATIENTS	
A. Mohammad, A. Starastin, D. Nizheharodava.....	79
СОДЕРЖАНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В КРОВИ И ВОЛОСАХ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ИХ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ У ПАЦИЕНТОВ С ИШЕМИЧЕСКИМ ИНСУЛЬТОМ	
И. Д. Пашковская, Н. И. Нечипуренко, А. П. Зажогин, Т. А. Прокопенко .....	83
ДИСБАЛАНС МИКРОЭЛЕМЕНТОВ СЕЛЕНА И ЙОДА ПРИ ПЕРВИЧНЫХ ПРИЗНАКАХ АУТОИММУННОГО ТИРОИДИТА У ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА ИЗ ВИТЕБСКОЙ И МИНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ	
С. В. Петренко, А. Н. Батян, Б. Ю. Леушев, Ю. В. Жильцова, Т. С. Опанасенко, М. С. Петренко.....	86
ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ПРОСТЫМ ЗОБОМ И АУТОИММУННЫМ ТИРОИДИТОМ И УРОВНЕМ ЙОДНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА БЕЛАРУСИ ЗА 2007-2018 ГОДЫ	
С. В. Петренко, Т. В. Мохорт, Б. Ю. Леушев, Н. Д. Коломиец, Е. Г. Мохорт, Е. В. Федоренко, С. А. Лаптенюк .....	90
ОЦЕНКА ГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА С УСТАНОВЛЕННЫМ МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИМ ПРОФИЛЕМ ПАЦИЕНТОК, СТРАДАЮЩИХ РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ, РАЗЛИЧНОГО РЕПРОДУКТИВНОГО ПЕРИОДА	
А. И. Прокопук, К. В. Юрченкова, Е. М. Шпадарук, Р. М. Смолякова.....	93
БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПЛОДОВЫХ ТЕЛ ЛЕКАРСТВЕННЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ	
А. С. Родькин, Т. С. Ерчинская, Н. В. Иконникова .....	96

ПРИМЕНЕНИЕ IGRT В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ	
А. В. Рыбина, А. В. Гайда .....	100
СУБПОПУЛЯЦИОННЫЙ СОСТАВ ГТТ-ЛИМФОЦИТОВ У ПАЦИЕНТОВ С IGA-НЕФРОПАТИЕЙ	
А. В. Свирская, К. С. Комиссаров, Е. И. Минченко, Н. А. Манаева, Д. Б. Нижегородова .....	103
МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЖНОГО ПОКРОВА ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ СЕМЕЙСТВ СОБАЧИХ ( <i>CANIDAE</i> ) И КОШАЧЬИХ ( <i>FELIDAE</i> )ЦЕНТРАЛЬНОЙ БЕЛАРУСИ	
А. Н. Семак, Е. Г. Бусько, В. А. Стельмах.....	107
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МУЛЬТИПОТЕНТНЫХ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТОК ДОНОРОВ РАЗНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП	
Ю. В. Сердюков, А. Ю. Адамович, В. К. Шадрина, Д. Б. Нижегородова, .....	111
ВЛИЯНИЕ ЦАМФ И НЕЛАРАБИНА НА ФИБРИЛЛООБРАЗОВАНИЕ МОЛЕКУЛЫ ИНСУЛИНА	
О. А. Соколович, Н. В. Богданова, В. В. Саган, К. Я. Буланова .....	115
РАСПРОСТРАНЁННОСТЬ БОЛЕЗНЕЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ В РАЗНЫХ ПОЛОВОЗРАСТНЫХ ГРУППАХ	
В. Д. Стешин, М. В. Синелёва .....	118
АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА НАТИВНОГО, ОБЕЗЖИРЕННОГО, ФЕРМЕНТИРОВАННОГО И ГИДРОЛИЗОВАННОГО КОРОВЬЕГО МОЛОЗИВА	
Е. И. Тарун, П. Ю. Красовская, Е. А. Стаселович, Т. Н. Головач, Р. В. Романович .....	121
АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСОВ ГИДРОЛИЗАТОВ СЫВОРОТКИ МОЛОКА И МОЛОЗИВА С ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ	
Е. И. Тарун, Е. А. Стаселович, П. Ю. Красовская, Т. Н. Головач, Р. В. Романович .....	125
АНАЛИЗ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ТРУТОВЫХ ГРИБОВ, СОБРАННЫХ В РОССИИ, БЕЛАРУСИИ И КИТАЕ	
Е. И. Тарун, А. А. Туболева, Я. В. Павловская, В. С. Гомонова, Х. Яньлинь, В. П. Курченко .....	128
СИНТЕЗ 8-БРОМАДЕНОЗИНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ PH	
М. А. Ханчевский, В. Н. Лесик, Е. И. Квасюк .....	132
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОЛУЧЕНИЮ ПЕРВИЧНЫХ КУЛЬТУР АЛЬВЕОЛЯРНЫХ ЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ КЛЕТОК	
А. А. Царик, М. А. Кохнюк, П. В. Альховик, М. Ю. Юркевич .....	135
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННОГО ДЕТЕКТОРА ПОРТАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИИ	
А. А. Шиш, Т. С. Чикова .....	138
КОНТРОЛЬ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ОТДЕЛЕ- НИИ РАДИОИЗОТОПНОЙ ДИАГНОСТИКИ	
Д. В. Шпак, Т. С. Чикова.....	142
АНАЛИЗ АССОЦИИ ВАРИАНТОВ ГЕНА <i>VDR</i> С УРОВНЕМ ВИТАМИНА D В СЫВОРОТКЕ ПА- ЦИЕНТОВ С КОСТНО-МЫШЕЧНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ	
А. В. Яршевич, П. М. Морозик.....	146

## РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

### ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС КАК ВАЖНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Б. В. Адамович ..... 153

### СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ И МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

О. М. Бояркин, А.В. Капская ..... 155

### АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ ОАО «БОРИСОВСКИЙ МЯСОКОМБИНАТ № 1»

Ю. А. Быков, Е. С. Лён ..... 158

### ПОДХОДЫ К ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ НОРМИРОВАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

С. Е. Головатый, П. Р. Хилимончик, С. В. Савченко, А. Н. Кузьмич, В. Д. Дузинчук ..... 162

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ УЗБЕКИСТАНА

Е. А. Данилова, Б. И. Курбанов, Я. А. Ахмедов, Н. Х. Хушвактов, Х. Ш. Фарманов ..... 166

### АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Е. В. Зайцева, И. А. Ровенская ..... 169

### ВОДОПОТРЕБЛЯЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ – НАПРАВЛЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

П. Н. Захарко ..... 173

### ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ «ГОМЕЛЬБОИ» ОАО «ЦБК-КОНСАЛТ»

К. С. Кисель, Е. С. Лён ..... 177

### АНАЛИЗ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОБЪЕКТАМИ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

Т. А. Королько, И. А. Ровенская ..... 181

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ДЕСТРУКЦИИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ПЛОДООВОЩНОЙ КОНСЕРВНОЙ ОТРАСЛИ

Г. В. Крусир, О. А. Сагдеева, А. С. Гнездовский, А. Л. Цыкало ..... 184

### НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ТАБАЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. А. Кухарева, В. М. Мисюченко ..... 188

### CEREAL PRODUCT WASTES AND THEIR UTILIZATION IN VARIOUS INDUSTRIAL AREAS

V. O. Lemiasheuski, M. M. Özcan ..... 191

### МЕТОДИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА КАЧЕСТВА И ОТБОРА ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СИСТЕМОЙ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

П. Н. Павленко, Е. А. Мельник, А. М. Людчик ..... 195

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

А. И. Позднякова, М. Г. Герменчук ..... 198

РАЗРАБОТКА АКТА ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	
Е. А. Ратынская, В. М. Мисюченко .....	202
ПЛАЗМОАКТИВИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ И ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ	
Н. А. Савастенко, А. А. Щербович, А. В. Медведский, С. А. Маскевич.....	206
АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОАО «БМЗ»	
А. Н. Савицкий, К. М. Мукина .....	209
ЗАВИСИМОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФАТОВ В ВОДЕ ОТ ПОДВИЖНЫХ И ВАЛОВЫХ ФОРМ ФОСФОРА В ПОЧВЕ НА АГРАРНОЙ ТЕРРИТОРИИ ТЕРНОПОЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ (УКРАИНА)	
Е. И. Скиба, Л. Я. Федонюк, О. М. Ярема, К. Лесняк-Мочук .....	213
МЕНЕДЖМЕНТ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	
Е. А. Улащик, И. А. Ровенская .....	217
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КАЧЕСТВА ВОДОЕМОВ В УСЛОВИЯХ ЭВТРОФИКАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ СЕРЕТ, УКРАИНА)	
Л. Я. Федонюк, Е. И. Скиба, О. М. Ярема, Е. Мочук .....	220
OPTIMIZATION OF AIR POLLUTION IN BEIJING FROM MOBILE SOURCES	
Zhang E, Gao Shuai, Zhao Xiaofeng, Xu Shiyi, Hu Xinyue, Fang Jun, Luo Lantianzi, Dong Wenwen, Pang Yuting, U. Kapitsa .....	224
МОНИТОРИНГ ГЕЛЬМИНТОФАУНЫ МЕЛКИХ ГРЫЗУНОВ, НАСЕЛЯЮЩИХ БЕРЕГА МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ В СМЕШАННЫХ ЛЕСАХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ	
В. В. Шималов .....	226
АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ КОНДИТЕРСКОЙ ОТРАСЛИ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «КРАСНЫЙ ПИЩЕВИК»	
Н. С. Шугаева, Е. С. Лён .....	230
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ)	
Г. Н. Ярыгина, И. И. Шанин .....	233
<b>ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ: К 35-ЛЕТИЮ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС</b>	
ЧЕРНОБЫЛЬСКИЕ ПРОГРАММЫ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА: ОСНОВНЫЕ ИТОГИ	
Н. Я. Борисевич.....	241
ИСТОЧНИКИ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОФАРМАПРЕПАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОТРОНА CYCLONE 18/9HC	
Д. И. Бринкевич, С. Д. Бринкевич, А. И. Киевицкая, А. Н. Кийко .....	245
БЕТА-ИЗЛУЧАЮЩИЕ РАДИОНУКЛИДЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В ВОДНОЙ МИШЕНИ КОММЕРЧЕСКОГО ЦИКЛОТРОНА	
Д. И. Бринкевич, С. Д. Бринкевич, А. И. Киевицкая, А. Н. Кийко .....	248

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ ВЕРИФИКАЦИИ ПЛАНОВ ОБЛУЧЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ	
А. И. Бринкевич, М. Н. Петкевич, Е. В. Титович .....	252
СИСТЕМА ОТСЛЕЖИВАНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИНЦИДЕНТОВ В РАБОТЕ ОТДЕЛЕНИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ	
А. В. Гайда, Е. В. Гончарова, А. В. Рыбина, В. П. Зорин.....	256
РАДОН В ВОЗДУХЕ ЗДАНИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ	
И. В. Жук, Ж. А. Лукашевич, Т. В. Лисянович, Л. Л. Василевский, Д. А. Хакимов, А. В. Сосновский.....	259
ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА ПРИ УПОТРЕБЛЕНИИ В ПИЩУ МЯСА ДИКИХ ЖИВОТНЫХ, ДОБЫТЫХ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС	
В. Н. Калинин, В. Н. Забродский.....	263
ОБЗОР МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ, ПРИМЕНЯЕМОЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	
Е. В. Кемеш, М. Н. Петкевич, Е. В. Преображенская .....	266
ОБЗОР МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СТАЦИОНАРНОЙ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПОМЕЩЕНИЯ С ЛИНЕЙНЫМ УСКОРИТЕЛЕМ, ОСНОВАННОЙ НА NCRP REPORT № 151	
Е. В. Кемеш, Е. В. Преображенская, М. Н. Петкевич .....	269
ОСОБЕННОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПЛОЩАДКЕ «САРЫУЗЕНЬ»	
П. Е. Кривицкий, А. О. Айдарханов, Н. В. Ларионова, А. А. Чернов .....	273
ТРИТИЙ В ЯДЕРНОМ ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ	
К. В. Мазаник, А. Н. Скибинская, А. И. Киевицкая.....	276
ПОИСК И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ ОТХОДОВ И ОТВАЛОВ ПОСЁЛКА АДРАСМАН РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН	
У. М. Мирсаидов, Б.Б.Баротов, К. О. Бобоев, Х. М. Назаров.....	279
РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ-137 В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ ТАДЖИКИСТАНА	
У. М. Мирсаидов, С. В. Муминов, Б. Б. Баротов, Ш. Р. Муродов .....	283
МЕЖДУНАРОДНЫЕ УСИЛИЯ ПО РЕАБИЛИТАЦИИ ОБЪЕКТОВ УРАНОВОГО НАСЛЕДИЯ ТАДЖИКИСТАНА	
М. М. Хакдод, З. В. Кобулиев, А. С. Хакдодов .....	286
<b>ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ, ОТХОДЫ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ</b>	
СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИМИТАЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	
А. А. Бутько, И. А. Кирюхин, В. А. Пашинский, О. И. Родькин .....	293
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ	
В. И. Красовский, Е. П. Черевань.....	296
АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВИЭ И УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	
Л. А. Липницкий, И. Д. Фомин, А. И. Ходасевич, В. А. Ковалев .....	300

ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ Л. А. Липницкий, П. К. Шалькевич, М. А. Трейвас, Е. П. Черевань .....	302
СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПИВОВАРЕННОГО СОЛОДА В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук .....	305
МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ ЗА- ГРУЗКИ В. А. Пашинский, П. С. Величко .....	308
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ СЕМЯН САЛАТОВ К ПОСЕВУ В. А. Пашинский, В. В. Сивуха .....	311
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ Г. И. Сидоренко, С. В. Артемчук .....	314
КЕМСКАЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ КАК РАЦИОНАЛЬНЫЙ ПУТЬ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КАРЕЛИИ Г. И. Сидоренко, В. Е. Стругов.....	318
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ Е. А. Уткина, Г. И. Сидоренко.....	321
ГЛУБОКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНЫХ НА ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЕ А. Р. Хамицевич, А. А. Бутько, Л. А. Липницкий .....	324
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕРНЫХ САПРОПЕЛЕЙ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ С ЕСТЕСТВЕННОЙ АЭРАЦИЕЙ Л. М. Шаповалова, Е. Ю. Киршина, В. Б. Нурматова, С.А. Мирзалимова .....	327
 <b>ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ</b>	
ПРОБЛЕМА ЭКСПАНСИИ ВРАНОВЫХ ПТИЦ В ГОРОДАХ И ПУТИ РЕШЕНИЯ М. А. Богачёва, А. В. Хандогий.....	335
РАЗНООБРАЗИЕ ЖИЗНЕННЫХ ФОРМ <i>JUNIPERUS COMMUNIS</i> L. КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ Р. С. Бондарук, И. Э. Бученков, Е. Р. Грицкевич.....	338
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА Л. В. Дергачева.....	342
НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ Е. В. Котлярова .....	346
ВЛИЯНИЕ ДИОКСИДА СЕРЫ НА ПРИЗЕМНЫЙ ОЗОН В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ А. М. Людчик, Е. А. Мельник, П. Н. Павленко .....	348
ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ М. М. Мадани .....	352

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОПУЛЯЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИНАНТРОПНОГО СИЗОГО ГОЛУБЯ (COLUMBA LIVIA) В ОБЛАСТНЫХ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЦЕНТРАХ БЕЛАРУСИ И. М. Хандогий .....	356
ЭКОЛОГИЯ ГРАЧА ( <i>CORVUS FRUGILEGUS</i> ) В ГОРОДЕ МИНСКЕ И ОБЛАСТНЫХ ЦЕНТРАХ БЕЛАРУСИ А. В. Хандогий, М. В. Гречихин .....	359
ГАЛКА ( <i>CORVUS MONEDULA</i> ) – САМЫЙ МАССОВЫЙ ВИД СЕМЕЙСТВА ВРАНОВЫХ ( <i>CORVIDAE</i> ) В ГОРОДЕ МИНСКЕ А. В. Хандогий, К. О. Зоричев.....	362
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПЕТРИКОВСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА А. А. Холево, В. М. Мисюченко.....	364
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ХВОИ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> (L.) В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА МИНСКА А. Н. Хох, В. Б. Звягинцев .....	368
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СПОСОБЫ СОХРАНЕНИЯ ГЕНОФОНДА ПОПУЛЯЦИЙ РЕДКИХ ВИДОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ А. Г. Чернецкая, Т. В. Юнкевич, Т. В. Каленчук.....	371
ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КОНЦЕНТАРЦИЙ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ PM 2,5 И PM 10 В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В РАЙОНЕ УЛ.ЗАХАРОВА Г. МИНСКА ПО ДАННЫМ ДАТЧИКА AIRMQ Т. В. Шлендер, Г. Д. Бурченко, Е. А. Прокопчик, Е. А. Чумаков .....	375
ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ Г.МИНСКА В ЛЕТНЕЕ И ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ ГОДА ПО ДАННЫМ СПУТНИКА LANDSAT-8 Т. В. Шлендер, Н. В. Жуковская, Г. Д. Бурченко, Е. А. Прокопчик, Е. А. Чумаков.....	379
АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ НАКОПЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ТЕРНОПОЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ (УКРАИНА) О. М. Ярема, Л. Я. Федонюк, Е. И. Скиба, А. Мочук .....	382
 <b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>	
MODERN ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES FOR TRAINING FOREIGN CITIZENS В. А. Tonkonogov, V. V. Zhuravkov, A. G. Sisa.....	389
ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕТА ХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА ПРЕДПРИЯТИИ КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ФЛУДАРАБИН ФОСФАТА С ЭМОКСИПИНОВОЙ СОЛЬЮ (F-PE) М. А. Атрошко, С. Альбасри .....	398
БИОПРОТЕЗИРОВАНИЕ, ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ Д. Д. Вышидкевич, Е. А. Васюкевич, Л. А. Липницкий .....	401
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕСУРСА «СИСТЕМА ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. ОРШИ И ОРШАНСКОГО РАЙОНА» В. В. Жураков, Б. А. Тонконогов.....	404

ОБРАБОТКА И ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ БРОНИРОВАНИЯ М. А. Ибрахим, М. М. Ибрахим .....	408
РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ДИПЛОМНЫХ, АСПИРАНТСКИХ И МАГИСТЕРСКИХ РАБОТАХ А. Л. Карпей, Д. А. Кормужанин .....	411
ОБЗОР КОМПАРТМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ И. В. Лефанова, Т. В. Смирнова .....	415
МЕТОДОЛОГИЯ И ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ Т. В. Смирнова, Н. Б. Борковский .....	418
ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ А. В. Соколова.....	422
ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ДЕТЕКТОРА ФИЗИЧЕСКОГО ДИСТАНЦИРОВАНИЯ В ПЕРИОД ЭПИДЕМИИ С. В. Ткаченко, Т. В. Смирнова .....	425
СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И ВЛАЖНОСТИ В ЗАМКНУТОЙ СРЕДЕ А. В. Чернявский, И. В. Лефанова .....	428

Научное издание

**«САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2021 ГОДА:  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА**

**SAKHAROV READINGS 2021:  
ENVIRONMENTAL PROBLEMS  
OF THE XXI CENTURY**

**Материалы 21-й международной научной конференции**

20–21 мая 2021 г.  
г. Минск, Республика Беларусь

В двух частях  
Часть 2

В авторской редакции

Корректор И.Б.

Компьютерная верстка М. Ю. Мошкова

Дизайн обложки: иллюстрация «Астролог» из второго тома трактата Роберта Флудда  
«О космическом двуединстве» (Франкфурт, 1619 год)

Подписано в печать

Формат 60×84 1/8.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 10,125. Тираж 200 экз. Заказ **2553**.

**Р**еспубликанское унитарное предприятие

"Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь".

Свидетельства о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий №1/161 от 27.01.2014, №2/41 от 29.01.2014.

ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск●