



БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ЖУРНАЛ
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЭКОЛОГИЯ

JOURNAL
OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

ECOLOGY

Издается с сентября 2017 г.
(до 2017 г. – «Экологический вестник»)
Выходит 1 раз в квартал

3

2020

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Главный редактор** **МАСКЕВИЧ С. А.** – доктор физико-математических наук, профессор; директор Международного государственного экологического института имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.
E-mail: direktor@iseu.by
- Заместитель главного редактора** **ГЕРМЕНЧУК М. Г.** – кандидат технических наук, доцент; заместитель директора по научной работе Международного государственного экологического института имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.
E-mail: margermen@gmail.com
- Ответственный секретарь** **ЛОЗИНСКАЯ О. В.** – старший преподаватель кафедры общей биологии и генетики Международного государственного экологического института имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.
E-mail: aroimia@rambler.ru
- Батян А. Н.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Голубев А. П.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Головатый С. Е.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Гричик В. В.** Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Дардынская И. В.** Центр всемирного здоровья «Великие озера», Чикаго, США.
- Зафранская М. М.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Кильчевский А. В.** Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Коровин Ю. А.** Обнинский институт атомной энергетики – Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Обнинск, Россия.
- Ленгфельдер Э.** Радиологический институт здоровья и окружающей среды имени Отто Хуга, Мюнхен, Германия.
- Либератос Г.** Афинский технический университет, Афины, Греция.
- Логинов В. Ф.** Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Медведев С. В.** ГНУ «Объединенный институт проблем информатики» Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Степанов С. А.** Международный независимый эколого-политологический университет, Москва, Россия.
- Стожаров А. Н.** Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь.
- Тарутин И. Г.** ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова», Минск, Беларусь.

EDITORIAL BOARD

- Editor-in-chief** **MASKEVICH S. A.**, doctor of science (physics and mathematics), professor; director of the International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: direktor@iseu.by
- Deputy editor-in-chief** **GERMENCHUK M. G.**, PhD (engineering), docent; deputy director for research of the International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: margermen@gmail.com
- Executive secretary** **LOZINSKAYA O. V.**, senior lecturer at the department of general biology and genetics of the International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University.
E-mail: aromia@rambler.ru
-
- Batyan A. N.** International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Golubev A. P.** International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Golovaty S. E.** International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Grichik V. V.** Belarusian State University, Minsk, Belarus
- Dardynskaya I. V.** Great Lakes Center for Occupational and Environmental Safety and Health, Chicago, USA.
- Zafranskaya M. M.** International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Kilchevsky A. V.** National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Korovin Y. A.** Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia.
- Lengfelder E.** Otto Hug Radiological Institute for Health and Environment, Munich, Germany.
- Lyberatos G.** Athens Technical University, Athens, Greece.
- Loginov V. F.** National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Medvedev S. V.** The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Stepanov S. A.** International Independent Ecological and Political University, Moscow, Russia.
- Stozharov A. N.** Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus.
- Tarutin I. G.** N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Belarus.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

УДК: 556.182

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ И ОХРАНЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

С. А. ДУБЕНОК¹⁾, А. Ю. КУЛАКОВ¹⁾

¹⁾Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
ул. Славинского, 1/2, 220086, г. Минск, Беларусь

В настоящее время Республика Беларусь активно ведет работы по реализации целей устойчивого развития, принятых Генеральной Ассамблеей ООН в 2015 г. Представлены результаты исследования по разработке национальных методик формирования показателей по задачам 6.3–6.5 ЦУР 6 «Обеспечить наличие и рациональное использование водных ресурсов и санитарии для всех».

Ключевые слова: цели устойчивого развития; водные ресурсы; водопользование; сточные воды; государственный водный кадастр.

Образец цитирования:

Дубенок СА, Кулаков АЮ. Методические подходы к формированию показателей по использованию и охране водных ресурсов для реализации целей устойчивого развития в Республике Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2020;3:4–15.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-4-15>

For citation:

Dubianok SA, Kulakou AJu. Methodical approaches to the development of indicators for the use and protection of water resources for the implementation of sustainable development goals in the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2020;3:4–15. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-4-15>

Авторы:

Снежана Анатольевна Дубенок – заместитель директора по научной работе.
Андрей Юрьевич Кулаков – младший научный сотрудник.

Authors:

Sniazhana A. Dubianok, deputy director for science.
dsnega@list.ru
Andrei Ju. Kulakou, junior researcher.
kulakov1@tut.by

METHODICAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF INDICATORS FOR THE USE AND PROTECTION OF WATER RESOURCES FOR THE IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

S. A. DUBIANOK^a, A. Ju. KULAKOU^a

^a*Central Research Institute for Complex Use of Water Resources,
1/2 Slavinskaya Street, Minsk 220086, Belarus
Corresponding author: S. A. Dubianok (dsnega@list.ru)*

Currently, the Republic of Belarus is actively engaged in the implementation of the Sustainable Development Goals adopted by the UN General Assembly in 2015. The article presents the results of a study on the development of national methods for generating indicators for targets 6.3–6.5 of SDG 6 «Ensuring availability and sustainable management of water and sanitation for all».

Keywords: sustainable development goals; water resources; water use; wastewater; state water cadaster.

Введение

В Республике Беларусь в настоящее время активно ведутся работы по реализации целей устойчивого развития (ЦУР), принятых Генеральной Ассамблеей ООН в резолюции A/RES/70/1 от 25 сентября 2015 г. о новой повестке дня в области устойчивого развития на период 2016–2030 гг. «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» (Повестка-2030) [1].

Цели развития тысячелетия (ЦРТ) приняты, затем провозглашены в Декларации тысячелетия и согласованы на Саммите в г. Нью-Йорке (2000 г.). В отношении водоснабжения и санитарии соответствующие задачи в рамках ЦРТ предусматривали сокращение наполовину к 2015 г. доли населения, не имеющего доступа к безопасной питьевой воде. В Декларации тысячелетия к государствам также был обращен призыв прекратить экологически неустойчивую эксплуатацию водных ресурсов.

Повесткой-2030 определены 17 ЦУР и 169 соответствующих задач (от 2 до 20 в рамках каждой ЦУР), подтверждены обязательства стран в отношении глобального партнерства в целях развития и определены базовые принципы отчетности по их осуществлению.

Принятие Повестки-2030 потребовало от государств пересмотра и конкретизации национальных планов и механизмов достижения устойчивого развития общества с учетом ЦУР. При этом одной из первых задач является создание национальной системы мониторинга прогресса в их достижении и формирование национальной отчетности.

Из 17 ЦУР восемь имеют экологический аспект, четыре непосредственно относятся к задачам охраны окружающей среды и рационального природопользования (ЦУР 6, 13, 14 и 15), при этом две из них – ЦУР 6 «Обеспечение наличия и рациональное использование водных ресурсов и санитарии для всех» и ЦУР 14 «Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития», – прямо соответствуют задачам устойчивого водопользования и охраны водных ресурсов.

Практически все экологические ЦУР и, соответственно, большинство задач в рамках их реализации закреплены за Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (Минприроды) целиком или совместно с иными республиканскими органами госуправления.

Как указывалось выше, непосредственно водным проблемам посвящены ЦУР 6 и ЦУР 14, причем исходя из физико-географического положения Республики Беларусь (отсутствие выхода к морю) ЦУР 14 по большинству сформулированных в ней задач признана неактуальной для страны. Соответственно, основным направлением в области использования и охраны вод является имплементация ЦУР 6, формулировка национальных задач и индикаторов для оценки прогресса достижения поставленных задач.

Материалы и методы исследования

Поскольку ЦУР являются глобальным планом действий, то для сопоставимой оценки прогресса достижения их отдельными странами, в рамках каждой из задач ЦУР должна существовать система оценочных показателей (индикаторов).

Все показатели ЦУР, в соответствии с международными подходами, распределены по 3 уровням:

– уровень 1: показатель концептуально понятен, существует международная методология и стандарты, и данные регулярно публикуются странами;

– уровень 2: показатель концептуально понятен, существует общепринятая на международном уровне методология и стандарты, но данные не регулярно публикуются странами;

– уровень 3: для показателя пока нет доступных методологий или стандартов, установленных на международном уровне, но они разрабатываются или тестируются.

Для мониторинга ЦУР и формирования национальной отчетности странам рекомендуется либо использовать показатели Глобального перечня, либо на их основе разрабатывать национальные показатели с учетом специфики страны (прокси-показатели).

При этом на международном уровне регулярно проводятся консультации со странами для определения, какие дополнительные показатели могут быть включены в действующую систему мониторинга, а что требует дополнительной проработки. Основными критериями для включения дополнительных показателей в глобальный перечень показателей ЦУР являются наличие данных, их репрезентативность и прозрачная методология расчета национального показателя.

На международном уровне для ЦУР 6 определено 8 задач и 11 соответствующих показателей для оценки прогресса достижения каждой задачи, при этом все 11 показателей признаны актуальными для Республики Беларусь и должны использоваться для мониторинга на национальном уровне.

Республиканским унитарным предприятием «ЦНИИКИВР» в 2018–2019 гг. в рамках реализации проекта международной технической помощи «Водная инициатива Европейского Союза плюс для стран Восточного партнерства» проведены работы по адаптации международных методик и разработке национальных методик по формированию отдельных показателей задач ЦУР 6.

Исследование проводилось в несколько этапов:

1. Анализ применимости показателей из Глобального перечня показателей для задач 6.3–6.5 ЦУР 6, устанавливаемых в других странах (СНГ, соседние страны ЕС и ВЕКЦА), для возможности последующего сопоставления полученных результатов по отдельным используемым показателям на уровне стран.

2. Оценка возможности применения на национальном уровне Глобального перечня показателей задач 6.3–6.5 ЦУР 6 и необходимость внедрения национальных показателей (прокси-показателей) в рамках отдельных задач, включая анализ международного опыта утверждения (установления) и адаптации международных или разработки и утверждения национальных методик формирования (расчета) показателей задач 6.3–6.5 ЦУР 6 (включая прокси-показатели) с позиции наличия и оптимальности национальных статистических данных. Определение основных заинтересованных сторон внутри страны, участвующих в формировании рассматриваемых показателей.

3. Разработка проекта методик по формированию показателей (прокси показателей) задач 6.3–6.5 ЦУР 6, проведение расчетов показателей по разработанным методикам и построение динамических рядов. Обсуждение и согласование проекта методик со всеми заинтересованными сторонами, определенных на этапе 2. Утверждение методик по формированию (расчету) показателей (прокси показателей) задач 6.3–6.5 ЦУР 6.

4. Интеграция в информационную систему государственного водного кадастра (ГВК) для автоматизации их расчета по различным уровням агрегации (территориально-административный, бассейновый, по видам экономической деятельности и т. д.) и организация информационного обмена данными между заинтересованными.

Анализ распределения ответственности между органами госуправления в Беларуси в части формирования показателей задач ЦУР 6 показал, что обязанность за формирование большинства показателей ЦУР 6 возлагается на Минприроды и на Белстат (табл. 1).

Международные методики формирования показателей для задач 6.3–6.5 ЦУР 6 из Глобального перечня показателей позволили оценить возможность применения на национальном уровне с некоторыми уточнениями показателей 6.3.1, 6.4.1, 6.4.2, 6.5.1 и 6.5.2; для формирования показателя 6.3.2 в силу национальных особенностей разработана методика его оценки на уровне прокси-показателя.

Более подробно рассмотрены методические подходы к формированию показателей на национальном уровне, определен и обоснован уровень агрегации по каждому показателю, а для пилотного тестирования методик проведен расчет значений показателей и построение динамических рядов.

Показатель 6.3.1 «Доля безопасно очищаемых сточных вод» (ДБОСВ) является одним из основных, указанных в ЦУР 6, позволяющих оценить национальные тенденции по снижению поступления загрязнений в водные объекты в составе сточных вод и эффективность работы очистных сооружений сточных вод.

В соответствии с Водным кодексом Республики Беларусь [2] сброс сточных вод в окружающую среду с применением гидротехнических сооружений и устройств, в том числе через систему дождевой канализации, а также сброс сточных вод в окружающую среду после очистки на сооружениях биологической очистки в естественных условиях (на полях фильтрации, полях подземной фильтрации,

в фильтрующих траншеях, песчано-гравийных фильтрах) относится к *специальному водопользованию* и осуществляется на основании разрешений на специальное водопользование или комплексных природоохранных разрешений (КПП), выдаваемых территориальными органами Минприроды.

Таблица 1

Распределение ответственности при формировании показателей в рамках указанных задач ЦУР 6

Table 1

Distribution of responsibilities in the formation of indicators within the specified SDG 6 targets

Показатели, определенные на национальном уровне для оценки прогресса достижения задач ЦУР 6	Ответственный за формирование показателя
<i>ЗАДАЧА 6.1.</i> К 2030 г. обеспечить всеобщий и равноправный доступ к безопасной и недорогой питьевой воде для всех	
6.1.1 Доля населения, пользующегося услугами водоснабжения, организованного с соблюдением требований безопасности	Белстат
<i>ЗАДАЧА 6.2.</i> К 2030 г. обеспечить всеобщий и равноправный доступ к надлежащим санитарно-гигиеническим средствам и положить конец открытой дефекации, уделяя особое внимание потребностям женщин и девочек и лиц, находящихся в уязвимом положении	
6.2.1.1 Доля населения, пользующегося услугами санитарии, организованной с соблюдением требований безопасности	Белстат
<i>ЗАДАЧА 6.3.</i> К 2030 г. повысить качество воды посредством уменьшения загрязнения, ликвидации сброса отходов и сведения к минимуму сбросов опасных химических веществ и материалов, сокращения вдвое доли неочищенных сточных вод и значительного увеличения масштабов рециркуляции и безопасного повторного использования сточных вод во всем мире	
6.3.1 Доля безопасно очищаемых сточных вод	Минприроды, Белстат
6.3.2.1 Доля поверхностных водных объектов, которым присвоен «хороший» и выше экологический (гидробиологический) статус	Минприроды
<i>ЗАДАЧА 6.4.</i> К 2030 г. существенно повысить эффективность водопользования во всех секторах и обеспечить устойчивый забор и подачу пресной воды для решения проблемы нехватки воды и значительного сокращения числа людей, страдающих от нехватки воды	
6.4.1 Динамика изменения эффективности водопользования	Минприроды, Белстат
6.4.2 Интенсивность использования запасов пресной воды (водный стресс)	Минприроды, Белстат
<i>ЗАДАЧА 6.5.</i> К 2030 г. обеспечить комплексное управление водными ресурсами на всех уровнях, в том числе и при необходимости, на основе трансграничного сотрудничества	
6.5.1 Степень внедрения комплексного управления водными ресурсами (от 0 до 100)	Минприроды
6.5.2 Доля площади трансграничных водных бассейнов, в отношении которых действует механизм трансграничного водного сотрудничества	Минприроды
<i>ЗАДАЧА 6.6.</i> К 2020 г. обеспечить охрану и восстановление связанных с водой экосистем, в том числе гор, лесов, водно-болотных угодий, рек, водоносных слоев и озер	
6.6.1.1 Изменение площади водных объектов	Госкомимущество, Минприроды
<i>ЗАДАЧА 6a.</i> К 2030 г. расширить международное сотрудничество и поддержку в деле укрепления потенциала развивающихся стран в осуществлении деятельности и программ в области водоснабжения и санитарии, включая сбор поверхностного стока, опреснение воды, повышение эффективности водопользования, очистку сточных вод и применение технологий рециркуляции и повторного использования	
6a.1 Объем официальной помощи в целях развития, выделенной на водоснабжение и санитарии в рамках координируемой государственной программы расходов	Минжилкомхоз, Минздрав, Минприроды, Минфин, Минэкономики
<i>ЗАДАЧА 6b.</i> Поддерживать и укреплять участие местных общин в улучшении водного хозяйства и санитарии	
6b.1 Доля местных административных единиц, в которых действуют правила и процедуры участия граждан в управлении водными ресурсами и санитарией	Международные организации (ВОЗ; ЮНЕП; ОЭСР)

При этом водопользователь обязан осуществлять учет сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду, а также ежегодно заполнять статистическую отчетность по форме 1-вода (Минприроды), отражая объем сброса сточных вод по каждому выпуску сточных вод с разбивкой по категориям:

- без предварительной очистки (качество сточной воды позволяет сбрасывать ее в поверхностный водный объект без предварительной очистки);
- недостаточно очищенной (сброс сточных вод с нарушением действующего законодательства, в том числе в результате аварийного сброса, либо содержание загрязняющих веществ в сточной воде превышает нормативы допустимого сброса химических и иных веществ в составе сточных вод, установленные в разрешениях на специальное водопользование или КПП);
- нормативно очищенной (сброс сточных вод, содержание загрязняющих веществ в которых не превышает нормативы допустимого сброса химических и иных веществ в составе сточной воды, установленные в разрешениях на специальное водопользование или КПП).

Статистическая отчетность по форме 1-вода (Минприроды) является основной исходной информационной базой для расчета показателя 6.3.1.

Показатель 6.3.1 определяется как отношение суммы нормативно очищенных сточных вод и сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты без предварительной очистки ко всему объему сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты. Как показывают данные ГВК, объем сброса недостаточно очищенных сточных вод в целом по Республике Беларусь составляет менее 1 % от общего объема сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты.

При расчете показателя 6.3.1 по видам экономической деятельности в соответствии с Общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 005-2011 «Виды экономической деятельности» (ОКЭД) расчет осуществляется укрупненно для трех основных секторов по годовому объему воды, используемой на производственные нужды по соответствующему виду деятельности:

- 1) сельское хозяйство, лесоводство и рыболовство (ОКЭД А);
- 2) сектор ДОПЭС (Добыча полезных ископаемых. Обрабатывающая промышленность. Поставка электроэнергии, газа, пара и кондиционирования воздуха. Строительство) (ОКЭД В, С, D и F);
- 3) сфера услуг (ОКЭД 36–39 и ОКЭД 45–99).

Поскольку наименьшей единицей обобщения является водопользователь, расчет показателя 6.3.1 может быть проведен с любым уровнем агрегации.

В настоящее время расчет показателя 6.3.1 проводится по стране в целом, в разрезе областей и г. Минска, по речным бассейнам и видам экономической деятельности (укрупненно).

Динамические ряды показателя 6.3.1 по Республике Беларусь за 2013–2018 гг. приведены в табл. 2.

Таблица 2

Динамические ряды показателя 6.3.1 по Республике Беларусь за 2013–2018 гг.

Table 2

Time series of indicator 6.3.1 in the Republic of Belarus for 2013–2018

№ п/п	Показатель	Единица измерения	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.*	2017 г.	2018 г.
1	Сброс воды в поверхностные водные объекты	млн м ³ /год	973,9	954,2	869,6	1048,4	1052,7	1034,0
1.1	без предварительной очистки	млн м ³ /год	317,02	315,74	245,73	339,13	354,02	340,90
1.2	нормативно очищенной	млн м ³ /год	653,92	635,02	618,17	702,96	694,40	689,07
1.3	недостаточно очищенной	млн м ³ /год	2,92	3,43	5,71	6,36	4,27	4,0
	Показатель 6.3.1 ДБОСВ	%	99,70	99,64	99,34	99,39	99,59	99,61

Примечание. * – начиная с 2016 г. данные приводятся с учетом сброса поверхностной сточной воды.

Показатель 6.3.2.1 «Доля поверхностных водных объектов, которым присвоен «хороший» и выше экологический (гидробиологический) статус» является ключевым для оценки экологического состояния поверхностных водных объектов страны.

В соответствии с Водным кодексом Республики Беларусь [2] экологическое состояние (статус) поверхностных водных объектов (их частей) определяется на основании гидробиологических показателей с использованием гидрохимических и гидроморфологических показателей. При этом, гидробиологические,

гидрохимические и гидроморфологические показатели определяются при проведении мониторинга поверхностных вод в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС).

В целях внедрения нового подхода к системе оценки состояния поверхностных водных объектов (их частей) путем определения их экологического статуса проводится постоянное совершенствование системы наблюдений за состоянием поверхностных вод в составе НСМОС, действующее с 1993 г.

Для методологического обеспечения определения экологического статуса поверхностных водных объектов (их частей) разработан и утвержден ряд технических нормативных правовых актов (ТНПА), позволяющих оценить гидробиологический и гидрохимический статус поверхностных водных объектов. В результате определения статуса экосистеме присваивается один из пяти классов: I – отличный статус; II – хороший статус; III – удовлетворительный статус; IV – плохой статус; V – очень плохой статус. Определение статуса речной экосистемы осуществляется для отдельных участков реки в пункте наблюдений НСМОС, а экологический статус озерной экосистемы определяется для озера в целом.

В настоящее время в рамках НСМОС определяется соответственно гидрохимический и гидробиологический статусы водоемов и водотоков (их участков), охваченных стационарной сетью наблюдений за состоянием поверхностных вод. Оценка состояния водотоков по гидроморфологическим показателям в настоящее время в рамках НСМОС не проводится. Исследования по оценке состояния водных объектов и их типизация для гидроморфологической оценки определяется в настоящее время только в рамках разработки планов управления речными бассейнами.

По данным НСМОС, мониторинг поверхностных вод на территории Республики Беларусь проводится в 109 пунктах гидрологических наблюдений на 75 водных объектах, 297 пунктах наблюдений по гидрохимическим показателям на 160 водных объектах и в 143 пунктах гидробиологических наблюдений на 55 водных объектах.

Аналитическая информация о состоянии водных объектов страны и информация о присвоенном гидробиологическом и гидрохимическом статусе поверхностных водных объектов (их частей) формируется в Белгидромете и отражается в ГВК [3].

Показатель 6.3.2.1 определен на уровне прокси и рассчитывается, как соотношение водных объектов в пределах речного бассейна с «хорошим» и выше экологическим (гидробиологическим) статусом к общему числу водных объектов сети НСМОС, где ведутся наблюдения за состоянием поверхностных вод по гидробиологическим показателям, включая трансграничные пункты наблюдений.

В соответствии с действующим законодательством по проведению мониторинга поверхностных вод в пунктах наблюдений НСМОС наблюдения за гидробиологическими показателями проводятся ежегодно в трансграничных пунктах мониторинга и 1 раз в 2 года на остальных пунктах сети гидробиологических наблюдений с ежегодным чередованием речных бассейнов (например, в 2015 г. проводились наблюдения в бассейнах рек Немана, Западного Буга и Припяти, в 2016 г. – в бассейнах рек Западной Двины и Днепра).

Соответственно, расчет показателя 6.3.2.1 проводится по стране в целом один раз в два года (начиная с 2016 г. – данные за 2015 г. и 2016 г.) и ежегодно по речным бассейнам, по которым в отчетном году осуществлялись наблюдения.

Динамические ряды показателя 6.3.2.1 по Республике Беларусь и речным бассейнам за 2015–2018 гг. приведены в табл. 3.

Таблица 3

Динамические ряды показателя 6.3.2.1 за 2015–2018 гг.

Table 3

Time series of indicator 6.3.2.1 for 2015–2018

Единица обобщения	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Бассейн реки Западная Двина	–	75,0 %	–	88,3 %
Бассейн реки Неман	61,1 %	–	90,7 %	
Бассейн реки Западный Буг	42,1 %	–	63,2 %	
Бассейн реки Днепр	–	65,1 %	–	66,7 %
Бассейн реки Припять	79,3 %	–	82,1 %	
Республика Беларусь	–	66,8 %*	–	80,6 %*

Примечание. * – среднее значение за 2 года.

Показатель 6.4.1 «Динамика изменения эффективности водопользования» позволяет оценить эффективность экономического использования водных ресурсов за счет добавленной стоимости, образующейся от использования воды в основных секторах экономики.

При условии измерения в постоянных ценах (в ценах базового года в рублях, долларах или евро) и относительной стабильности цен в рассматриваемом секторе экономики¹, данный показатель выделяет секторы экономики, где эффективность использования воды растет или отстает, что дает важную информацию для анализа и принятия решений, направленных на повышение эффективности использования воды в основных секторах экономики. Для устранения эффекта изменения текущих цен на продукцию рассматриваемого сектора экономики, в том числе вызванных инфляцией или резким изменением обменного курса рубля, предлагается использовать величину валовой добавленной стоимости в секторе в белорусских рублях в сопоставимых ценах к 2015 г.

Информационной базой для расчета показателя 6.4.1 являются данные национальной статистики о величине валовой добавленной стоимости (в сопоставимых ценах) по видам экономической деятельности, областям и Республике Беларусь, формируемые Белстатом, и данные по объемам использованной воды водопользователями на основе статистической отчетности 1-вода (Минприроды).

Показатель 6.4.1 определяется как добавленная стоимость (в сопоставимых ценах) в расчете на объем использованной воды, выраженная в руб./м³ за период времени отдельно взятого основного сектора экономики и их последующего сведения к единому агрегированному значению.

В качестве основных секторов экономики использованы в соответствии с кодированием ОКЭД следующие сектора:

- сельское хозяйство, лесоводство и рыболовство (СЛР) (ОКЭД А);
- сектор ДОПЭС (Добыча полезных ископаемых. Обрабатывающая промышленность. Поставка электроэнергии, газа, пара и кондиционирования воздуха. Строительство) (ОКЭД В, С, D и F);
- сфера услуг (ОКЭД 36–39 и ОКЭД 45–99).

При этом расчет проводится с учетом изменения эффективности водопользования (ИЭВ), которое рассчитывается как отношение эффективности водопользования (ЭВ) за год t минус эффективность водопользования за год $t-1$, деленная на эффективность водопользования за год $t-1$ и умноженная на 100:

$$ИЭВ = \frac{ЭВ_t - ЭВ_{t-1}}{ЭВ_{t-1}} 100.$$

Расчет показателя 6.4.1 проводится ежегодно по республике, областям и в г. Минске, видам экономической деятельности (укрупненно).

Динамические ряды показателя 6.4.1 по Республике Беларусь и речным бассейнам за 2015–2018 гг. приведены в табл. 4.

Таблица 4

Динамические ряды показателя 6.4.1 за 2015–2018 гг. (в сопоставимых ценах к 2015 г.)

Table 4

Time series of indicator 6.4.1 for 2015–2018 (in comparable prices to 2015)

Год	ИЭВ	руб./м ³										
		Республика Беларусь	Брестская обл.	Витебская обл.	Гомельская обл.	Гродненская обл.	Минская обл.	Могилевская обл.	г. Минск	СЛР	ДОПЭС	Сфера услуг
2015	–	57,5	30,5	36,4	48,6	42,4	52,7	46,7	134,7	1,4	84,8	87,8
2016	-1,7%	56,5	33,1	36,8	51,7	45,3	44,2	48,1	123,4	1,4	73,7	99,6
2017	1,4%	57,3	32,0	39,8	53,3	42,8	44,6	45,3	144,7	1,5	72,9	100,8
2018	5,3%	60,3	34,2	40,2	52,2	47,4	48,5	48,0	151,9	1,6	77,0	102,8

¹При высокой волатильности цен сложно определить, вызвано ли изменение данного показателя изменением эффективности водопользования в секторе, или же очередным «прыжком» цен на продукцию данного сектора.

Показатель 6.4.2 «Интенсивность использования запасов пресной воды (водный стресс)» позволяет оценить уровень нагрузки на водные ресурсы и определить, насколько устойчиво осуществляется водопользование в стране по отношению к имеющимся ресурсам. Показатель позволяет оценить давление водопользования на возобновляемые ресурсы пресной воды страны. При этом низкий уровень нагрузки на водные ресурсы указывает на ситуацию, когда комбинированный забор воды всеми секторами является незначительным по отношению к ресурсам и мало влияет на устойчивость ресурсов, а также на потенциальную конкуренцию между водопользователями. Высокий уровень нагрузки на водные ресурсы указывает на ситуацию, при которой комбинированный забор всеми секторами составляет значительную долю от общего объема возобновляемых ресурсов пресной воды, что потенциально может оказывать воздействие на устойчивость ресурсов за счет конкуренции между водопользователями.

В основе расчета показателя 6.4.2 лежат данные по объемам добычи и изъятия пресной воды водопользователями на основе статистической отчетности 1-вода (Минприроды), данные об объемах среднесуточного речного стока, об естественных ресурсах (возобновляемых запасах) пресных подземных вод и информация по экологическому стоку (для поверхностных водных объектов).

Показатель 6.4.2 определяется, как отношение общего объема добычи и изъятия пресной воды к общим возобновляемым пресноводным ресурсам страны за вычетом экологического стока, выраженное в процентах. В свою очередь, экологический сток для поверхностных водных объектов определяется расчетом в соответствии с пособием в области охраны окружающей среды и природопользования П-ООС 17.06-03-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Порядок расчета лимитирующих гидрологических и гидравлических характеристик поверхностных водных объектов».

При расчете экологического стока используется минимальный лимитирующий расход воды водотока 95 % вероятности превышения. Определение минимального лимитирующего расхода воды основано на необходимости сохранения в водотоке 75 % минимального расхода воды 95 % вероятности превышения.

Результаты расчета экологического стока для поверхностных водных объектов проведены РУП «ЦНИИКИВР» на основании данных о речном стоке в разрезе бассейнов основных рек Республики Беларусь и сопоставимы с данными, представленными на сайте Global Environmental Flow Information System (<http://gef.iwmi.org/>) – 17600 млн м³/год (Рекомендация пошаговой методологии мониторинга для показателя ЦУР 6.4.2).

Расчет показателя 6.4.2 проводится ежегодно по стране и речным бассейнам.

Динамические ряды показателя 6.4.2 по Республике Беларусь за 2012–2018 гг. приведены в табл. 5.

Таблица 5

Динамические ряды показателя 6.4.2 по Республике Беларусь за 2013–2018 гг.

Table 5

Time series of indicator 6.4.2 for the Republic of Belarus for 2013–2018

Наименование показателя	Единица измерения	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Возобновляемые ресурсы пресных вод	млн м ³	73 800					
из которых:							
поверхностные воды	млн м ³	57 900	57 900	57 900	57 900	57 900	57 900
подземные воды	млн м ³	15 900	15 900	15 900	15 900	15 900	15 900
Добыча (изъятие) воды из природных источников	млн м ³	1 565	1 564	1 440	1 450	1 397	1 390
из которых:							
добыча воды из подземных водных объектов	млн м ³	869	860	837	818	810	810
изъятие воды из поверхностных водных объектов	млн м ³	696	704	603	632	586	580
Экологический сток	млн м ³	16039	16039	16039	16039	16039	16039
Водный стресс	%	2,71	2,71	2,49	2,51	2,42	2,41

Показатель 6.5.1 «Степень внедрения комплексного управления водными ресурсами» позволяет оценить уровень (степень) реализации в стране комплексного управления водными ресурсами (КУВР), как процесса, способствующего комплексному развитию и управлению водными, земельными и другими связанными ресурсами в целях обеспечения максимального экономического и социального благосостояния на равноправной основе, без ущерба для устойчивости важнейших экосистем.

Расчет показателя 6.5.1 осуществляется Минприроды при помощи заполнения странового вопросника по самооценке, сформированного Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП). При этом сбор данных и отчетность по показателю 6.5.1 о степени реализации КУВР в странах проводится с 2017 г. (базовый уровень отчетности).

Вопросник по самооценке состоит из четырех разделов:

Раздел 1. Благоприятные условия: создание условий, способствующих поддержанию внедрения КУВР, которые включают наиболее типичные политические и законодательные инструменты, а также инструменты стратегического планирования для КУВР.

Раздел 2. Учреждения и участие: весь спектр и роли политических, социальных, экономических и административных учреждений и других групп заинтересованных сторон, способствующих поддержанию внедрения КУВР.

Раздел 3. Инструменты управления: инструменты и виды деятельности, которые позволяют лицам, принимающим решения, и пользователям делать рациональный и обоснованный выбор среди альтернативных действий.

Раздел 4. Финансирование: составление бюджета и доступное из различных источников финансирование, которое используется для развития водных ресурсов и управления ими.

При этом каждый из 4-х разделов включает по два подраздела: национальный уровень и уровень бассейна/водоносного горизонта (трансграничный уровень).

Для оценки странового прогресса в показателе 6.5.1 при заполнении опросника необходимо указать трансграничные бассейны и водоносные горизонты, включенные в данный обзор. Анализ предлагаемых методических подходов к формированию данного показателя указывает, что в центре внимания показателя 6.5.1, в соответствии с целевой задачей 6.5, находится его внедрение на трансграничном уровне в совокупности с показателем 6.5.2 «Доля площади трансграничного водного бассейна, в отношении которого действует механизм трансграничного водного сотрудничества».

Показатель 6.5.1 по оценке внедрения уровня (степени) реализации комплексного управления водными ресурсами в Республике Беларусь рассчитывается один раз в три года, начиная с 2017 г. В настоящее время (май-июнь 2020 г.) проводится работа по заполнению странового вопросника и подготовке отчетности по показателю 6.5.1.

Результаты расчета уровня (степени) реализации комплексного управления водными ресурсами в Республике Беларусь в 2017 г. приведены в табл 6.

Таблица 6

Результаты по оценке внедрения уровня (степени) реализации комплексного управления водными ресурсами в Республике Беларусь в 2017 г.

Table 6

Results of assessing the implementation of the level (degree) of implementation of integrated water resources management in the Republic of Belarus in 2017

Страна	Итоговый показатель КУВР	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
		Среднее значение			
		Благоприятные условия	Учреждения и участие	Инструменты управления	Финансирование
Республика Беларусь	38	36	35	58	24

Показатель 6.5.2 «Доля площади трансграничных водных бассейнов, в отношении которых действует механизм трансграничного водного сотрудничества», позволяет оценить уровень развития сотрудничества по управлению трансграничными водными ресурсами с сопредельными странами.

С учетом того, что все пять крупных речных бассейнов страны (Днепр, Припять, Западный Буг, Неман и Западная Двина) являются трансграничными и их суммарная площадь составляет 99,7 % от площади

республики, вопросы развития трансграничного сотрудничества являются одной из стратегических задач в области управления водными ресурсами страны.

Показатель 6.5.2 рассчитывается путем сложения площадей поверхностей трансграничных водосборных бассейнов поверхностных вод и трансграничных водоносных горизонтов, на которые распространяется действующий механизм трансграничного сотрудничества, и деления полученного результата на суммарную площадь всех трансграничных бассейнов в стране (основных речных бассейнов и всех водоносных горизонтов). Результат умножается на 100 для получения значения, выраженного в качестве процентной доли.

При этом механизмы сотрудничества должны охватывать как поверхностные, так и подземные воды. Соответственно, для расчета показателя необходимо иметь площади трансграничных речных бассейнов и трансграничных водоносных горизонтов в пределах страны и для каждого оценить, имеется ли действующий механизм трансграничного сотрудничества в области водных ресурсов.

Необходимо отметить, что показатель 6.5.2 тесно связан с Конвенцией по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Водная Конвенция), в том числе и в части совместной отчетности по показателю 6.5.2 и Водной Конвенции, заполнение которой проводилось странами в 2017 г. и проводится в настоящее время (май-июнь 2020 г.).

В процессе заполнения совместной отчетности по показателю 6.5.2 и Водной Конвенции в 2017 г. РУП «ЦНИИКИВР» проработаны с НПЦ по геологии возможности предоставления информации о подземных водоносных горизонтах, охваченных трансграничным сотрудничеством. Результаты указывают, что практически вся информация, необходимая для проведения расчетов и заполнения отчетности в части распространения подземных водоносных горизонтов, отсутствует.

Расчет площади трансграничных водных бассейнов, охваченных механизмом трансграничного сотрудничества, по отношению к площади Республики Беларусь и данным на 2017 г. проведен только для речных бассейнов (без учета подземных водоносных горизонтов), а в 2020 г. – с учетом речных бассейнов и грунтового водоносного горизонта приведен в табл. 7.

Таблица 7

Доля площади страны в пределах трансграничных речных бассейнов, охваченная механизмом сотрудничества, на 01.09.2019 г.

Table 7

Proportion of transboundary basin area with an operational arrangement for water cooperation, as of 01.09.2019

Речной бассейн	Площадь речного бассейна в Беларуси, км ²	Расположение речного бассейна в пределах Беларуси и других стран					Доля площади страны в пределах трансграничных речных бассейнов, охваченная механизмом сотрудничества, в %
		Россия	Украина	Литва	Латвия	Польша	
Днепр	67460	+	+				32,6
Западная Двина	33150	+			+		8,0
Западный Буг	9990		+			+	2,4
Неман	45530	+		+		+	0,0
Припять	50900		+				24,6
Итого в Беларуси	207030						67,6

+ расположение речного бассейна в пределах страны



имеется действующий механизм трансграничного сотрудничества



не имеется действующего механизма трансграничного сотрудничества

Как следует из анализа показателя 6.5.2, существует ряд проблем при оценке уровня трансграничного водного сотрудничества, основными из которых являются:

– отсутствие методик и механизмов формирования информации о площади трансграничных водоносных горизонтов на территории страны и сопредельных государств;

– отсутствие в действующих правовых механизмах трансграничного сотрудничества (соглашениях, технических протоколах и др.) положений по подземным водам (водоносным горизонтам).

Указанные проблемы требуют развития исследований и обмена информацией между сопредельными странами по распространению и установлению водоносных горизонтов, поскольку необходимо стремиться к надежному определению пространственного охвата трансграничных бассейнов и их полному включению в действующие механизмы сотрудничества. Прогресс страны в реализации трансграничного сотрудничества может быть достигнут либо за счет создания новых действующих механизмов сотрудничества с соседними странами, либо за счет выведения существующих механизмов на действующий уровень посредством развития и упорядочивания деятельности, либо за счет расширения охвата сотрудничеством всех поверхностных и подземных вод в качестве конечной цели.

Проекты методик расчета показателей 6.3.1, 6.3.2.1, 6.4.1, 6.4.2, 6.5.1 и 6.5.2 задач 6.3–6.5 ЦУР 6 были согласованы с Белстатом и рассмотрены на заседании Межведомственной экспертной группы по экологическому направлению работы по достижению ЦУР.

Методики были утверждены решением Коллегии Минприроды от 22.11.2019 г. № 91-Р.

Для автоматизации расчета показателей по утвержденным методикам и для оперативного обмена данными в составе информационной системы ГВК разработан информационный раздел «Расчет показателей ЦУР 6 «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех»», включающий в себя набор тематических подразделов по показателям задач 6.3–6.5 ЦУР 6.

В общем виде структура раздела представлена на рис. 1 с отображением названий основных тематических подразделов в виде веб-страниц и дальнейшей работы с ними путем активации требуемого подраздела.

Расчетные модули позволяют проводить расчеты показателей по различным уровням агрегации (территориально-административный, бассейновый, по видам экономической деятельности и т. д.) и за различные временные интервалы.

Исходные данные для расчета в зависимости от вида запроса автоматически формируются с использованием процедур доступа к информационной базе данных ГВК, где хранятся ежегодно обновляемые агрегированные данные по использованию водных ресурсов.

Доступ в Информационную систему ГВК является свободным по адресу – <http://178.172.161.32:8081/> [4] или с официального сайта РУП «ЦНИИКИВР» – www.cricuwr.by [5].



Структура информационного раздела по показателям задач 6.3–6.5 ЦУР 6

Structure of the information section on indicators of targets 6.3–6.5 SDG 6

Заключение

Национализация методик формирования показателей для задач ЦУР 6 позволяет имплементировать базовые международные подходы в области устойчивого водопользования и охраны водных ресурсов в национальное законодательство с учетом специфики каждой страны.

На международном уровне мониторинг прогресса в достижении ЦУР 6 является процессом приобретения странами навыков обзора и совершенствования механизмов мониторинга и отчетности: выбор показателей, сбор данных и формирование методологии расчета показателей, оценка прогресса в реализации задач ЦУР.

Возможность использования различных уровней агрегации показателей позволяет применять их в качестве целевых индикаторов для оценки успешности реализации различных водохозяйственных

и водноэкологических задач как на территориальном, так и на бассейновом уровне. Это дает возможность в дальнейшем использовать их не только в качестве отдельных целевых показателей при оценке успешности реализации государственных и отраслевых программ, но и при разработке планов управления речными бассейнами, при проведении региональных оценок водно-ресурсного потенциала и экологического состояния водных объектов.

Библиографические ссылки

1. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года – A/RES/70/1. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. [Интернет]. Официальный сайт Конференции ООН по торговле и развитию. [Прочитано 04 августа 2020]. Доступно по: http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf /
2. Деревяго ИП, Дубенок СА. Экономические инструменты управления водными ресурсами и объектами, и водохозяйственными системами в Республике Беларусь. В: Водная инициатива ЕС плюс для Восточного партнерства: тематические материалы проекта. 2-е издание, исправленное и дополненное. Минск: БГТУ; 2020. 340 с.
3. Положение о порядке ведения государственного водного кадастра и использования его данных: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 02.03.2015 г. № 152 «О некоторых мерах по реализации Водного кодекса Республики Беларусь». Эталон-Беларусь [Интернет]. Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. [Прочитано 04 августа 2020].
4. Государственный водный кадастр. [Интернет]. [Прочитано 04 августа 2020]. Доступно по: <http://178.172.161.32:8081>.
5. Официальный сайт РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов». [Интернет]. [Прочитано 04 августа 2020]. Доступно по: <http://www.cricuwr.by>.

References

1. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015 – A/RES/70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. [Internet]. UN conference on trade and development. [Cited 2020 August 04]. Available from: http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf.
2. Derevyago IP, Dubianok SA. Ekonomicheskie instrumenty upravleniya vodnymi resursami i ob'ektami, i vodokhozaystvennymi sistemami v Respublike Belarus [Economic instruments for management of water resources, and facilities, and water management systems in the Republic of Belarus]. In: Vodnaja initsiativa ES plus dla Vostochnogo partnerstva. Tematicheskie materialy proekta. Vtoroe izdanie, ispravlennoe i dopolnennoe [EU Water Initiative Plus for the Eastern Partnership. Thematic materials of the project. 2nd edition, correction and addition]. Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet; 2020. 340 p. Russian.
3. Regulation on the procedure of keeping the State Water Cadastre and using its data. Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus 2015 March 02 No. 152 On some measures on realization of the Water Code of the Republic of Belarus. Etalon-Online [Internet]. National Center for Legal Information of the Republic of Belarus. [Cited 2020 August 04].
4. State Water Cadastre. [Internet]. [Cited 2020 August 04]. Available from: <http://178.172.161.32:8081>.
5. The official website of the Central Research Institute of Complex Use of Water Resources. [Internet]. [Cited 2020 August 04]. Available from: <http://www.cricuwr.by>.

Статья поступила в редколлегию 08.09.2020.

Received by editorial board 08.09.2020.

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 574.91 : 595.782 : 632.78 : 632.7.04/.08 (476)

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИНОК ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ ЛИЧИНКАМИ ЛИПОВОЙ МОЛИ-ПЕСТРЯНКИ В НАСАЖДЕНИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА НАН БЕЛАРУСИ В 2015–2019 гг.

О. В. СИНЧУК¹⁾, С. В. БУГА¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

В 2015–2019 гг. исследования повреждаемости инвазивным чужеродным видом – липовой молью-пестрянкой (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963); Lepidoptera: Gracillariidae: Lithocolletinae) липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill., 1768; Malvaceae) выполнены в насаждениях Центрального ботанического сада НАН Беларуси (г. Минск). В период после завершения развития личинок первой генерации заселенность липовой молью-пестрянкой листовых пластинок нижней части кроны в годы исследований не превышала 15 %, а по окончании развития личинок второй генерации – достигала 51 %. Значения данного показателя для разных лет исследований в ряде случаев различались более чем на порядок. Количество индивидуальных мин личинок *Ph. issikii* на

Образец цитирования:

Синчук ОВ, Буга СВ. Повреждаемость листовых пластинок липы мелколистной личинками липовой моли-пестрянки в насаждениях Центрального ботанического сада НАН Беларуси в 2015–2019 гг. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2020;3:16–23. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-16-23>

For citation:

Sinchuk AV, Buga SV. Damage to sheet blades of small-leaved lime of larvae of the lime leaf miner in the green stands of the Central Botanical Garden National Academy of Sciences of Belarus in 2015–2019. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2020;3:16–23. Russian. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-16-23>

Авторы:

Олег Викторович Синчук – старший преподаватель кафедры зоологии биологического факультета; заместитель начальника главного управления науки; начальник отдела организации и сопровождения инновационной деятельности.
Сергей Владимирович Буга – доктор биологических наук, профессор; заведующий кафедрой зоологии биологического факультета.

Authors:

Aleh V. Sinchuk, senior lecturer at the department of zoology, faculty of biology; deputy head of the main department of science; head of the department of organization and support of innovation activities. aleh.sinchuk@gmail.com
Sergey V. Buga, doctor of science (biology), full professor; head at the department of zoology, faculty of biology. sergey.buga@gmail.com

заселенных листовых пластинок *T. cordata* в период по окончании развития личинок первой генерации варьировало от 1 до 6 на лист, по завершении развития личинок второй генерации – от 1 до 19 на лист. Между первой и второй генерацией во все годы исследований отмечены статистически достоверные ($P < 0,05$) различия. Площадь индивидуальных мин личинок первого поколения *Ph. issikii* была статистически достоверно больше таковой личинок второго поколения в 2015, 2017 и 2018 гг. Суммарная площадь индивидуальных мин на отдельных листовых пластинках в период по окончании развития личинок первой генерации варьировала по годам: минимальные значения констатированы для 2015 г. ($0,97 \pm 0,06 \text{ см}^2$), максимальные – для 2018 г. ($1,51 \pm 0,10 \text{ см}^2$). По завершении развития второй генерации минимальные значения отмечены в 2016 г. ($1,45 \pm 0,13 \text{ см}^2$), а максимальные – в 2018 г. ($2,90 \pm 0,27 \text{ см}^2$). Относительная площадь поврежденной листовой поверхности в период по окончании развития личинок первого поколения в годы исследований удерживались в диапазоне 3–5 %, второго поколения – не превышала 10 %. Данный уровень значений показателя соответствовал существенной потере растениями декоративности вследствие визуально легко выявляемых повреждений листовых пластинок и досрочной (в конце августа) дефолиации крон.

Ключевые слова: *Phyllonorycter issikii*; инвазивные виды; декоративные зеленые насаждения; площадь листовых мин; заселенность листовых пластинок.

DAMAGE TO SHEET BLADES OF SMALL-LEAVED LIME OF LARVAE OF THE LIME LEAF MINER IN THE GREEN STANDS OF THE CENTRAL BOTANICAL GARDEN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS IN 2015–2019

A. V. SINCHUK^a, S. V. BUGA^a

^aBelarusian State University,
4 Niezaliežnasci Avenue, 220030, Minsk 220030, Belarus
Corresponding author: A. V. Sinchuk (aleh.sinchuk@gmail.com)

Studies on damage of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill., 1768; Malvaceae) by invasive alien species, lime leaf miner (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963); Lepidoptera: Gracillariidae: Lithocolletinae), were carried out in the Central Botanical Gardens of the National Academy of Sciences of Belarus in Minsk throughout 2015–2019. During the period after the end of development of the first generation larvae, in the lower part of crowns less than 15% of leaf blades were inhabited, but after the end of development of the second generation larvae more than 51 % of ones were colonized by the miner. The values of the parameter in some cases varied significantly. The number of individual mines of *Ph. issikii* on leaf blades of *T. cordata* during the period after completion of development of larvae of the first generation varied from 1 to 6 per leaf, after completion of development of larvae of the second generation – from 1 to 19 per leaf, statistically significant ($p < 0.05$) differences between them registered every year. The square of individual mines of the first generation larvae was statistically significantly larger than the ones of the second generation larvae in 2015, 2017 and 2018. The total area of individual mines on separate leaf blades after the completion of larval development of the first generation of lime leaf miner, varied by year, the minimum values were registered in 2015 ($0.97 \pm 0.06 \text{ cm}^2$), the maximum values in 2018 ($1.51 \pm 0.10 \text{ cm}^2$). After the completion of larval development of the second generation, the minimum values were registered in 2016 ($1.45 \pm 0.13 \text{ cm}^2$) and the maximum in 2018 ($2.90 \pm 0.27 \text{ cm}^2$). The relative square of the damaged leaf area after the completion of larval development of the first generation of lime leaf miner in the years of research varied in the range of 3–5 %, after the completion of larval development of the second generation did not exceed 10 %. However, this level of the values corresponded to a significant decorative effect loss of plants due to easily noticeable damages of leaf blades and early (at the end of August) crown defoliation.

Keywords: *Phyllonorycter issikii*; invasive species; decorative green stands; leaf mine square; colonization of leaf blades.

Введение

Проблема неконтролируемых инвазий в настоящее время относится к числу глобальных экологических проблем и все более актуальна для Республики Беларусь [1]. С целью популяризации информации о наиболее вредоносных и широко распространенных чужеродных видах, экспансия которых имеет очевидное экологическое, экономическое и/или социальное последствие, была подготовлена и издана в 2016 г. «Черная книга инвазивных видов животных Беларуси» [2].

Среди внесенных в издание инвазивных видов многие являются вредителями декоративных зеленых насаждений. В частности, липовая моль-пестрянка (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963); Lepidoptera: Gracillariidae: Lithocolletinae), локализуясь в разного типа древесных насаждениях, повсеместно вредит мелколистной, сердцелистной, или зимней (*Tilia cordata* Mill., 1768), а также крупнолистной (*Tilia platyphyllos* Scop., 1772)

липам [3]. Личинки *Ph. issikii* являются специализированными эндобионтами, развивающиеся поодиночке в камерах (минах) в паренхиме листовых пластинок лип (*Tilia* L.). При высокой плотности фитофага изредка ими заселяются также прицветные листья соцветий.

Липовая моль-пестрянка имеет дальневосточное происхождение. Впервые данный минер был обнаружен Л. В. Токаревой 23 июля 1932 г. в г. Уссурийске [4], однако описал его как новый для науки вид в 1963 г. Т. Kumata [5], указывая такие острова, как Хоккайдо, Хонсю и Кюсю.

В Европу, как предполагается, липовая моль-пестрянка попала либо с интродуцированными растениями, либо с транзитным грузом в 1980–1984 гг. [6]. В 1985 г. данный минер был обнаружен в зеленых насаждениях г. Москвы [7]. В дальнейшем инвадиров осуществлял экспансию по регионам произрастания представителей рода *Tilia* как на запад, так и на восток [6]. По литературным данным [8], на территории Беларуси липовая моль-пестрянка впервые отмечена в 1998 г. К настоящему времени данный чужеродный для фауны вид распространен по всей территории страны [3; 9].

Основным кормовым растением липовой моли-пестрянки в условиях Беларуси является липа мелколистная (*T. cordata*), которая не только широко представлена в зеленых насаждениях населенных пунктов, но и относится к числу лесообразующих пород [10]. Согласно кадастру [11], древостои липы мелколистной занимают 7 717,2 га. При этом их наибольшие площади сосредоточены в Могилевской (3 558,9 га) и Витебской (1 979,0 га) областях, в том числе – в Мстиславском (755,8 га), Климовичском (547,3 га) и Горецком (464,1 га) районах.

В декоративных зеленых насаждениях массовое заселение листвы липовой молью-пестрянкой нарушает эстетический вид декоративных посадок. Мины личинок старших возрастов очевидным образом контрастируют окраской с неповрежденными участками листовых пластинок, благодаря чему легко бросаются в глаза сторонним наблюдателям. При вспышках массового размножения вредителя отмечается ранняя дефолиация [12], регистрируется существенное уменьшение числа цветков на 1 погонный метр ветвей, что сопровождается уменьшением продукции нектара [13]. Разница между количеством цветков на 1 погонный метр ветвей между экземплярами *T. cordata* с заселенностью личинками *Ph. issikii* с уровнями менее 1 мины на лист и более 3 мин на лист более чем двукратная [14]. Также меньшим оказывается регистрируемый годичный радиальный прирост древесины [13].

Очевидное значение липовой моли-пестрянки в качестве вредителя липы мелколистной как ценной древесной породы лесных и декоративных насаждений является важным аргументом для изучения особенностей биологии и экологии данного инвайдера в условиях вторичного ареала, в частности, регионов Беларуси. В результате был выполнен анализ многолетних данных по повреждаемости листовых пластинок *T. cordata* личинками *Ph. issikii* в зеленых насаждениях с целью оценки их экологической характеристики как индикатора эффективности натурализации чужеродного вида в новых для него условиях среды обитания.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнялись в 2015–2019 гг. на базе арборетума (дендрария) Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси (г. Минск). Имеющиеся здесь аллеиные посадки липы мелколистной подвергались стандартному, не меняющемуся из года в год, набору мероприятий по уходу за насаждениями. В итоге стабильными оставались такие факторы, как характер и уровень техногенной, антропогенной нагрузки на насаждения. К завершению развития личинок 1-й (конец июня – начало июля) и 2-й (конец августа – конец сентября) генераций из нижнего яруса крон формировали выборку листовых пластинок липы, которые гербаризировали по стандартной методике [15]. Анализ предусматривал выявление заселенности листьев нижнего яруса крон личинками липовой моли-пестрянки, для чего среди 100 рандомизировано отобранных листовых пластинок регистрировали долю поврежденных, несущих мины *Ph. issikii*. Полученные с помощью планшетных сканеров Epson Perfection 4180 Photo и Canon 9000F Mark II изображения (разрешение 300 dpi) подвергали компьютерной обработке средствами специализированного графического редактора ImageJ [16] и определяли площади отдельных мин. В целом анализ материалов предусматривал установление среднего числа мин на отдельных листовых пластинках, среднюю площадь отдельных мин, общую (суммарную) площадь всех мин на отдельных листовых пластинках, а также относительную поврежденность листовых пластинок (отношение общей площади мин к площади всей листовой пластинки). Для каждой из выборок рассчитаны средние арифметические значения, построены столбчатые диаграммы с планками погрешности в целях визуализации данных (в качестве доверительного интервала для полученных значений использована стандартная ошибка средней). Исходя из характера анализируемых показателей (среди них присутствуют относительные переменные) и распределения данных в выборочных совокупностях, для анализа использовали непараметрическую статистику

Уилксона – Манна – Уитни [17], статистически достоверными считались различия при $p < 0,05$. Расчеты выполнены средствами R 3.6.3, RStudio Desktop 1.2.5042 [18], визуализация данных – Microsoft Office Excel [19].

Результаты исследования и их обсуждение

Среднее значение показателя заселенности по окончании развития личинок *Ph. issikii* первой генерации составляли: 2015 г. – 3 %, 2016 г. – 1, 2017 г. – 7, 2018 г. – 15, 2019 г. – 10 % (рис. 1). По завершении развития личинок второй генерации заселенность листовых пластинок составляла в 2015 г. – 25–50 %, 2016 г. – 2–46, 2017 г. – 32, 2018 г. – 51, в 2019 г. – 40 %.

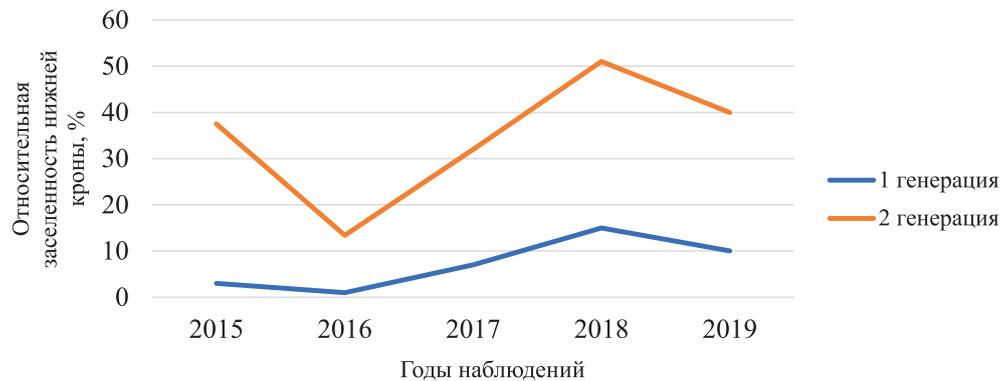


Рис. 1. Средние значения показателя относительной заселенности личинками липовой моли-пестрянки листовых пластинок липы мелколистной (насаждения Центрального ботанического сада НАН Беларуси, г. Минск, 2015–2019 гг.)

Fig. 1. Average values of the indicator of the relative population of lime leaf miner larvae of leaf blades of the small-leaved lime (greenbelt of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, 2015–2019)

Таким образом, для первой генерации наблюдались различия данных для разных лет более чем на порядок (в частности, для 2016 и 2018 г.), что может указывать на разный уровень смертности насекомых (имаго) во время зимовки (резкие перепады температур), то есть различный размер выжившего к весне зимующего запаса популяции в разные годы. Полученные данные позволили установить, что заселенность липовой молью-пестрянкой листовых пластинок нижней части крон липы мелколистной весьма критична, а в отдельных случаях и для сохранения эстетических качеств растений в декоративных насаждениях, поскольку именно здесь повреждения (мины) визуально легко обнаружимы.

Количество мин на листовых пластинках также было различным в разные годы. Так, в период окончания развития личинок первого поколения *Ph. issikii* в 2015 и 2016 гг. регистрировались 1–3 мины, в 2017 г. – 1–2, в 2018 г. и 2019 г. – 1–6 мин на листовую пластинку, тогда как во втором – в 2015 г. отмечалось от 1 до 19 мин, в 2016 г. – 1–8, в 2017 г. – 1–4, в 2018 г. – 1–17, в 2019 г. – 1–13 мин (рис. 2).

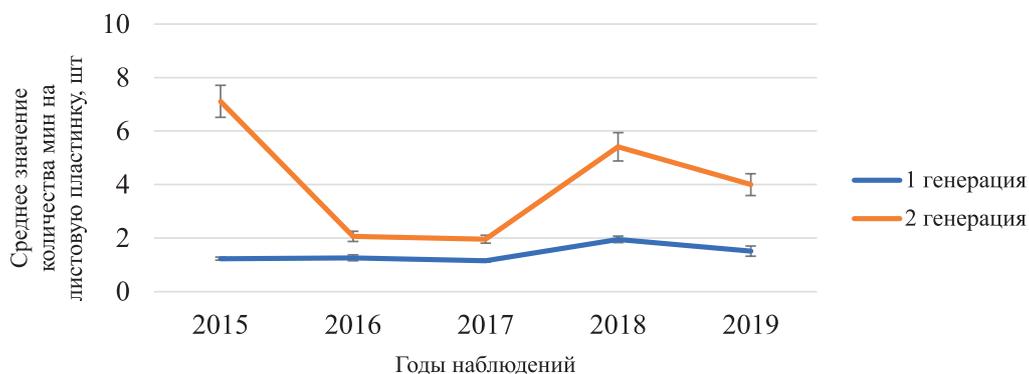


Рис. 2. Количество индивидуальных мин личинок липовой моли-пестрянки на поврежденных листовых пластинках липы мелколистной (насаждения Центрального ботанического сада НАН Беларуси, г. Минск, 2015–2019 гг.)

Fig. 2. The number of individual mines of lime leaf miner larvae on the damaged leaf blades of the small-leaved lime (greenbelt of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, 2015–2019)

Таким образом, значение числа мин для отдельных листовых пластинок демонстрировали меньший разброс по окончании развития личинок первой генерации, нежели второй. На период окончания развития личинок первого поколения липовой моли-пестрянки для показателя количества мин на отдельной листовой пластинке отмечены достоверные различия значений для 2018 г. (наблюдались максимальные

средние значения) и остальных лет исследований. По завершении развития личинок второго поколения различия были достоверны между всеми сезонами, кроме 2015 и 2018 гг., 2016 и 2017 гг. Между периодами завершения развития первой и второй генераций отмечены достоверные различия значений данного показателя во все годы исследований.

Значения показателя площади индивидуальных мин, формируемых отдельными личинками липовой моли-пестрянки, варьировали в течение вегетативных сезонов 2015–2019 гг. (рис. 3). Анализ данных за 5 лет исследований позволил установить, что средняя площадь мин по окончанию развития первого поколения минера составляла $0,84 \pm 0,04 \text{ см}^2$. Достоверно различаются выборочные совокупности значений площади отдельных мин в 2015 и 2019 г., 2018 и 2019 г. Данные на период по окончании развития личинок второй генерации демонстрировали высокую вариабельность значений показателя площади отдельных мин, что может быть обусловлено гибелью личинок во 2–4-ом возрастах вследствие воздействия энтомофагов, патогенов, неблагоприятного действия других биотических и абиотических факторов. Отмечены достоверные различия между выборочными совокупностями значений показателя между всеми сезонами, исключая 2016 и 2019 гг.

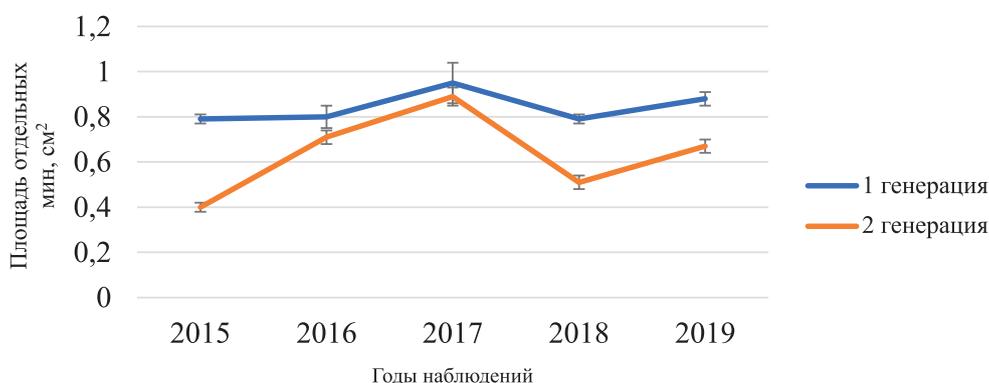


Рис. 3. Площадь индивидуальных мин, сформированных отдельными личинками липовой моли-пестрянки на листовых пластинках липы мелколистной (насаждения Центрального ботанического сада НАН Беларуси, г. Минск, 2015–2019 гг.)

Fig. 3. Figure 3. The area of individual mines formed by individual of lime leaf miner larvae on the leaf blades of the small-leaved lime (greenbelt of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, 2015–2019)

Суммарная площадь индивидуальных мин на отдельных листовых пластинках в период по окончании развития личинок первой генерации также варьировала по годам: в 2015 г. – $0,97 \pm 0,06 \text{ см}^2$, 2016 г. – $1,00 \pm 0,11 \text{ см}^2$, 2017 г. – $1,09 \pm 0,11 \text{ см}^2$, 2018 г. – $1,51 \pm 0,10 \text{ см}^2$, в 2019 г. – $1,14 \pm 0,10 \text{ см}^2$ (рис. 4). Достоверные различия между выборочными совокупностями отмечены для 2018 и 2015 г., 2018 и 2019 г.

В период по окончании развития личинок *Ph. issikii* второй генерации суммарная площадь повреждений составляла: в 2015 г. – $2,87 \pm 0,20 \text{ см}^2$, 2016 г. – $1,45 \pm 0,13 \text{ см}^2$, 2017 г. – $1,76 \pm 0,18 \text{ см}^2$, 2018 г. – $2,90 \pm 0,27 \text{ см}^2$, в 2019 г. – $2,59 \pm 0,32 \text{ см}^2$ (рис. 4). Достоверными различия между выборочными совокупностями были для 2015 и 2016, 2015 и 2017, 2016 и 2018, 2016 и 2019, 2017 и 2018 гг. Пики и спады для показателей 1 и 2-й генерации вредителя статистически синхронны за исключением 2015 г.

Данные по суммарной площади поврежденной (занятой минами) листовой поверхности можно дифференцировать по 2 группам статистически достоверно различающихся значений 2015 г., 2018, 2019 г., а также 2016 и 2017 гг., что, возможно, связано с особенностями данных сезонов вегетации, которые не являются очевидными.

Для всех вегетационных сезонов, исключая 2016 г., различия между суммарной площадью поврежденной (занятой минами) листовой поверхности по окончании развития личинок первой и второй генераций липовой моли-пестрянки были статистически достоверны. Отсутствие значимых различий для 2016 г. хорошо согласуется с незначительным в том году приростом к осени среднего числа мин на отдельных листовых пластинках.

Относительная площадь поврежденной листовой поверхности в период после завершения развития личинок первого поколения в 2015 г. составила $4,31 \pm 0,43 \%$, 2016 г. – $3,31 \pm 0,37 \%$, 2017 г. – $4,31 \pm 0,40 \%$, 2018 г. – $4,97 \pm 0,34 \%$, в 2019 г. – $4,02 \pm 0,34 \%$ (рис. 5). Таким образом, значения данного показателя удерживались на уровне примерно 3–5 %, статистически достоверными были различия между его значениями для 2016 и 2018 гг.

По окончании развития личинок второго поколения липовой моли-пестрянки в 2015 г. относительная поврежденность составляла $8,92 \pm 0,70 \%$, 2016 г. – $4,22 \pm 0,29 \%$, 2017 г. – $4,55 \pm 0,52 \%$, 2018 г. – $7,80 \pm 0,73 \%$,

в 2019 г. – $5,26 \pm 0,56$ % (рис. 5). Достоверные различия ($p < 0,05$) отмечены для выборочных совокупностей 2015 г. и 2016 г., 2017 г., 2019 г.; 2018 г. и 2016 г., 2017 г., 2019 г. Как следует из рис. 4, наибольшая относительная поврежденность отмечается в 2015 и 2018 гг.

В пределах сезона отмечены статистически достоверные различия ($p < 0,05$) этих показателей в периоды завершения личинок первой и второй генераций *Ph. issikii* в 2015 и 2018 гг.

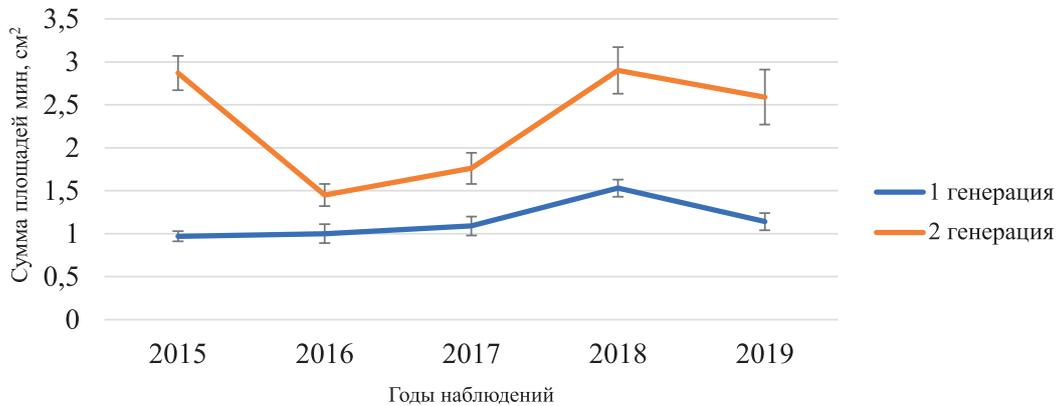


Рис. 4. Сумма площадей мин, сформированных личинками липовой моли-пестрянки на отдельных листовых пластинках липы мелколистной (насаждения Центрального ботанического сада НАН Беларуси, г. Минск, 2015–2019 гг.)

Fig. 4. The sum of the areas of leaf mines formed by lime leaf miner larvae on individual leaf blades of small-leaved lime (greenbelt of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, 2015–2019)

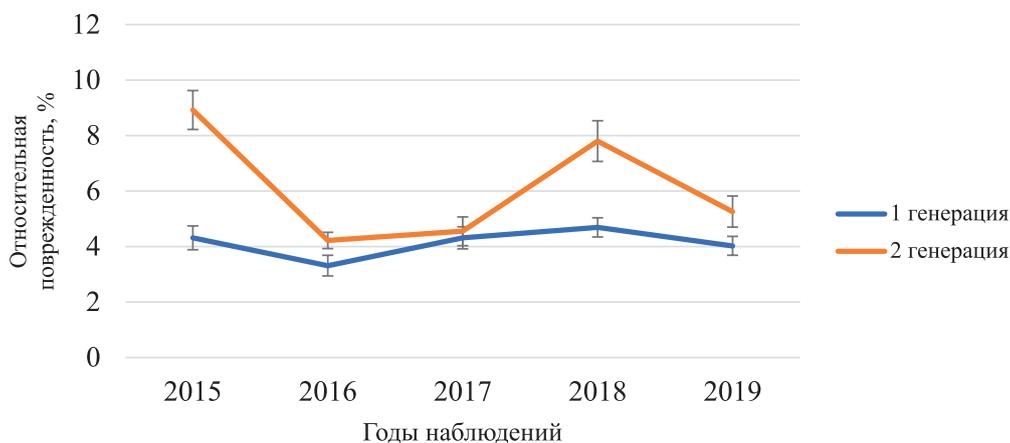


Рис. 5. Относительная площадь поврежденной листовой поверхности (относительная поврежденность листовых пластинок) липы мелколистной личинками липовой моли-пестрянки (насаждения Центрального ботанического сада НАН Беларуси, г. Минск, 2015–2019 гг.)

Fig. 5. The relative area of the damaged leaf surface (relative damage to the leaf blades) of the small-leaved lime of lime leaf miner larvae (greenbelt of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, 2015–2019)

Таким образом, по результатам 5-летних оценок заселения листовых пластинок липы мелколистной липовой молью-пестрянкой констатированы осцилляции для большинства рассмотренных показателей. Значения показателя заселенности листовых пластинок в некоторых случаях превышали 50 %. По завершении развития личинок первого поколения средняя площадь сформировавшихся мин составляет $0,84 \pm 0,04$ см², в то время как средние размеры мин, регистрируемых по завершении развития личинок второго поколения, меньше, что может быть связано с их (мин) недоразвитием вследствие гибели личинок на 2–4 возрастах, причем вскрытие зачастую не выявляет присутствие энтомофагов и мицелия грибов. Наибольшее значение показателя суммарной площади мин на отдельной листовой пластинке (суммарной площади поврежденной листовой поверхности) и относительной поврежденности листовых пластинок (относительной площади поврежденной листовой поверхности) отмечены в вегетационные сезоны 2015 и 2018 гг. Значение показателя относительной поврежденности не превышало 10 %, что соответствует формированию 3–4 мин, при этом регистрируется ранняя дефолиация уже с августа, которая усугубляет потерю растениями декоративности за счет присутствия визуально выявляемых повреждений.

Заключение

Исследования проводились в 2015–2019 гг. на базе Центрального ботанического сада НАН Беларуси (г. Минск). По результатам анализа повреждаемости листовых пластинок липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill., 1768; Malvaceae) липовой молью-пестрянкой (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963); Lepidoptera: Gracillariidae: Lithocolletinae), являющейся чужеродным инвазивным видом фауны Беларуси, нами сделаны следующие выводы:

1. Заселенность липовой молью-пестрянкой листовых пластинок нижней части крон в годы исследований в период по окончании развития личинок первой генерации удерживалась на уровне до 15 %, тогда как по завершении развития личинок второй генерации – достигала 51 %. Значения в разные годы исследований в ряде случаев различались более чем на порядок, что указывает на широкий диапазон данного показателя для кормового ресурса популяций данного фитофага в условиях ЦБС НАН Беларуси.

2. Количество отдельных (индивидуальных) мин личинок липовой моли-пестрянки на заселенных листовых пластинках липы мелколистной в период по завершении развития личинок первой генерации варьировало в диапазоне от 1 до 6 на лист, по окончании развития личинок второй генерации – от 1 по 19 на лист, что отражено в значениях данных параметров, между которыми выявлены статистически достоверные ($p < 0,05$) различия во все годы исследований.

3. Площадь отдельных (индивидуальных) мин личинок первого поколения *Ph. issikii* была статистически достоверно ($p < 0,05$) больше таковой личинок второго поколения в 2015, 2017 и 2018 гг., что может определяться более высокой их смертностью во 2-ом, 3-ем, 4-ом возрастах вследствие воздействия на них биотических и абиотических факторов среды в летне-осенний период данных вегетационных сезонов.

4. Суммарная площадь индивидуальных мин на отдельных листовых пластинках в период по окончании развития личинок первой генерации варьировала по годам: минимальные значения характерные для 2015 г. ($0,97 \pm 0,06$ см²), максимальные – для 2018 г. ($1,51 \pm 0,10$ см²). В период по окончании развития второй генерации минимальные зарегистрированы для 2016 г. ($1,45 \pm 0,13$ см²), максимальные – для 2018 г. ($2,90 \pm 0,27$ см²).

5. Относительная площадь поврежденной листовой поверхности в период по завершении развития личинок первого поколения в годы исследований удерживались в диапазоне 3–5 %, второго поколения – не превышала 10 %. Данный уровень значений показателя соотносился с существенной потерей растениями декоративности как за счет наличия визуально легко выявляемых повреждений листовых пластинок, так и досрочной (в конце августа) дефолиации крон.

Библиографические ссылки

1. Семенченко ВП. Чужеродные виды животных в естественных экосистемах Беларуси. *Наука и инновации*. 2018;7(185):20–25.
2. Алехнович АВ, Буга СВ, Дробенков СМ. и др. *Черная книга инвазивных видов животных Беларуси*. Минск: Беларуская навука; 2016. 105 с.
3. Синчук ОВ, Буга СВ. Современное распространение липовой и нижнесторонней белоакациевой минирующей молей-пестрянок (Lepidoptera: Gracillariidae) на территории Беларуси. *Природные ресурсы*. 2017;1:133–141.
4. Ермолаев ВП. Эколого-фаунистический обзор минирующих молей-пестрянок (Lepidoptera, Gracillariidae) Южного Приморья, В: *Фауна насекомых Дальнего Востока. Труды Зоологического института АН СССР*. Ленинград: ЗИН АН СССР; 1977. Том 70. с. 98–116.
5. Kumata T. Taxonomic studies on the Lithocolletinae of Japan (Lepidoptera: Gracillariidae). *Insecta Matsumurana*. 1963;25(1–2):53–90.
6. Ермолаев ИВ, Рублёва ЕА. История, скорость и факторы инвазии липовой моли-пестрянки *Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963) (Lepidoptera, Gracillariidae) в Евразии. *Российский журнал биологических инвазий*. 2017;10(1):2–19.
7. Беднова ОВ, Белов ДА. Липовая моль-пестрянка (Lepidoptera, Gracillariidae) в зелёных насаждениях Москвы и Подмосковья. *Лесной вестник*. 1999;2: 172–177.
8. Buszko J, Šefrova H, Laštůvka Z. Invasive species of Lithocolletinae in Europe and their spreading (Gracillariidae). In: *XIIth European Congress of Lepidopterology. Białowieża (Poland). 29 May – 2 June 2000. Programme and abstracts. List of participants*. Białowieża: [publisher unknown]; 2000. p. 22–23.
9. Синчук ОВ, Буга СВ. Анализ поврежденности листовых пластинок аборигенных и интродуцированных видов и форм лип (*Tilia* L.) личинками второй генерации липовой моли-пестрянки (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963)) в условиях Беларуси. *Защита растений*. 2016; 40:269–277.
10. Нестерович НД, Маргайлик ГИ. Отношение древесных растений к свету. *Известия АН БССР. Серия биологических наук*. 1965;3:15–20.
11. Масловский ОМ, Левкович АВ, Сысой ИП. и др. *Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь. Основы кадастра. Первичное обследование 2002–2017 гг.* Минск: Беларуская навука, 2019. 599 с.
12. Ермолаев ИВ. О трофической специализации липовой моли-пестрянки *Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963) (Lepidoptera, Gracillariidae). *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле*. 2016;26(4):60–68.
13. Кириченко НИ. Липовая моль-пестрянка *Phyllonorycter issikii* в западной Сибири: некоторые экологические характеристики популяции недавнего инвайдера. *Сибирский экологический журнал*. 2013;6:813–822.
14. Ермолаев ИВ. Биологическая инвазия липовой моли-пестрянки *Phyllonorycter issikii* Kumata (Lepidoptera, Gracillariidae) в Европе. *Сибирский экологический журнал*. 2014. № 3. С. 423–433.

15. Бридсон Д, Форман Л, Гельтман Д, редактор. *Гербарное дело: справочное руководство* [на английском языке]. Кью: Королевский ботанический сад, 1995. 341 с.
16. Синчук ОВ, Рогинский АС, Гончаров ДА. и др. *Количественная оценка поврежденности инвазивными минирующими насекомыми листовых пластинок декоративных древесных растений*. Минск: БГУ, 2016. 30 с.
17. Мاستицкий СЭ, Шитиков ВК. *Статистический анализ и визуализация данных с помощью R*. Москва: ДМК-Пресс; 2015. 495 с.
18. *Наглядная статистика. Используем R!* Москва: ДМК-Пресс; 2017. 298 с.
19. Айзек МП, Финков МВ, Шипунов АБ, Балдин ЕМ, Волкова ПА. и др. *Графики, формулы, анализ данных в Excel. Пошаговые примеры*. Санкт-Петербург: Наука и техника; 2019. 384 с.

References

1. Semenchenko VP. Alien animal species in the natural ecosystems of Belarus. *Nauka i innovatsyi*. 2018;7(185):20–25. Russian.
2. Alekhovich AV., Buga SV, Drobenkov SM et al. *Chernay kniga invazivnykh vidov zhivotnykh Belarusi* [Black book of invasive animal species of Belarus]. Minsk: Belaruskaya navuka; 2016. 105 p. Russian.
3. Sinchuk OV, Buga SV. The modern distribution of lime and lower-white acacia mining moths (Lepidoptera: Gracillariidae) in Belarus. *Prirodnye resursy*. 2017;1:133–141. Russian.
4. Ermolaev VP. Ecological and faunistic review of the mining moths (Lepidoptera, Gracillariidae) of Southern Primorye. In: *Fauna nasekomykh Dalnego Vostoka. Trydy Zoologicheskogo instituta AN SSSR*. Leningrad: ZIN AN SSSR; 1977. Part 70. p. 98–116. Russian.
5. Kumata T. Taxonomic studies on the Lithocolletinae of Japan (Lepidoptera: Gracillariidae). *Insecta Matsumurana*. 1963;25(1–2):53–90.
6. Ermolaev IV, Rubleva EA. History, speed, and factors of invasion of *Phyllonorycter issikii* lime moth (Kumata, 1963) (Lepidoptera, Gracillariidae) in Eurasia. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invazij*. 2017;10(1):2–19. Russian.
7. Bednova OV, Belov DA. Lime leaf miner (Lepidoptera, Gracillariidae) in the green areas of Moscow and Moscow region. *Lesnoj Vestnik*. 1999;2:172–177. Russian.
8. Buszko J, Šefrova H, Laštůvka Z. Invasive species of Lithocolletinae in Europe and their spreading (Gracillariidae) In: *XIth European Congress of Lepidopterology. Białowieża (Poland). 29 May – 2 June 2000. Program and abstracts. List of participants*. Białowieża: [publisher unknown]; 2000. p. 22–23.
9. Sinchuk OV, Buga SV. Analysis of damage to leaf blades of native and introduced species and forms of linden (*Tilia L.*) by the larvae of the second generation of Lime leaf miner (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963)) in Belarus. *Zashchita rastenij*. 2016;40:269–277. Russian.
10. Nesterovich ND, Margailik GI. The reaction of woody plants to light. *Izvestija AN BSSR. Seria biologicheskikh nauk*. 1965;3:15–20. Russian.
11. Maslovsky OM, Levkovich AV, Sysoy IP, et al. *Gosudarstvennyy kadastr rastitel'nogo mira Respubliki Belarus. Osnovy kadastra. Pervichnoe obsledovanie 2002–2017* [The state cadastre of the plant world of the Republic of Belarus. Survey 2002–2017]. Minsk: Belaruskaya navura; 2019. 599 p. Russian.
12. Ermolaev IV. On the trophic specialization of *Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963) (Lepidoptera, Gracillariidae). *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Serija biologija. Nauka o Zemle*. 2016;26(4):60–68. Russian.
13. Kirichenko NI. *Phyllonorycter issikii* in Western Siberia: some environmental characteristics of a recent invader population. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2013;6:813–822. Russian.
14. Ermolaev IV. Invasion of lime mining moth *Phyllonorycter issikii* Kumata (Lepidoptera, Gracillariidae) in Europe. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2014;3:423–433. Russian.
15. Bridson D, Forman L, Heltman D, editor. *Herbarium: a reference guide*. Kew: Royal Botanic Garden; 1995. 341 p.
16. Sinchuk OV, Roginsky AS, Goncharov DA, et al. *Kolichestvennaya otsenka povrezhdenosti invazivnymi minirujushchimi nasekomymi listovykh plastinok dekorativnykh drevesnykh rastenij* [Quantitative assessment of damage by invasive mining insects of leaf blades of decorative woody plants]. Minsk: BGU; 2016. 30 p. Russian.
17. Mastitsky SE, Shitikov VK. *Statisticheskby analiz i vizualizatsiy dannykh s pomoshchju R* [Statistical analysis and data visualization using R]. Moscow: DМК-Press; 2015. 495 p. Russian.
18. Shipunov AB, Baldin EM, Volkova PA, et al. *Nagladnaya statistika. Ispolsuem R!* [Visual statistics. We use R!]. Moscow: DМК-Press; 2017. 298 p. Russian.
19. Isaac MP, Finkov MV. *Grafiki, formuly, analiz dannykh v Excel. Poshagovye primery* [Graphs, formulas, data analysis in Excel. Step by step]. Saint Petersburg: Nauka i Tekhnika; 2019. 384 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 03.06.2020.
Received by editorial board 03.06.2020.

УДК 630.6+632.03

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МОЛЕВОГО СПЛАВА

А. Ю. ВИНОГРАДОВ^{1), 2), 3)}, В. А. ОБЯЗОВ^{1), 2)}, Т. А. ЛАЗАРЕВА⁴⁾

¹⁾Научно-производственное объединение «Гидротехпроект»,
ул. Октябрьская, 55а, 175400, г. Валдай, Россия

²⁾Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,
ул. Франциска Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь

³⁾Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет,
переулок Институтский, 5, 194021, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴⁾БелГидротехпроект,
ул. Машиностроителей, 24а, 220118, г. Минск, Беларусь

Рассмотрены основные моменты как положительного, так и отрицательного влияния молевого сплава на экологическое состояние водных объектов. Предложены конкретные меры по снижению их химического и механического загрязнения. Сделан общий вывод о том, что вред экосистемам от молевого сплава не так велик, как принято считать. Предложен конкретный план мелиоративных работ с целью улучшения экологического состояния малых рек и лесного фонда за счет уменьшения подтопления территории.

Ключевые слова: молевой сплав; загрязнение окружающей среды; лесозаготовительная отрасль; экологическое состояние малых рек; водосбор.

ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF TIMBER RAFTING

A. Yu. VINOGRADOV^{a, b, c}, V. A. OBYAZOV^{a, b}, T. A. LAZAREVA^d

^aScientific and Industrial Research Association Gidrotehproekt,
55a Oktabrskay Street, Valday 175400, Russia

^bInstitute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
10 Frančyška Skaryny Street, Minsk 220076, Belarus

^cSaint Petersburg State Forest Technical University,
5 Institytskiy Gthtekjr, Saint Petersburg 194021, Russia

^dBelGidrotehproekt,
24a Maschynabudaŭnikoŭ, Minsk 220118, Belarus
Corresponding author: T. A. Lazareva (tanita-1993@mail.ru)

The paper considers the main points of both the positive and negative impact of the molten alloy on the ecological state of rivers and watersheds are estimated. Concrete measures are proposed to reduce the chemical effects and mechanical pollution of water bodies. Arguments about the need for channel reclamation are presented and a concrete plan for land

Образец цитирования:

Виноградов АЮ, Обязов ВА, Лазарева ТА. Экологические проблемы молевого сплава. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2020;3:24–29.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-24-29>

For citation:

Vinogradov AYU, Obyazov VA, Lazareva TA. Environmental problems of timber rafting. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2020;3:24–29. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-24-29>

Авторы:

Алексей Юрьевич Виноградов – доктор технических наук; генеральный директор; старший научный сотрудник; профессор кафедры промышленного транспорта.

Виктор Афанасьевич Обязов – доктор географических наук, доцент; старший научный сотрудник; технический директор.

Татьяна Александровна Лазарева – ведущий эколог.

Authors:

Alexey Yu. Vinogradov, doctor of science (engineering); director; senior researcher; professor at the department of industrial transport.
gd@npogtp.ru

Viktor A. Obyazov, doctor of science (geography), docent; senior researcher; technical director.
td@npogtp.ru

Tatiana A. Lazareva, leading ecologist.
tanita-1993@mail.ru

reclamation is proposed with the aim of improving the recreational capabilities of small rivers, purifying water, improving the state of the forest fund by reducing flooding of the territory.

Keywords: timber rafting; environmental pollution; logging industry; ecological status of small rivers; reception basin.

Введение

Молевой сплав [1] в Республике Беларусь использовался для доставки заготовленной древесины из труднодоступных участков лесного фонда до мест, откуда она могла транспортироваться традиционными методами. Молевой сплав предполагает самостоятельное движение отдельных сортиментов заготовленной древесины по руслам рек от верхнего берегового склада вниз по течению реки, чаще всего в период весеннего половодья. Исторически запрет молевого сплава в Республике Беларусь начался с внесения изменений в Водный кодекс¹ в 1972 г.:

«Статья 66. Молевой сплав леса, а также сплав древесины в пучках и кошелях без судовой тяги.

В соответствии с Основами водного законодательства Союза ССР и союзных республик молевой сплав леса, а также сплав древесины в пучках и кошелях без судовой тяги запрещается:

1) на судоходных путях;

2) на водных объектах, перечень которых утверждается Советом Министров СССР или Советом Министров Белорусской ССР с учетом особого значения этих объектов для рыбного хозяйства, водоснабжения или других народнохозяйственных целей.

На остальных водных объектах указанные виды лесосплава допускаются на основании разрешений, выдаваемых органами по регулированию использования и охране вод после согласования с органами, осуществляющими охрану рыбных запасов.

В соответствии с законодательством Союза ССР, правило, запрещающее молевой сплав леса и сплав древесины в пучках и кошелях без судовой тяги на судоходных путях, не исключает права лесосплавающих организаций производить в порядке, устанавливаемом Советом Министров СССР, указанные виды лесосплава на путях, по которым судоходство осуществляется только в полноводный период, и перепуски леса модем, в пучках и кошелях без судовой тяги на ограниченных участках судоходных путей до запаней (рейдов), где производится сплотка или погрузка древесины.

Разрешения в этих случаях выдаются органами по регулированию использования и охране вод после согласования с органами, регулирующими судоходство, органами, осуществляющими охрану рыбных запасов и государственный санитарный надзор».

В следующей редакции данного документа (1998 г.²) четко прописан запрет молевого сплава:

«Статья 52. Пользование водными объектами для лесосплава.

Пользование водными объектами для молевого сплава леса, а также сплава леса в плотках без судовой тяги запрещается.

Пользование водными объектами для сплава леса в плотках с судовой тягой осуществляется по согласованию с органом по безопасности судоходства, уполномоченным Советом Министров Республики Беларусь.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие лесосплав, обязаны регулярно проводить очистку дна водных объектов от затонувшей древесины в порядке, установленном статьей 18 настоящего Кодекса».

После законодательного запрещения молевого сплава до настоящего времени пропагандируется аксиома, что его использование наносит непоправимый ущерб окружающей среде и относится к нерациональным видам природопользования [2]. Данная аксиома зародилась в связи с многочисленными нарушениями водного законодательства лесозаготовительными и лесотранспортными предприятиями в советское время. Результатом запрета молевого сплава стало падение объемов лесозаготовок, что привело к сокращению рабочих мест, неоправданному увеличению затрат на транспортировку древесины и потере экономической самостоятельности большинством хозяйствующих субъектов, расположенных на территории бывшего СССР [3]. Стоит отметить, что хозяйствующему субъекту, благодаря припискам и хищениям, были выгодны неучитываемые потери заготовленной и уже оплаченной государством древесины. В настоящее же время собственник заготовленной древесины заинтересован в доставке потребителю каждого заготовленного кубометра. Им изначально оплачена попенная стоимость, затраты на заготовку в труднодоступных удаленных делянках. Следовательно, заготовитель старается контролировать движение по руслу реки каждого сортимента [3].

¹Водный кодекс Республики Беларусь от 27.12.1972. [Интернет]. [Прочитано 15 июля 2020]. URL: <http://pravo.levonevsky.org/bazaby11/republic65/text248.htm>

²Водный кодекс Республики Беларусь от 15.07.1998 № 191-3. [Интернет]. [Прочитано 15 июля 2020]. URL: <http://pravo.levonevsky.org/bazaby11/republic51/text056.htm>

В действующих в настоящее время редакциях Водного кодекса³ и Лесного кодекса⁴ Республики Беларусь отсутствует упоминание о возможности транспортировки леса водным путем в целом, что открывает возможность возрождения молевого сплава на малых реках.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим основные недостатки молевого лесосплава, за которые он был запрещен на территории СССР:

– Засорение – в результате молевого сплава часть древесины терялась в процессе движения по водотоку [4].

– Аварии на водоемах – утерянная древесина являлась источником повышенной аварийности для водного транспорта и гидротехнических сооружений [5; 6].

– Загрязнение – утерянная древесина являлась источником химического загрязнения воды, что негативно сказывается на состоянии биоценоза водоема, его трофности и на жизнедеятельности промысловых рыб.

Разберем перечисленные недостатки применительно к современным условиям и обстановке на малых реках.

Потери древесины. Опасность засорения малых рек утопленной в результате молевого сплава древесиной весьма преувеличена. Как уже отмечалось во введении, в настоящее время лесозаготовитель заинтересован в доставке потребителю каждого заготовленного кубометра древесины. Утопление древесины означает финансовые потери собственника на аренду, заготовку, организацию сплава, налог на пользование водными объектами в целях лесосплава, штрафы за негативное воздействие на окружающую среду. Таким образом, заготовитель старается контролировать движение каждого сортимента по руслу малой реки.

Отследить движение древесины при молевом сплаве на больших и средних реках практически невозможно. При этом подобный контроль на малых реках технически возможен [2], для чего необходимо провести подготовку русла реки для увеличения лесопропускной способности:

– очистку русла и берегов от ветровальных деревьев и пней, удаление русловых образований (гряд, побочней, осередков и др.);

– спрямление извилин и излучин русла, включая возможные берегоукрепительные работы;

– берегоочистительные работы.

Подобная русловая мелиорация приведет к очищению русла от ветровала и пней, улучшению состояния лесного фонда вдоль русла малых рек.

Кроме того, для ведения лесосплава на малых реках необходима организация дистанционно-патрульного способа лесосплава бригадами с приданными им средствами механизации и перемещения. Такой подход позволит минимизировать потери древесины на предварительно размеченных дистанциях и ввести персональную ответственность бригадиров за состояние конкретного участка реки.

Решить задачу поштучного учета каждого сплаваемого сортимента возможно при помощи единой государственной аналитической информационной системы учета древесины и сделок с ней (далее – ЕГАИС). Ее введение в Республике Беларусь предполагается в течение 2021 года⁵. Система предусматривает, что заготовка древесины на землях лесного фонда и ее реализация будут подлежать учету в ЕГАИС, который будут вести юридические лица и индивидуальные предприниматели, работающие в этой сфере. Это позволит создать единую базу данных об учете заготовленной древесины, ее перемещении как при внутрихозяйственных операциях, так и от одних хозяйствующих субъектов к другим, объемах реализации ЕГАИС обеспечит эффективный мониторинг и прозрачность информации, даст возможность оптимизировать и минимизировать ручной труд, сократить время и минимизировать средства при учете заготовки и реализации древесины, разработать механизм обеспечения управленческого персонала оперативными и достоверными данными для планирования процессов. Согласно проекту постановления Совета Министров, предполагается, что Министерство лесного хозяйства будет владельцем этой системы, определит порядок ее работы и оператора, будет заниматься координацией.

В России аналогичная система для контроля происхождения и оборота древесины была создана в 2014 г. [4; 6]. В соответствии с законодательством ее использование является обязательным условием

³Водный кодекс Республики Беларусь от 30.04.2014 N 149-З (с изменениями и дополнениями) [Интернет]. [Прочитано 15 июля 2020]. URL: <https://etalonline.by/document/?regnum=Hk1400149>

⁴Лесной кодекс Республики Беларусь от 24.12.2015 N 332-З (с изменениями и дополнениями) [Интернет]. [Прочитано 15 июля 2020]. URL: <https://etalonline.by/document/?regnum=Hk1500332>

⁵Минлесхоз предлагает обсудить проект указа об электронной системе учёта древесины [Интернет]. [Прочитано 15 июля 2020]. URL: <http://www.mlh.by/press-service/news/4099/>.

для участников рынка и распространяется на все сделки с древесиной и лесопродукцией. Схожие информационные системы имеются в Польше, Украине, Финляндии, государствах Балтии и других странах.

Как нами уже указывалось [2], объем древесины, попавшей в русловую часть малой реки в результате естественных причин (ветровал, заломов, подмыва рекой берегов), достигает $15 \text{ м}^3/\text{пог. км}$ (без учета бобровых плотин). В ходе экспедиционных обследований некоторых рек Республики Беларусь нами было установлено, что естественное засорение даже в городской черте (г. Ошмяны) достигает $6 \text{ м}^3/\text{пог. км}$ или, если рассматривать площадь поверхности утопленной древесины, – $250\text{--}300 \text{ м}^2/\text{пог. км}$. Таким образом, в результате подготовительных (мелиоративных) работ перед сплавом древесины и организации дистанционно-патрульного способа лесосплава, механическое засорение и химическое загрязнение водотока резко сократятся.

Аварии. В настоящее время речного транспорта и гидротехнических сооружений на малых реках, предполагаемых для молевого сплава, не существует.

Загрязнение. При оценке воздействия молевого сплава на экосистему, чаще всего данный вид деятельности не отделяют от других, например сбросы промышленных и сельскохозяйственных предприятий, строительство гидротехнических сооружений, браконьерство [7; 8].

Считается, что при длительном нахождении древесины в воде происходит десорбция вредных веществ (фенолов (танниды), полисахаридов (пектины), крахмала и гемицеллюлозы, низкомолекулярных углеводов) из гниющей древесины. В коре содержится слаборастворимые водой с нейтральной реакцией гидрофильные экстрактивные вещества: лигнин, минеральные компоненты, и нерастворимые – целлюлоза и суберин [9]. Гидролизуемые танины и частично целлюлоза могут растворяться в воде с выраженной кислой реакцией, которая характерна для болотных рек. Щелочная реакция воды (реки, протекающие в известковых почвах) способствует растворению полифенольных кислот, частично лигнина и целлюлозы. Наиболее опасными из экстрактивных веществ являются фенолы, предельно допустимая концентрация которых в природных водах составляет $0,001 \text{ мг/л}$. Количество выделенных фенольных соединений зависит также от температуры воды и породы древесины. Однако стоит отметить, что ежегодно в период половодья и паводков в реки поступает в среднем $0,5 \text{ м}^3$ торфа и почвы на 100 м реки. При содержании водорастворимых веществ $2\text{--}4 \%$ ежегодно в воду малых рек попадает дополнительно до 10 т растворенных вредных веществ. Только за счет этого концентрация фенолов в реке во время половодья составляет $0,1 \%$ ПДК.

Десорбция веществ, экстрагируемых водой из древесины, возможна только при достаточно длительном их нахождении в воде. По различным оценкам, полное вымывание вредных веществ происходит в течение 110 суток [4]. Соблюдение сроков нахождения древесины в воде может существенно снизить воздействие молевого сплава на экосистему реки.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования ученых Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства и Санкт-Петербургского лесотехнического университета доказали, что критерием безвредности лесосплава для экологического равновесия водоема является отношение объемов древесины и воды во время лесосплава $1:250$ и более⁶, что также подтверждается и другими исследованиями [10; 11]. По другим оценкам, это соотношение может доходить до $1:500$, а для наиболее чувствительных рыб (лососевых) не должно превышать $1:150$ [4].

Для сравнения приведем данные о загрязнении окружающей среды сухопутным транспортом – единственной возможной альтернативой лесосплаву. Лесовоз массой $25\text{--}35 \text{ т}$ выбрасывает порядка $1,6 \text{ кг CO}_2$ на 1 км пути. Путь следует считать дважды – со склада в лес и из леса на склад. Следовательно, при плече вывозки 50 км , лесовоз выбросит $0,16 \text{ т}$ углекислого газа, перевезя при этом порядка 30 м^3 древесины.

Также в разрезе влияния молевого сплава на экосистемы часто упоминают ущерб рыбному хозяйству⁷, в частности, утерянная древесина способствует образованию заломов, которые перекрывают нерестовые пути рыб [2].

Однако следует учитывать и положительные факторы проведения молевого сплава для ихтиофауны: «Установлено, что с прекращением молевого сплава, улов рыб на ряде рек существенно уменьшился»⁸.

⁶Сплав леса: перезагрузка [Интернет]. Лесной комплекс: Отраслевой журнал для специалистов лесозаготовки, деревообработки, лесопатологии и лесовосстановления. [Прочитано 15 июля 2020]. URL: <https://forestcomplex.ru/2018/06/splav-lesa-perezagruzka/>

⁷Постановление Совета Министров РСФСР от 25.09.1987 № 384 «О прекращении молевого сплава леса на реках и других водоемах РСФСР». Москва, 1987.

⁸Харитонов В. Я. Возродим лесосплав – поднимем лесную промышленность [Интернет]. Лесные новости. № 15. 27 августа 2007 г. [Прочитано 15 июля 2020]. URL: <http://arhpress.ru/lesnov/2007/8/27/11.shtml>.

Увеличение кормовой базы происходит за счет того, что в коре сплавляемых деревьев присутствуют личинки и имаго насекомых. При сплаве расширяются береговые границы, создаются дополнительные места для нагула рыб.

По результатам исследования, проведенного авторами, предлагается внести законодательно разрешение на проведение молевого сплава по малым рекам (площадь водосбора до 2000 км² со следующими морфологическими характеристиками: ширина по бровкам 5–15 м; минимальная глубина в межень не менее 0,5 м; средняя скорость течения 0,1–0,5 м/с) при соблюдении следующих условий лесозаготовителем:

1. Проведение мелиоративных мероприятий перед организацией процесса лесосплава.
2. Согласование технологической схемы молевого сплава с комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды.
3. Проведение лесосплавных мероприятий дистанционно-патрульным способом или при помощи радиочастотной идентификации каждого сортимента.
4. Доочистка русла и берегов после лесосплава.

Мелиоративные работы заключаются в очистке русла и берегов от ветровалов, заломов, бобровых плотин, удаление русловых образований, а также проведение берегоукрепительных и берегоочистительных работ на участке реки, используемом для сплава.

Технологическая схема должна включать в себя подбор размеров сплавляемой древесины, ее предельной толщины и необходимой плавучести, учет особенностей водного режима конкретной реки, прогноз половодья, чтобы не допустить перегрузки реки.

Использование дистанционно-патрульного способа или идентификации каждого сортимента позволит проконтролировать движение древесины по реке и не допустить засорения и загрязнения экосистемы.

Предлагается законодательно установить предельные величины потерь при организации молевого сплава в размере 1 % от объема сплавляемого леса на 100 км водного пути. Данную величину можно обосновать следующими расчетами: в период весеннего половодья ширина малой реки в среднем составляет 10 м по бровкам, глубина 2 м, скорость течения 0,5 м/с, средний расход воды в данном случае составит $10 \cdot 2 \cdot 0,5 = 10$ м³/с; учитывая возможное соотношение объемов сплавляемой древесины и воды 1:250, получаем, что в сутки по такой реке мы можем безопасно для экосистемы реки сплавить до 3,5 тыс. м³ древесины в темное время суток проводить сплав невозможно, так как средняя пропускная способность составляет 300–500 м³/сут, которая уменьшается пропорционально объему воды в периоды подъема и спада кривой половодья. Поскольку период половодья на малых реках обычно составляет 15–25 дней в год, то предельный объем сплавляемой древесины с учетом погодных и иных условий за этот период составит 5–6 тыс. м³ в зависимости от извилистости реки, величины снегозапасов на водосборе и интенсивности снеготаяния.

Заключение

Таким образом, нами представлены результаты обследования р. Ошмянка и указана приблизительная естественная захламленность данной реки в размере 6 м³/пог. км или 250–300 м²/пог. км. Учитывая, что для малых рек длина сплавного пути не превысит 100 км, то легко подсчитать естественную засоренность реки древесиной на таком участке, составляющей порядка 600 м³ или 25–30 тыс. м². При предварительной подготовке к молевому сплаву эта древесина из русла реки будет извлечена. Даже если разрешить лесозаготовителю сохранить существующее до организации молевого сплава экологическое состояние реки (засоренность в размере 600 м³), то в процессе сплава можно потерять до 10 % древесины от общего объема сплава (для сравнения – во времена СССР потери при молевом сплаве не превышали 5 %). В современных же условиях (при возможности учета каждого сортимента) такие потери не могут превышать 10–50 м³ на 100 км. Следовательно, при установлении предельной величины потери древесины на уровне 1 % от объема сплавляемого леса на 100 км водного пути произойдет как минимум десятикратное уменьшение захламленности русла.

Библиографические ссылки

1. Будыка СХ, Манухин ГА, Пименов АН. *Водный транспорт леса и механизация лесосплавных работ: учебник для лесоинженерных специальностей вузов*. Минск: Вышэйшая школа, 1970. 439 с.
2. Виноградов АЮ, Виноградова ТА, Кадацкая ММ, Сазонова СИ, Хвалёв СВ. Экологические последствия использования малых рек для молевого сплава. *Гидросфера. Опасные процессы и явления*. 2019;1(4):533–554. DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.533.
3. Виноградов АЮ, Ржавцев АА, Бачериков ИВ, Хвалев СВ, Обязов ВА, Сазонова СИ, Кадацкая ММ, Парфенов ЕА, Виноградов ИА. О применимости молевого сплава по малым рекам в современных условиях. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2020;231:110–130. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.110-130.

4. Мурашова ОВ. *Гидродинамические характеристики лесосплавных плоских сплотовых единиц*: [автореферат диссертации]. Архангельск: [б. н.]; 2007. 19 с.
5. Корпачев ВП, Малинин ЛИ, Чебых ММ, Рябоконт ЮИ, Пережилин АИ. Влияние затопленной и плавающей древесной массы на водные объекты. *Хвойные бореальной зоны*. 2008;25(3-4):340-343.
6. Симоненков МВ, Салминен ЭО, Бачериков ИВ. Основы для разработки системы мониторинга перемещения и поштучной автоматической идентификации круглых лесоматериалов в цепи поставок. *Ресурсы и технологии*. 2016;13(4):12-26.
7. Sedell JR, Leone FN, Duval WS. Water Transportation and Storage of Logs. Chapter 9. Influences of Forest and Rangeland Management on Salmonid Fishes and Their Habitats. *American Fisheries Society Special Publication*. 1991;19:325-368.
8. Ткачев БП, Булатов ВИ. *Малые реки: современное состояние и экологические проблемы: аналитический обзор*. Новосибирск: [б. н.]; 2002. 114 с.
9. Азаров ВИ, Буров АВ, Оболенская АВ. *Химия древесины и синтетических полимеров*. Санкт-Петербург: СПбЛТА; 1999. 628 с.
10. Полева АО. Экспериментальные исследования по оценке влияния затопленной древесины на качество воды водохранилища. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2012;199:73-80.
11. Фоминцев МН, Кулешова ТВ, Муравейник АС. О влиянии лесосплава на водные объекты и возможные критерии его экологической обеспеченности. В: *Механизация водного транспорта леса. Сборник научных трудов*. Москва: Лесная промышленность; 1990. с. 11-25.

References

1. Budyka SKh, Manukhin GA, Pimenov AN. *Vodnyy transport lesa i mekhanizatsiya lesosplavnykh rabot*. [Water transport of forests and mechanization of logging operations]. Minsk: Vysheishaja shkola; 1970. 439 p. Russian.
2. Vinogradov AY, Vinogradova TA, Kadatskaya MM, Sazonova SI, Hvalev SV. Environmental im-pact of using small river for log driving. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*. 2019;1(4):533-554. DOI: 10.34753/HS.2019.1.4.533. Russian.
3. Vinogradov AY, Rzhavtsev AA, Bacherikov IV, Hvalev SV, Obyazov VA, Sazonova SI, Kadatskaya MM, Parfenov EA, Vinogradov IA. On the applicability of loose logs driving on small rivers in modern conditions. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoi Akademii*. 2020;231:110-130. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.110-130. Russian.
4. Murashova OV. *Hidrodinamicheskie kharakteristiki lesosplavnykh ploskikh splotochnykh edinit*. [Hydrodynamic characteristics of flat alloy rafting units] [PhD thesis]. Arkhangel'sk: [publisher unknown]; 2007. 19 p. Russian.
5. Korpachev VP, Malinin LI, Chebykh MM, Ryabokon' YuI, Perezhilin AI. The effect of flooded and floating wood pulp on water bodies. *Conifers of the boreal zone*, 2008;25(3-4):340-343. Russian.
6. Simonenkov MV, Salminen EO, Bacherikov IV. Basics for developing a system for monitoring movement and piecewise automatic identification of round timber in the supply chain. *Resources and Technology*. 2016;13(4):12-26. Russian.
7. Sedell JR, Leone FN, Duval WS. Water Transportation and Storage of Logs. Chapter 9. Influences of Forest and Rangeland Management on Salmonid Fishes and Their Habitats. *American Fisheries Society Special Publication*. 1991;19:325-368.
8. Tkachev BP, Bulatov VI. *Malye reki. Sovremennoe sostoianie i ekologichskie problem*. [Small rivers: current status and environmental problems: an analytical review]. Novosibirsk: [publisher unknown]; 2002. 114 p. Russian.
9. Azarov VI, Burov AV, Obolenskaya AV. *Khimia drevesiny I sinteticheskikh polimerov*. [Chemistry of wood and synthetic polymers]. Saint-Petersburg: Izdatelstv' Sankt-Peterburgskoi Lesotekhnicheskoi akademii; 1999. 628 p. (Russian).
10. Poleva AO. Experimental studies to assess the impact of flooded wood on the water quality of the reservoir. *Bulletin of the Saint Petersburg Forestry Academy*. 2012;199:73-80. Russian.
11. Fomintsev MN, Kuleshova TV, Muraveinik AS. On the effect of timber rafting on water bodies and possible criteria for its environmental sustainability. In: *Mekhanizatsiya vodnogo transporta lesa*. [Mechanization of forest water transport]. Moscow: Lesnaya promyshlennost; 1990. p. 11-25. Russian.

Статья поступила в редколлегию 18.08.2020.
Received by editorial board 18.08.2020.

УДК 611.41:614.871:621.039.58(476)

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА «СИСТЕМА ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. ОРШИ И ОРШАНСКОГО РАЙОНА»

*М. Г. ГЕРМЕНЧУК¹⁾, В. В. ЖУРАВКОВ¹⁾, Т. П. КОНОНЧУК²⁾,
Т. А. ШИДЛОВСКАЯ²⁾, С. Е. ГОЛОВАТЫЙ¹⁾, Б. А. ТОНКОНОГОВ¹⁾*

¹⁾Международный государственный экологический институт имени
А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь,
ул. Коллекторная, 10, 220004, г. Минск, Беларусь

Представлены концептуальные подходы по созданию информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района». Работа выполнялась в рамках мероприятия «Создание системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» подпрограммы 5 «Обеспечение функционирования, развития и совершенствования Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь» Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2016–2020 гг., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17.03.2016 № 205. Разработана Концепция на основе современных информационных систем, наилучших международных практик и с выбором оптимальных решений по поэтапному расширению информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района».

Ключевые слова: система онлайн-мониторинга; компоненты окружающей среды; ГИС-технологии; методы моделирования загрязнения окружающей среды.

Образец цитирования:

Герменчук МГ, Журавков ВВ, Конончук ТП, Шидловская ТА, Головатый СЕ, Тонконогов БА. Концептуальные подходы к разработке информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района». *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2020;3:30–40.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-30-40>

For citation:

Germenchuk MG, Zhuravkov VV, Kononchuk TP, Shidlovskaya TA, Golovaty SE, Tonkonogov BA. Conceptual approaches for creating an information resource «Online monitoring system of the condition of the environment Orshi and Orshan district». *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2020;3:30–40. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-30-40>

Авторы:

Мария Григорьевна Герменчук – кандидат технических наук, доцент; заместитель директора по научной работе.

Владислав Владимирович Журавков – кандидат биологических наук, доцент; заведующий кафедрой информационных технологий в экологии и медицине.

Татьяна Петровна Конончук – начальник главного управления экологической политики, международного сотрудничества и науки.

Татьяна Анатольевна Шидловская – главный специалист управления аналитической работы, науки и информации главного управления экологической политики, международного сотрудничества и науки.

Сергей Ефимович Головатый – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заведующий кафедрой экологического мониторинга и менеджмента.

Борис Александрович Тонконогов – кандидат технических наук, доцент; заведующий учебно-методической лабораторией инновационных технологий образования.

Authors:

Mariya G. Germenchuk, PhD (engineering), docent; deputy director for research.

margermen@gmail.com

Vladislav V. Zhuravkov, PhD (biology), docent; head at the department of information technologies in ecology and medicine.

zhuravkov@iseu.by

Tatyana P. Kononchuk, head of the main department of environmental policy, international cooperation and science.

daspriroda@tut.by

Tatyana A. Shidlovskaya, chief specialist of the department of analytical work, science and information of the main directorate of environmental policy international cooperation and science.

daspriroda@tut.by

Sergey E. Golovaty, doctor of science (agricultural), professor; head at the department of environmental monitoring and management.

kem@iseu.by

Boris A. Tonkonogov, PhD (engineering), docent; head of educational and methodical laboratory of innovative educational technologies.

boristonkonogov@iseu.by

CONCEPTUAL APPROACHES FOR CREATING AN INFORMATION RESOURCE «ONLINE MONITORING SYSTEM OF THE CONDITION OF THE ENVIRONMENT ORSHI AND ORSHAN DISTRICT»

M. G. GERMENCHUK^a, V. V. ZHURAVKOV^a, T. P. KONONCHUK^b,
T. A. SHIDLOVSKAYA^b, S. E. GOLOVATYI^a, B. A. TONKONOGOV^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute,
Belarusian State University
23/1 Daŭhabrodskaja, Minsk 220070, Belarus

^bMinistry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus,
10 Kalektarnaja, Minsk 220004, Belarus

Corresponding authors: M. G. Germenchuk (margermen@gmail.com), V. V. Zhuravkov (zhuravkov@iseu.by)

The article presents conceptual approaches to creating the information resource «System of online monitoring of the state of the environment components of the city of Orsha and the Orsha district». The work is carried out as part of the event «Creating a system for online monitoring of the state of the environment components of the city of Orsha and the Orsha district» of subprogram 5 «Ensuring the functioning, development and improvement of the National Environmental Monitoring System in the Republic of Belarus» of the State program «Environmental protection and sustainable use of natural resources» for 2016–2020, approved by the Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated 03.17.2016 No. 205.

As a result of the work, a Concept was developed on the basis of modern information systems, international best practices and with the choice of optimal solutions for the phased expansion of the information resource «System for online monitoring of the state of the environment components of the city of Orsha and Orsha district».

Keywords: online monitoring system; components of environment; GIS technologies; methods of environmental pollution modeling.

Введение

Стратегическая цель развития информатизации в Республике Беларусь на 2016–2022 гг., утвержденная на заседании Президиума Совета Министров от 03.11.2015 № 6, – это улучшение условий, содействующих трансформации сфер человеческой деятельности под воздействием информационно-коммуникационных технологий, включая формирование цифровой экономики, развитие информационного общества и совершенствование электронного правительства Республики Беларусь.

В соответствии со Стратегией развития информатизации в Республике Беларусь на 2016–2022 гг., в области мониторинга окружающей среды выделяют следующие направления [1]:

1. Создание информационного ресурса, который позволит обеспечить доступ пользователей к информации для многократного использования в различных целях, на базе существующих кадастров с применением онлайн-инструментов; данных производственного контроля, локального мониторинга окружающей среды, контроля в области охраны окружающей среды и санитарно-гигиенического мониторинга; ГИС-технологий.

2. Расширение доступности субъектов социально-экономической деятельности к эколого ориентированной информации путем совершенствования информационных ресурсов и информационных систем.

3. Создание комплексного информационного ресурса, интегрированного с действующими ресурсами.

В ключевые задачи, запланированные на 2016–2022 гг., входит:

– создание единой многоуровневой региональной Web-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;

– создание национального портала открытых данных как основного инструмента организации и распространения на их основе электронных услуг.

В настоящее время динамичное и успешное развитие Оршанского р-на в значительной степени зависит от эффективности работы органов местного управления и самоуправления, предприятий и служб, обеспечивающих решение вопросов местного значения, исходя из общегосударственных и локальных интересов населения региона. При этом повышаются требования к информационному обеспечению, которое должно опираться на современные технологии сбора и обработки информации, необходимой для решения многочисленных управленческих и производственных задач.

Для совершенствования информационного обеспечения органов государственной и местной власти, организаций и служб Оршанского р-на необходимо создание развитой справочно-информационной системы

на основе современных ГИС- и Web-технологий в виде информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» [1].

Для органов государственной и местной власти указанный информационный ресурс представляет собой инструмент поддержки принятия управленческих решений на основе использования государственных информационных ресурсов.

Для руководителей и специалистов Витебского областного и Оршанского районного исполнительных комитетов, подведомственных и иных организаций, выполняющих свои функции на территории района, разрабатываемый информационный ресурс 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 [1].

Именно в этом заключается актуальность и практико-ориентированное значение мероприятия по созданию информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района».

Исходными данными для выполнения работы являются:

- нормативные правовые и технические нормативные 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 (далее – НСМОС);
- иные данные, полученные от Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, его подчиненных организаций, научных организаций и учреждений, главного информационно-аналитического центра (далее – ГИАЦ) НСМОС [2], информационно-аналитического центра (далее – ИАЦ) атмосферного воздуха, мониторинга поверхностных вод, локального мониторинга и мониторинга подземных вод.

Материалы и методы исследования

Анализ существующей системы мониторинга окружающей среды и система локального мониторинга окружающей среды г. Орши и Оршанского р-на. Современная система мониторинга окружающей среды, сбор информации о состоянии и загрязнении г. Орши и Оршанского р-на базируется на упорядоченной системе сбора информации о состоянии компонентов окружающей среды, получаемой с пунктов наблюдений стационарной сети по долговременным программам, включенным в Государственный реестр [3–5].

На территории Оршанского р-на Витебской области локальный мониторинг окружающей среды проводится по четырем объектам наблюдений:

- «выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками» (далее – «выбросы»);
- «сточные воды, сбрасываемые в поверхностные водные объекты или систему канализации населенных пунктов» (далее – «сточные воды»);
- «поверхностные воды в фоновых створах, расположенных выше по течению мест сброса сточных вод, и контрольных створах, расположенных ниже по течению мест сброса сточных вод» (далее – «поверхностные воды»);
- «подземные воды в районе расположения выявленных или потенциальных источников их загрязнения» (далее – «подземные воды») на 16 объектах воздействия (в 39 пунктах наблюдений) 7 природопользователей.

Данные локального мониторинга передаются в ИАЦ локального мониторинга, действующего на базе ГУ «Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды» (далее – РЦАК), в электронном виде и на бумажном носителе по утвержденным Инструкцией формам.

Данные локального мониторинга по объекту наблюдения «выбросы» свидетельствуют о том, что в 2019 г. предприятия Оршанского р-на работали в стабильном режиме. Концентрации загрязняющих веществ от источников вредного воздействия находятся в пределах нормативов допустимых выбросов, установленных разрешением на выбросы загрязняющих веществ или комплексным природоохранным разрешением.

По данным локального мониторинга по объекту наблюдения «сточные воды», превышения нормативов допустимого сброса, установленных спецводопользованием, отмечались только на выпуске сточных вод в ручей Копыль (р. Днепр) филиала «Оршаводоканал» УП «Витебскоблводоканал» Оршанского р-на.

По данным локального мониторинга по объекту наблюдения «поверхностные воды» отмечались превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в поверхностных водных объектах, а также соотношения концентраций загрязняющих веществ в контрольном створе к концентрациям в фоновом створе более 1 в районе выпусков сточных вод филиала «Оршаводоканал» УП «Витебскоблводоканал» Оршанского р-на в ручей Копысь (р. Днепр) и в оз. Ореховское и филиала «Оршаводоканал» УП «Витебскоблводоканал» г. Орши в р. Днепр.

По данным локального мониторинга по объекту наблюдения «подземные воды» воздействие отмечалось на иловых площадках филиала «Оршаводоканал» УП «Витебскоблводоканал» г. Орши.

В соответствии с установленным Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь порядком (приказ от 18.03.2020 № 84-ОД «О некоторых вопросах отбора проб и проведения измерений»), РЦАК осуществляет отбор проб и проведение измерений в области охраны окружающей среды на территории г. Орши и Оршанского р-на по заявкам Витебского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды в отношении следующих объектов: выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и мобильных источников выбросов; сбросы сточных вод в поверхностные водные объекты, в том числе до и после прохождения через очистные сооружения сточных вод; земли (включая почвы) в районе расположения выявленных или потенциальных источников их загрязнения.

Мониторинг атмосферного воздуха. Мониторинг атмосферного воздуха г. Орши проводится на трех пунктах наблюдений с дискретным режимом отбора проб: № 1 – ул. Молодежная, № 2 – ул. Ленина, № 3 – ул. Пакгаузная. Республиканским центром по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (далее – Белгидромет) осуществляется измерение концентрации твердых частиц (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль), серы диоксида, углерода оксида, азота диоксида, формальдегида, метеорологических параметров.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются предприятия теплоэнергетики, газовой, легкой промышленности и автотранспорт.

Перечень находящихся в ведении Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь пунктов наблюдений радиационного мониторинга утвержден постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 08.04.2014 № 20.

Технология и регламент работ по проведению радиационного мониторинга изложены в Инструкции о порядке проведения наблюдений за естественным радиационным фоном и радиоактивным загрязнением атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод на пунктах наблюдений радиационного мониторинга, утвержденной приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18.07.2014 № 230.

В Оршанском р-не расположен 1 пункт наблюдений за радиоактивным загрязнением атмосферного воздуха, где ежедневно измеряется уровень мощности дозы (МД) гамма-излучения, мкЗв/ч. По данным Белгидромета, результаты, полученные и в 1 квартале 2020 г. и за весь период наблюдений, свидетельствуют, что превышений МД над естественным радиационным фоном не зафиксировано: уровень МД на данном пункте наблюдений не превышает 10 мкЗв/ч.

В ходе стационарных наблюдений, проводившихся большую часть года, состояние атмосферного воздуха оценивалось как стабильно хорошее. Ухудшение качества воздуха в летний период было связано с повышенным содержанием в воздухе формальдегида.

Максимальные показатели из разовых концентраций твердых частиц (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль), азота диоксида и углерода оксида составляли 0,7 ПДК. Средний уровень загрязнения воздуха азота диоксидом в зимний период был в 2 раза выше, чем летом. Некоторое увеличение концентраций твердых частиц отмечено в периоды с дефицитом осадков. Сезонные изменения концентраций углерода оксида незначительны. Содержание в воздухе формальдегида определяли только в июне–августе. В 37 % проанализированных проб зафиксированы концентрации выше 0,5 ПДК.

Существенное увеличение уровня загрязнения воздуха формальдегидом зафиксировано во второй декаде июля, первой и второй декадах августа. Больше всего загрязнен воздух формальдегидом в районе ул. Пакгаузная. Доля проб с концентрациями выше максимальной разовой ПДК в указанном районе составляла 12 %. Максимальная из разовых концентраций формальдегида в районе ул. Пакгаузная превышала норматив качества в 2,8 раза. Превышения норматива качества по формальдегиду (в 1,6–1,9 раза) зафиксированы также в районах улиц Молодежная и Ленина. Содержание в воздухе свинца и кадмия сохранялось стабильно низким. В последние годы прослеживается тенденция снижения содержания в воздухе свинца. Динамика среднегодовых концентраций углерода оксида очень неустойчива.

Мониторинг земель. В рамках проведения мониторинга земель на территории г. Орши и Оршанского р-на проводятся наблюдения за химическим загрязнением земель. Осуществляются эти мероприятия Белгидрометом.

На территории г. Орши проводятся наблюдения за химическим загрязнением земель. В пробах почвы анализируется содержание таких тяжелых металлов, как кадмий, цинк, свинец, медь, никель, марганец, а также сульфатов, нитратов, нефтепродуктов, бензо(а)пирена, изучается кислотность почв (рН). Периодичность наблюдений составляет 1 раз в 5 лет. По данным Белгидромета, в г. Орше наблюдения проводились в 2006, 2010 и 2015 гг.

На территории Оршанского р-на располагается один из девяти пунктов наблюдений за химическим загрязнением земель на фоновых территориях. Определяется содержание в почве тяжелых металлов (общее содержание), сульфатов, нитратов, рН. Периодичность наблюдений составляет 1 раз в 6 лет. Наблюдения проводились в 2014 г.

Химические загрязнения земель в г. Орше определялись на тридцати пяти пунктах наблюдений, расположенных в разных функциональных зонах города. Их результатом являются первичные данные, полученные на пунктах наблюдений. В соответствии с инструкцией о порядке проведения наблюдений за химическим загрязнением земель, первичные данные, а также данные о местоположении пунктов наблюдений хранятся в базе данных уполномоченной государственной организации – Белгидромета. В ИАЦ мониторинга земель результаты наблюдений предоставляются в виде аналитической экологической информации, полученной в результате систематизации и анализа первичных данных.

Ежегодно результаты проведения мониторинга земель предоставляются в ГИАЦ для публикации в сборнике «Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: результаты наблюдений». В электронном виде информация также размещается на странице ИАЦ мониторинга земель на сайте УП «Проектный институт Белгипрозем» в разделе «Результаты наблюдений» [2; 6–7].

Мониторинг поверхностных и подземных вод. Мониторинг поверхностных вод в Оршанском р-не проводится на реках Адров, Днепр выше и ниже г. Орши, озер Девинское и Ореховское.

В табл. 1 представлены данные о пунктах наблюдений государственной сети наблюдений за состоянием поверхностных вод (данные Белгидромета).

Таблица 1

Пункты наблюдений государственной сети наблюдений за состоянием поверхностных вод

Table 1

Observation points of the state observation network surface waters

Наименование поверхностного водного объекта	Местонахождение	
	Область, район, населенный пункт	Географические координаты
оз. Ореховское	Витебская, Оршанский, в 4,0 км от г. п. Ореховск	54°43'19.39" СШ 30°28'21.59" ВД
оз. Ореховское	Витебская, Оршанский, в 2,1 км от г. п. Ореховск	54°41'55.59" СШ 30°27'56.68" ВД
оз. Девинское	Витебская, Оршанский, в 3,6 км от н. п. Замосточье	54°48'27.4" СШ 30°19'59.57" ВД
оз. Девинское	Витебская, Оршанский, в 1,1 км от н. п. Замосточье	54°47'15.95" СШ 30°21'31.6" ВД

Мониторинг подземных вод представляет собой систему регулярных наблюдений за их состоянием по гидрогеологическим, гидрохимическим и другим показателям, а также оценку и прогноз его изменения в целях своевременного выявления негативных процессов, предотвращения их вредных последствий и определения эффективности мероприятий, направленных на рациональное использование и охрану подземных вод. Мониторинг подземных вод включает изучение гидрогеохимического и уровневого режима подземных вод.

Количество и местонахождение пунктов наблюдений локального мониторинга загрязнения подземных вод, периодичность наблюдений и перечень юридических лиц, осуществляющих проведение локального мониторинга окружающей среды Оршанского р-на Витебской обл., представлены в табл. 2 (данные Белгидромета).

Основным источником загрязнения подземных вод является сельскохозяйственная деятельность, связанная с применением минеральных удобрений и средств защиты растений, отражением чего служат повышенные величины общей жесткости, общей минерализации, концентрации соединений азота, хлоридов.

По данным локального мониторинга по объекту наблюдения «подземные воды», воздействие отмечалось на иловых площадках филиала «Оршаводоканал» УП «Витебскводоканал» г. Орши.

Таблица 2

Объект наблюдений «подземные воды в районе расположения выявленных или потенциальных источников их загрязнения»

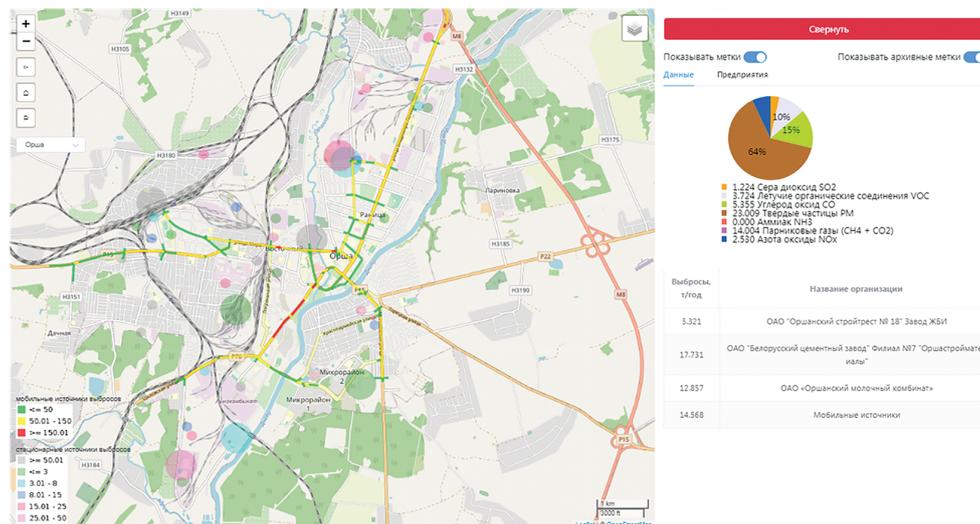
Table 2

Observation object «groundwater in the area of location of identified or potential sources of their pollution»

№ п/п	Наименование юридического лица, осуществляющего локальный мониторинг	Пункты наблюдений локального мониторинга		Периодичность наблюдений
		количество	местонахождение, источник вредного воздействия на окружающую среду	
1	Филиал «Оршанская ТЭЦ» Витебского республиканского унитарного предприятия электроэнергетики «Витебскэнерго»	5	Фоновая и наблюдательные скважины, шламоотвал, промышленная площадка предприятия, г. Орша, ул. Южная, 1	1 раз в год
2	Коммунальное унитарное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства «Оршаводоканал» Оршанского райисполкома	3	Фоновая и наблюдательные скважины, иловые площадки в черте г. Орши	1 раз в год
3	Дочернее коммунальное специализированное автотранспортное унитарное предприятие по санитарной очистке города «Оршанская спецавтобаза»	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Орши, н. п. Белево	1 раз в год
		6	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. п. Ореховск	1 раз в год

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание и наполнение информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района». Он 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 (54°30' северной широты и 30°24' восточной долготы) и Оршанского р-на Витебской обл. Республики Беларусь (рис. 1).



a/a

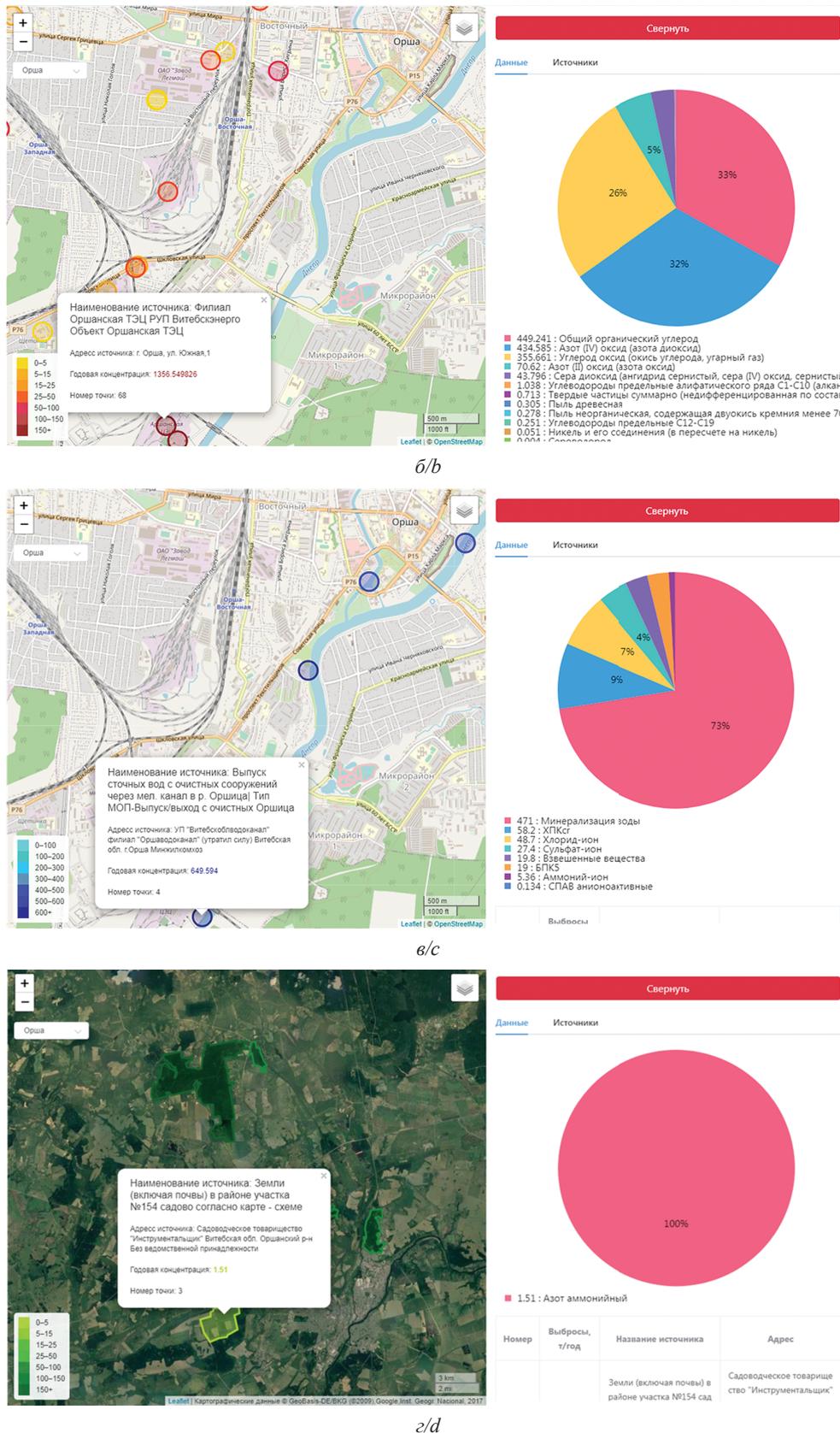


Рис. 1. Пример (пилотный вариант) Web-ориентированного картографического интерфейса информационного ресурса: а) информация о выбросах в воздушную среду и загрязнениях транспортных магистралей; б) результаты мониторинга воздушной среды; в) результаты мониторинга водной среды; г) результаты мониторинга почв с использованием растровой подложки Google Maps

Fig. 1. An example (pilot version) of a Web-based cartographic interface of an information resource: a) information on air emissions and pollution of transport routes; b) results of air monitoring; c) the results of monitoring the aquatic environment; d) the results of soil monitoring using the raster background Google Maps

Основным содержанием вышеуказанного ресурса является информация об источниках выбросов – технологическом и ином оборудовании, технологических процессах, машинах, механизмах, в процессе работы которых осуществляется выброс загрязняющих веществ; объектах воздействия на окружающую среду – местах нахождения или сосредоточения источников выбросов (инженерные сооружения, в том числе дороги, производственные здания и иные подобные объекты); загрязняющих веществах – химических веществах или их смесях и микроорганизмах, наличие которых оказывает вредное воздействие на окружающую среду.

Структура базы данных информационного ресурса. Структура (модель данных) базы данных информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» включает в себя следующие объекты данных (таблицы и поля): районы, населенные пункты, предприятия (обособленные подразделения (филиалы) и производственные площадки), являющиеся объектами природопользования и имеющие действующие выданные разрешения на выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух; юридические лица (обособленные подразделения), осуществляющие локальный мониторинг; объекты воздействия загрязняющих веществ и парниковых газов (жилые массивы, оздоровительные учреждения, места и зоны отдыха и так далее); *нормативы допустимых* выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов от стационарных источников в атмосферный воздух; превышения природопользователями нормативов допустимого сброса по объекту наблюдений «Сточные воды»; превышения природопользователями нормативов ПДК загрязняющих веществ в поверхностных водных объектах и соотношения концентраций загрязняющих веществ в контрольном створе к концентрациям в фоновом створе более 1 (соотношения $C_k/C_\phi > 1$) по объекту наблюдений «Поверхностные воды»; соотношение фактической концентрации в наблюдательной скважине к фоновой по объекту наблюдений «Подземные воды» более 1 (соотношения $C_n/C_\phi > 1$); результаты мониторинга (отбор проб и проведение измерений) выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников, сбросов загрязняющих веществ в составе сточных вод, выбросов загрязняющих веществ от мобильных источников и земель (включая почвы); результаты радиационного мониторинга радиационного фона и радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха, почвы и поверхностных и подземных вод; транспортные потоки и режимы движения и др. (табл. 3).

Представленная структура содержит объекты данных, предназначенные для динамического хранения информации типа массивов в формате JSON, например, для значений концентрации различных загрязняющих веществ, а также обладает универсальностью и способностью к дальнейшей модификации и масштабированию.

Свойства и атрибуты информационных слоев информационного ресурса. Информационные слои информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района», совмещенные с картографическими растровыми и векторными данными, хранятся под управлением сервера баз данных и характеризуются свойствами и атрибутами с определенными стилями отображения данных. Они соответствуют геопозиции стационарных источников выбросов; геометрии и параметрам транспортной сети; характеристикам транспортных потоков; формированию и отображению картографических данных; выбору и обработке данных с помощью различных инструментов; отображению меток и добавлению комментариев и т. д.

Порядок эксплуатации и функциональные возможности информационного ресурса. Согласно применению информационных систем и технологий, информационный ресурс «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» представляет собой программный комплекс в виде единого *одностраничного* Web-приложения, разработанного с использованием определенного стека технологий и платформ (фреймворков), библиотек и форматов. Они упрощают создание и поддержку технически сложных и нагруженных *серверных* проектов, ориентированных на удаленную работу с картографическими данными: Node.js – программная платформа, разработанная на основе базового программного обеспечения (движка) Google Chrome V8 и транслирующая узкоспециализированный язык JavaScript в язык общего назначения; Vue.js – JavaScript-фреймворк с открытым исходным кодом для создания пользовательских интерфейсов; GeoServer – сервер с открытым исходным кодом, предназначенный для размещения географических данных; PostgreSQL / PostGIS – полнофункциональная, объектно-реляционная, свободно распространяемая система управления базами данных с открытым исходным кодом; GPX – текстовый формат хранения и обмена данными GPS, основанный на стандарте XML и являющийся свободно распространяемым.

Ввод и манипуляция данными информационного ресурса осуществляется через базу данных с использованием определенной регистрационной информации (логина и пароля), разграничивающей права пользователей по функциональным признакам для формирования соответствующих запросов, визуализации данных и прочих действий.

Сокращенная (сводная) структура данных для наполнения базы данных информационного ресурса

Table 3

Abbreviated (summary) data structure for filling the information resource database

Таблицы	Поля	Единицы измерения
Предприятия, являющиеся природопользователями и имеющие разрешения на выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух, разрешения на специальное водопользование и комплексные природоохранные разрешения	название предприятия	текст
	юридический адрес	текст
	валовый выброс веществ в атмосферный воздух	т / год
	содержание (доля) веществ (химических соединений) в валовом выбросе	т / год (%)
	объем сброса сточных вод на поверхностные водные объекты, поля фильтрации, песчано-гравийные фильтры и так далее	тысяч м ³ / год
	географические координаты	широта, долгота
Места и результаты мониторинга выбросов (источники и почвы)	название места	текст
	название вещества	текст
	концентрация вещества	мкг / м ³
	среднегодовая концентрация вещества	мкг / м ³
	предельно допустимая концентрация вещества	мкг / м ³
	дата наблюдения (отбора проб)	дата
Места и результаты мониторинга сбросов (сточные, поверхностные и подземные (грунтовые) воды)	название места	текст
	название вещества	текст
	концентрация вещества	мкг / м ³
	среднегодовая концентрация вещества	мкг / м ³
	предельно допустимая концентрация вещества	мкг / м ³
	дата наблюдения (отбора проб)	дата
Места и результаты мониторинга радиационного фона и радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха, почвы и воды	название места	текст
	уровень мощности дозы гамма-излучения	мкЗв / ч
	периодичность наблюдений	раз в год (месяц, неделю или день)
	географические координаты	широта, долгота
Нормативы допустимых выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух	название вещества	текст
	код	текст (число)
	класс опасности	текст (число)
	норматив предельно допустимого выброса	число

Исключение возможности несанкционированного доступа к системе с целью предотвращения утечки, хищения, искажения, подделки и уничтожения информации обеспечивается штатными средствами и методами, предусмотренными используемыми операционными системами. Каждый пользователь проходит аутентификацию (ввод логина и пароля). Права доступа пользователей к информационным ресурсам ограничены в соответствии с выполняемыми функциями. Антивирусная защита обеспечивается периодически обновляемыми антивирусными программными средствами, установленными на сервере (серверах). Угрозы со стороны внешнего вмешательства из глобальной сети Internet блокируются специальными программно-техническими средствами, апробированными в мировой практике. Информация о предоставленном логине, пароле, фамилии, имени, отчестве и должности заносится в журнал администрирования в бумажном или электронном виде.

Для проведения аналитических работ с использованием системы (выборка по запросам, построение графиков и диаграмм и так далее) уполномоченные сотрудники получают доступ к соответствующим формам создания запросов и отчетов. Технические аспекты формирования отчетов и запросов регламентируются

и утверждаются. При использовании в информационно-аналитических материалах информации, полученной из системы, ссылка на нее обязательна. Доступ к информации сторонним (доверенным) организациям и лицами осуществляется путем получения информации по запросу или по индивидуальному договору (в случае возможности и целесообразности) в порядке и на основаниях, предусмотренных действующим законодательством.

В случае необходимости внесения дополнений и изменений, например в формы отчетности, и введения новых показателей или параметров предложения формулируются и утверждаются в установленном порядке. Изменения в формы отчетности или структуру системы вносятся организацией-разработчиком в порядке, оговоренном договорными отношениями на сопровождение программного средства, в рамках действующего законодательства. Условия обновления программного обеспечения или установка дополнительных программных модулей системы оговариваются также в рамках соответствующего договора.

Первичное наполнение слоев информационного ресурса осуществляется организацией-разработчиком. Актуализация информационного содержания системы утверждается в установленном порядке и осуществляется специалистами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь в рамках их должностных инструкций (обязательств) с периодичностью, соответствующей, как правило, периодичности проведения различных видов мониторинга согласно специальным нормативным правовым документам. Указанная информация собирается от подчиненных Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь организаций в виде отчетов (файлов) установленных форм (форматов), соответствующих полям таблиц базы данных. Отчеты могут содержать также статистическую (приближенную) количественную и качественную информацию, например, о транспортных потоках и режимах движения. Также к указанным мероприятиям могут быть привлечены специалисты организации-разработчика системы на договорной основе.

Контроль и ответственность за своевременность внесения данных в систему осуществляет представитель Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь в соответствии с установленными процедурами. Контроль корректности внесения данных осуществляет уполномоченная организация в соответствии с договорными обязательствами. Руководители соответствующих территориальных органов несут ответственность за организацию работы по сбору и передаче данных о выбросах и сбросах от стационарных и мобильных источников и результатах мониторинга. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь несет ответственность за организацию работы по внесению информации в систему и за ее функционирование в целом.

Организация-разработчик системы перед вводом программного средства в опытную эксплуатацию проводит серию предварительных испытаний (тестирований) с целью определения и исправления различных ошибок и недочетов в рамках договорных обязательств. После ввода программного средства в опытную эксплуатацию должна в течение 6 месяцев устранить в максимально короткие сроки выявленные и сформулированные пользователями замечания, сбои и неисправности за свой счет. Организации-разработчику в течение 12 месяцев необходимо обеспечивать информационную, консультационную и техническую поддержку и сопровождение, а также (при необходимости) проводить обучение персонала.

Техническими специалистами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь в рамках их должностных инструкций (обязательств) с периодичностью не реже 6 месяцев рекомендуется обновление применяемых программных продуктов (инструментов) – Node.js, Vue.js, GeoServer и PostgreSQL / PostGIS – до актуальной рабочей версии. Данное условие рекомендовано соблюдать из соображений безопасности, так как в обновлениях могут содержаться исправления программных ошибок, которые допущены не по вине исполнителя. Условия обновления программного обеспечения или установка дополнительных программных модулей системы также могут быть оговорены в договоре на сопровождение программного средства в рамках действующего законодательства.

Заключение

При выполнении мероприятия подпрограммы 5 «Обеспечение функционирования, развития и совершенствования Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь» Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2016–2020 гг. нами разработана Концепция по созданию информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района». Она функционирует на основе современных информационных систем, наилучших международных практик, а также с выбором оптимальных решений по расширению указанного информационного ресурса по всем средам и элементам воздействия на окружающую среду в пределах г. Орши и Оршанского р-на, включая водные ресурсы, земли (почвы) и т. д. Данная система 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 ретроспективных и хронологических (статистических) наблюдений и анализа. Впоследствии она 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 с целью уточнения различных характеристик и состояния объектов мониторинга, что потребует проектирования, реализации и адаптации (интеграции) дополнительных (специализированных) программно-аппаратных модулей и соответствующего программного обеспечения.

Библиографические ссылки

1. Стратегия развития информатизации в Республике Беларусь на 2016–2022 годы [Интернет]. Утверждена на заседании Президиума Совета Министров от 03.11.2015, № 26. [Прочитано 25.08.2020 г.]. Доступно по: www.e-gov.by.
2. Сайт ГИАЦ Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. [Интернет]. [Прочитано 25.08.2020 г.]. Доступно по: <http://www.nsmos.by/>.
3. 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». [Интернет]. [Прочитано 25.08.2020 г.]. Доступно по: https://kodeksy-by.com/norm_akt/source/205-17.03.2016.
4. 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. *Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь*. 2006;69:1/7482.
5. Об утверждении Государственной программы обеспечения функционирования и развития Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь на 2011–2015 годы: Указ Президента Республики Беларусь, 13.06.2011, № 44. В редакции Указа Президента Республики Беларусь от 31.01.2013, № 47. [Интернет]. *ИПС «Эталон»* [Прочитано 25.08.2020 г.].
6. 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, 28.12.2004, № 43. В редакции постановления от 30.05.2008, № 56. *ИПС «Эталон»*. [Интернет]. Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. Минск:[б. н.]; 2012. [Прочитано 25.08.2020 г.].
7. Кузьмина СИ, Комоско ИВ, редакторы. *Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений*. 2011. Минск: БелНИЦ «Экология»; 2012. 320 с.

References

1. The development strategy of informatization in the Republic of Belarus for 2016–2022. [Internet]. Approved at a meeting of the Presidium of the Council of Ministers dated 03.11.2015 No. 26. [Cited 2020 August 25]. Available from: www.e-gov.by.
2. GIAC website of the National Environmental Monitoring System in the Republic of Belarus. [Internet]. [Cited 2020 August 25]. Available from: <http://www.nsmos.by/>.
3. Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated 17.03.2016 No. 205 On approval of the State program «Environmental protection and sustainable use of natural resources for 2016–2020». [Internet]. [Cited 2020 August 25]. Available from: https://kodeksy-by.com/norm_akt/source/205.
4. On approval of the State Program for the Development of the National Environmental Monitoring System in the Republic of Belarus for 2006–2010. Decree of the President of the Republic of Belarus, 2006 April 18, No. 251. *Natsionalnyy reestr pravovyykh aktov Respubliki Belarus* [National Register of legal acts of the Republic of Belarus]. 2006;69:1/7482. Russian.
5. On approval of the State program for ensuring the functioning and development of the National Environmental Monitoring System in the Republic of Belarus for 2011–2015: Decree of the President of the Republic of Belarus, 2011 June 13, No. 244. As amended. Decree of the President of the Republic of Belarus dated 2013 January 31 No. 47. *IPS Etalon*. [Internet]. [Cited 2020 August 25].
6. On approval of the Instructions on the exchange of environmental information in the National Environmental Monitoring System in the Republic of Belarus. Decree of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, Dec 28 2004, No. 43. As amended by the resolution of May 30, 2008, No. 56. *IPS Etalon* [Internet]. National legal inform center of the Republic of Belarus. Minsk: [publisher unknown]; 2012. [Cited 2020 August 25].
7. Kuzmina SI, I.V. Komosko IV, editors. *Natsionalnaya sistema monitoring okruzhajushchey sredy Respubliki Belarus. Rezultaty nabludeniy, 2011*. [National system of environmental monitoring of the Republic of Belarus. Results of observations, 2011]. Minsk: BelSIC Ecology; 2012. 320 p. Russian.

Статья поступила в редакцию 01.09.2020.
Received by editorial board 01.09.2020.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В СИСТЕМЕ «ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ – ВОДНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ» РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

А. И. ПОЗДНЯКОВА¹⁾

¹⁾Белорусский государственный институт метрологии,
ул. Старовиленский тракт, 93, 220053, г. Минск, Беларусь

Показаны результаты, полученные в 2017 г., измерений тяжелых металлов в донных отложениях и водной растительности, отобранные в водных объектах в зоне наблюдения Белорусской АЭС. Приведены показатели измерения концентраций 10 тяжелых металлов, включенных Национальной системой мониторинга окружающей среды (НСМОС) Республики Беларусь и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в состав контролируемых загрязнителей. Измерения проводились на базе РУП «Научно-практический центр гигиены». Представлен анализ измерения концентраций тяжелых металлов, проведено их сравнение с региональными кларками и действующими нормативами (предельно-допустимыми концентрациями). Измерено содержание подвижных форм тяжелых металлов в донных отложениях и водной растительности, рассчитан их коэффициент подвижности в донных отложениях. Проведена оценка коэффициентов биологического поглощения тяжелых металлов в образцах водной растительности и смешанного травостоя, а также биогеохимической активности отдельных видов водной растительности (Элодея канадская (*Elodea canadensis*), Шелковник волосолистный (*Batrachion trichophyllum*), Манник плавающий (*Glyceria fluitans*)).

Ключевые слова: донные отложения; водная растительность; фоновый мониторинг тяжелые металлы; ПДК; кларк; коэффициент подвижности; коэффициент биологического поглощения; коэффициент биогеохимической активности; Белорусская АЭС.

HEAVY METALS IN THE SYSTEM BOTTOM SEDIMENTS – WATER VEGETATION RIVER ECOSYSTEMS IN THE SUPERVISED AREA OF THE BELARUSIAN NUCLEAR POWER PLANT

A. I. POZDNIAKOVA^a

^aBelarusian State Institute of Metrology, 220053,
93 Staravilenski trakt Street, Minsk 220053, Belarus

The article describes and presents the main results of heavy metals measurements in bottom sediments sampled in surface waters in the water objects of the Belarusian NPP, obtained in 2017. There are presented the measuring concentrations of 10 heavy metals included in the controlled pollutants by the National Environmental Monitoring System (NEMS) of the Republic of Belarus and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) of the World Health Organization (WHO). The measurements were carried out on the basis of the RUE «Scientific and Practical Center of Hygiene». There is presented the analysis of the results and comparison with regional clarks and current standards (maximum permissible concentrations). The containing of heavy metals mobile forms was measured, and the mobility coefficient of heavy metals

Образец цитирования:

Позднякова АИ. Тяжелые металлы в системе «донные отложения – водная растительность» речных экосистем в зоне наблюдения Белорусской атомной станции. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2020;3:41–52.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-41-52>

For citation:

Pozdniakova AI. Heavy metals in the system «bottom sediments – water vegetation» river ecosystems in the supervised area of the Belarusian nuclear power plant. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2020;3:41–52. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-41-52>

Автор:

Позднякова Анастасия Игоревна – инженер по метрологии.

Author:

Anastasiya I. Pozdniakova, metrology engineer.
anastacia.pozdnyakova@gmail.com

in bottom sediments was calculated. There are evaluated biological absorption coefficient of heavy metals in samples of aquatic vegetation and mixed grass and biogeochemical activity of aquatic vegetation certain species (*Elodea canadensis*, *Batrachion trichophyllum*, *Glyceria fluitans*).

Keywords: bottom sediments; background monitoring; heavy metals; maximum allowable concentration; clark; mobility coefficient; biological absorption coefficient; biogeochemical activity coefficient; Belarusian NPP.

Введение

При оценке экологической обстановки в окружающей среде вокруг атомной электростанции основное внимание, как правило, уделяется воздействию радиоактивных выбросов и сбросов радиационно-опасного объекта. Однако Белорусская атомная электростанция (далее – Белорусская АЭС), как любой промышленный объект во время строительства и эксплуатации, оказывает на окружающую среду и человека воздействие нерадиационного характера.

Атомная станция как промышленный объект не имеет аналогов на территории Республики Беларусь, поэтому для наблюдения за ее воздействием на окружающую среду была создана самая полная, с точки зрения экологического мониторинга, программа. Для оценки воздействия Белорусской АЭС во время эксплуатации, необходима отправная точка, которой должен стать фоновый мониторинг окружающей среды, в том числе основанный на оценках фоновых концентраций тяжелых металлов в системе «донные отложения – водная растительность».

В рамках системы комплексного мониторинга в зоне наблюдения Белорусской АЭС, радиус которой составляет 12,9 км от центра промышленной площадки, организован и выполняется мониторинг загрязнения донных отложений, в том числе тяжелыми металлами (далее – ТМ), в реках Лоша, Полпе, Вилия и Гозовка. Донные отложения являются индикатором техногенного загрязнения водоемов и источником загрязнения водной растительности.

Попадая в водоем, ТМ 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 [1; 2]. Исследования показывают, что результаты измерений концентраций ТМ собственно в воде не позволяют оценить загрязнение водного объекта в целом, так как основная часть загрязнителей, в том числе ТМ, скапливается в донных отложениях. Таким образом, донные отложения являются важным объектом фонового мониторинга.

Проблема исследований загрязнения донных отложений для последующей оценки их негативного воздействия на биоту состоит в том, что в настоящее время не существует разработанных нормативов, например, предельно допустимых концентраций (далее – ПДК), регламентирующих опасный уровень их загрязнения.

Таким образом, мониторинг ТМ в донных отложениях и в водной растительности поверхностных гидрологических объектов является необходимым компонентом общей системы экологического мониторинга для обеспечения экологической безопасности человека и окружающей среды в зоне наблюдения Белорусской АЭС.

В исследовании приведены результаты измерений концентраций ТМ в донных отложениях и образцах водной растительности, отобранных в четырех реках в зоне наблюдения. Кроме того, представлены некоторые характеристики поведения ТМ, основанные на рассмотренных в данной статье научных подходах.

Представлены расчетные значения коэффициента подвижности K_p , коэффициента биологического поглощения A_x и коэффициента биологической активности для измеренных в процессе наблюдений ТМ в системе «донные отложения – водная растительность».

Материалы и методы исследования

Методы отбора проб донных отложений и образцов водной растительности, подготовки и анализа. Исследования проводились на сети комплексного мониторинга в зоне наблюдения Белорусской АЭС. Он определен Программой комплексного экологического мониторинга Белорусской АЭС, согласованной органами государственного регулирования в области радиационной и экологической безопасности (министерства по чрезвычайным ситуациям, здравоохранения, природных ресурсов и охраны окружающей среды).

В 2017 г. были отобраны пробы донных отложений и водной растительности в 6 точках на реках Вилия, Гозовка, Полпе и Лоша в зоне наблюдения Белорусской АЭС, расположение которых представлено на карте-схеме (рис. 1). В р. Вилия были исследованы донные отложения в створе выше планируемого поверхностного водозабора, где будет организован контроль сброса нормативно чистых вод. Отбор проб

производился выше водозабора и в створе реки, что позволяет оценить состояние объекта выше по течению: н. п. Нидяны-Тартак, 2 км ниже устья р. Сенканки (рис. 1, т. 1), возле устья р. Ошмянки, н. п. Маркуны (рис. 1, т. 4).

Донные отложения на р. Гозовка были исследованы в нижнем створе и в замыкающем створе, принимающем поверхностный сток с территории 5-километровой зоны АЭС (1,0 км выше н. п. Гоза (рис. 1, т. 2) и н. п. Керняны (рис. 1, т. 3)). На р. Полпе проведены исследования на водотоке, в который будет осуществляться сброс сточных вод ливневой канализации при сооружении АЭС (н.п. Чехи (рис. 1, т. 5)).

Река Лоша рассматривалась как водоем, химическая нагрузка на который возрастет за счет социально-экономического развития г. Островца (2,0 км выше н. п. Гервяты (рис. 1, т. 6)).

В пробах донных отложений и водной растительности измерялись As, Pb, Cd, Hg, Cu, Co, Cr, Ni, Zn, Mn. Некоторые из ТМ (As, Pb, Cd, Hg) определены к контролю в пищевой продукции требованиями комиссии ФАО/ВОЗ, а остальные (Cu, Co, Cr, Ni, Zn, Mn, Pb, Cd) входят в перечень металлов, контролируемых НСМОС. На содержание ТМ были исследованы 6 проб донных отложений и 8 – водной растительности.

Видовой состав образцов водной растительности, отобранных в тех же точках, что и донные отложения, представлен такими растениями, как Манник наплывающий (*Glyceria fluitans*), Шелковник волосистый (*Batrachion trichophyllum*), Элодея канадская (*Elodea canadensis*), а также смешанными образцами травостоя.

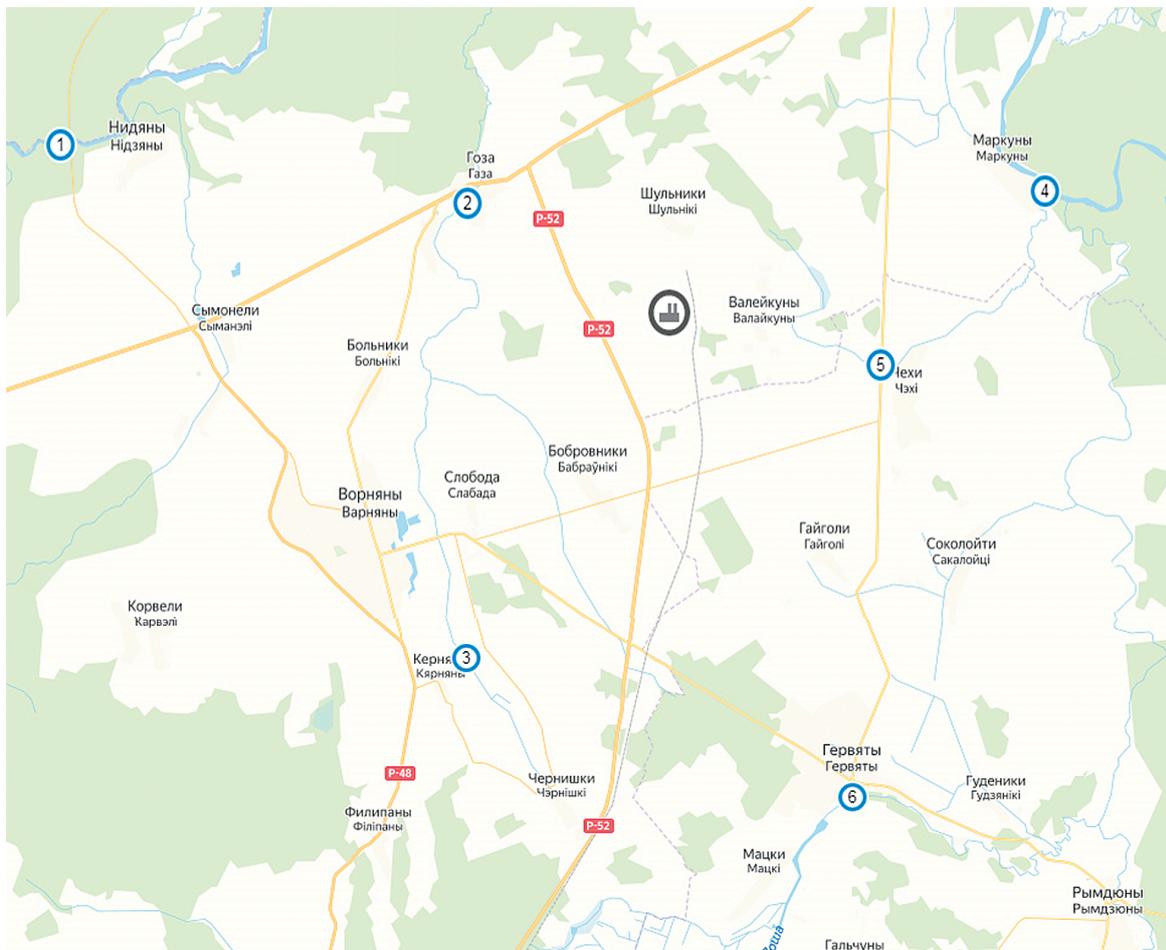


Рис. 1. Карта-схема отбора проб донных отложений и водной растительности в районе наблюдения Белорусской АЭС

Fig. 1. Map of bottom sediments and aquatic vegetation sampling in the supervised area of Belarusian NPP

Как указано выше, отбор проб водной растительности и донных отложений производился на площадках, определенной Программой комплексного мониторинга. Пробы отбирались в одной и той же фазе гидрологического режима (летняя межень). Их отбор и подготовка осуществлялись в соответствии с [3; 4].

Исследования на содержание ТМ в отобранных объектах проводились в лаборатории государственного предприятия «Научно-практический центр гигиены» Министерства здравоохранения Республики Беларусь, аккредитованной на соответствие требованиям СТБ ИСО/МЭК 17025-2004. Определение валовых

форм ТМ в образцах донных отложений и водной растительности осуществлялось согласно [5] с помощью комплексов пробоподготовки многооперационных МКП 04.

Определение содержания подвижных форм ТМ в образцах донных отложений проводилось с помощью ацетатно-аммонийного буфера в соответствии с [6]. Измерения количественного содержания тяжелых металлов осуществлялись по надлежащим методикам [7–11].

Для количественного определения содержания тяжелых металлов в пробах использовалось оборудование:

- атомно-эмиссионный спектрометр Horiba JU 2000 (Horiba Yobin Ivon (Япония, Франция));
- атомно-абсорбционный спектрометр ContrAA 700 (Analytik Jena, Германия);
- атомно-абсорбционный спектрометр SpectrAA 240Z (Agilent, США);
- анализатор ртути «Юлия-5К» (ООО НПО «Метрология», РФ);
- анализатор ртути «Юлия-2М» (ООО НПО «Метрология», РФ).

Методы оценки результатов. Неопределенность полученных результатов измерений концентраций ТМ в пробах донных отложений и водной растительности была оценена согласно [12].

Расчет коэффициента подвижности ТМ в донных отложениях проводился по формуле [13]:

$$K_{п} = \frac{C_{пф}}{C_{вф}}, \quad (1)$$

где $C_{пф}$ – содержание подвижной формы металла,
 $C_{вф}$ – содержание валовой формы металла.

Расчет коэффициент биологического поглощения ТМ водной растительностью [14] проводился по формуле:

$$A_x = \frac{l_x}{n_x}, \quad (2)$$

где l_x – содержание элемента в золе растений,

n_x – содержание элемента в горной породе или почве, на которой произрастает данное растение, кларк литосферы.

Расчет коэффициента биогеохимической активности вида (далее – БХА) проводился согласно Перельману [14] по формуле:

$$БХА = \sum A_x, \quad (3)$$

где A_x – коэффициент биологического поглощения каждого элемента.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты измерений концентраций ТМ в донных отложениях в реках Вилия, Лоша, Полпе и Гозовка, в сравнении с региональными кларками и ПДК в почвах, представлены в табл. 1–4.

Как указано во введении, в практике обеспечения экологической безопасности отсутствуют общепризнанные подходы по оценке воздействия загрязнения ТМ в донных отложениях на биотические и абиотические объекты гидросферы. Поэтому предлагается использовать способы, которые применяются для почв, обоснованные тем, что сами донные отложения и их загрязнение формируются как в результате твердого стока с поверхности водосбора, так и за счет осадков и сбросов в гидрографическую сеть загрязняющих веществ, а также аэральные выпадений на зеркало водоема. Широко используемый метод сравнения концентраций ТМ в почве с региональным ТМ в почвах (по Н. Н. Петуховой и В. А. Кузнецову) позволяет предложить использовать кларки в почве как фоновые/эталонные концентрации ТМ в донных отложениях.

Таким образом, применяя такой подход, отметим, что до начала эксплуатации Белорусской АЭС в зоне наблюдения сложилось «фоновое» состояние, которое характеризуется кларком/эталонном и (или) фоном, который включает в себя кларк/эталон и учитывает техногенное загрязнение ТМ в предыдущие периоды.

Однако в практике обеспечения экологической безопасности для оценки воздействия используются ПДК, поэтому проведено сравнение измеренных концентраций ТМ в пробах донных отложений с ПДК ТМ в почвах.

В донных отложениях р. Вилия наблюдается значительное содержание марганца и кадмия по сравнению с региональным кларком: превышение в 2,7 и 26,6 раз соответственно. Содержание остальных металлов не превышает региональный кларк и ПДК. По отношению к региональному кларку, концентрации остальных ТМ располагаются в следующем порядке: Zn (50 %) > Pb (40 %) > As (27 %) > Co (26 %) > Ni (24 %) > Cu (15 %) > Cr (7 %).

Таблица 1

Результаты измерений концентрации валовых форм ТМ в донных отложениях р. Вилия

Table 1

The measurements results of the heavy metals gross forms concentration in the Viliya river bottom sediments

Химический элемент	Кларк мг/кг	ПДК, мг/кг	Средняя концентрация (фоновая), мг/кг	Расширенная неопределенность измерений при $k=2$, $P=95\%$, мг/кг
As	1,5	2,0	0,39	0,12
Pb	12	32	4,91	0,36
Cd	0,05	0,5	1,33	1,18
Cr	36	100	2,37	0,55
Ni	20	20	4,77	1,56
Mn	247	1500	674,10	147,44
Co	6	20	1,57	0,45
Zn	35	55	17,74	4,02
Cu	13	33	1,94	0,13

В донных отложениях р. Гозовка содержится большое количество кадмия – превышение кларка в 19 раз и ПДК в 2 раза. По отношению к региональному кларку, концентрации остальных ТМ располагаются в следующем порядке: Mn (65 %) > Zn (49 %) > Co (30 %) > Ni (22 %) > Pb (2 1%) > Cu (20 %) > As (13 %) > Cr (11 %).

В донных отложениях р. Лоша кадмий значительно превышает кларк и ПДК: в 26 и 2,6 раз соответственно. По отношению к региональному кларку, концентрации остальных ТМ располагаются в следующем порядке: Mn (84 %) > Pb (47 %) > Zn (42 %) > Co (30 %) > Cu (26 %) > Ni (23 %) > As (13 %) > Cr (5 %).

В донных отложениях р. Полпе наблюдается высокое содержание кадмия: превышение кларка и ПДК в 17 и 1,7 раза соответственно. Содержание марганца близко к значению регионального кларка для почв. По отношению к региональному кларку, концентрации остальных ТМ располагаются в следующем порядке: Zn (58 %) > Co (36 %) > Pb (30 %) > Ni (29 %) > Cu (28 %) > Cr (12 %) > As (11 %).

Таблица 2

Результаты измерений концентрации валовых форм ТМ в донных отложениях реки Гозовка

Table 2

The measurements results of the heavy metals gross forms concentration in the Gozovka river bottom sediments

Химический элемент	Кларк мг/кг	ПДК, мг/кг	Средняя концентрация (фоновая), мг/кг	Расширенная неопределенность измерений при $k=2$, $P=95\%$, мг/кг
As	1,5	2,0	0,20	0,06
Pb	12	32	2,48	0,42
Cd	0,05	0,5	0,97	0,70
Cr	36	100	4,10	0,95
Ni	20	20	4,42	1,44
Mn	247	1500	160,91	35,23
Co	6	20	1,78	0,51
Zn	35	55	17,27	3,93
Cu	13	33	2,56	0,18

Таблица 3

Результаты измерений концентрации валовых форм ТМ в донных отложениях р. Лоша

Table 3

The measurements results of the heavy metals gross forms concentration in the Losha river bottom sediments

Химический элемент	Кларк мг/кг	ПДК, мг/кг	Средняя концентрация (фоновая), мг/кг	Расширенная неопределенность измерений при k=2, P=95 %, мг/кг
As	1,5	2,0	0,20	0,06
Pb	12	32	5,63	0,49
Cd	0,05	0,5	1,29	1,80
Cr	36	100	1,71	0,40
Ni	20	20	4,52	1,48
Mn	247	1500	206,44	45,16
Co	6	20	1,80	0,52
Zn	35	55	14,75	3,35
Cu	13	33	3,45	0,24

Таблица 4

Результаты измерений концентрации валовых форм ТМ в донных отложениях р. Полпе

Table 4

The measurements results of the heavy metals gross forms concentration in the Polpe river bottom sediments

Химический элемент	Кларк мг/кг	ПДК, мг/кг	Средняя концентрация (фоновая), мг/кг	Расширенная неопределенность измерений при k=2, P=95 %, мг/кг
As	1,5	2,0	0,16	0,05
Pb	12	32	3,57	0,52
Cd	0,05	0,5	0,85	1,39
Cr	36	100	4,30	1,00
Ni	20	20	5,79	1,89
Mn	247	1500	253,71	55,66
Co	6	20	2,19	0,63
Zn	35	55	20,25	4,59
Cu	13	33	3,69	0,25

Проанализировав представленные в табл. 1–4 данные, необходимо отметить, что наиболее высокие концентрации ТМ отмечены в реках Полпе и Вилия, низкие – в реках Гозовка и Лоша. Это можно объяснить тем, что пробы донных отложений в реках Вилия и Полпе отбирались вблизи населенных пунктов, тогда как наблюдательные пункты в реках Лоша и Гозовка находятся выше по течению. На р. Вилия отмечены относительно высокое содержание мышьяка, кадмия и марганца, в р. Полпе – кобальта, меди, хрома, никеля и цинка.

Если рассматривать содержания ТМ в донных отложениях относительно ПДК с целью их использования, то следует обратить внимание на повышенное содержание кадмия, присущее всем отобраным пробам. Концентрации кадмия во всех пробах донных отложений превосходят региональный кларк [15] в почве в 19–27 раз, а ПДК для почв превышен в 2–2,7 раз. Наибольшее его содержание наблюдается в донных отложениях р. Вилия, наименьшее – в отложениях р. Лоша. Согласно исследованиям [16], в антропогенно-измененных почвах Беларуси отмечается повышенное содержание кадмия, что может быть источником

его поступления в реки за счет смыва с поверхности водосборов, при этом, согласно [2], кадмий активно сорбируется донными отложениями, что соответствует полученным экспериментальным данным.

В донных отложениях р. Вилия содержание марганца превышает кларк в почве почти в 3 раза. Содержание марганца в донных отложениях рек Полпе и Лоша находится в пределах регионального кларка в почве, и не превышает ПДК.

Установлены различия в содержании хрома, марганца и кадмия в донных отложениях исследуемых водных объектов. Так, по содержанию хрома, свинца и меди наблюдаемые различия составили 2 раза, мышьяка 2,5 раза, марганца 4 раза.

Если сравнить измеренные концентрации ТМ в донных отложениях с данными, представленными в [17], то можно отметить, что содержание свинца, меди и хрома близко к минимальным значениям по стране, содержание цинка близко к средним значениям, а содержание марганца колеблется от минимального до среднего уровня.

Помимо валовых, были проанализированы результаты содержания подвижных форм ТМ в донных отложениях. Полученные данные представлены в табл. 5.

Таблица 5

Содержание подвижных форм ТМ (мг/кг) в донных отложениях рек Вилия, Полпе, Гозовка, Лоша

Table 5

The containing of heavy metals mobile forms in the bottom sediments of rivers Viliya, Polpe, Gozovka, Losha

Химический элемент	Наименование реки			
	Вилия	Гозовка	Полпе	Лоша
As	0,11	0,08	0,09	0,08
Pb	0,70	0,49	0,71	0,72
Cd	0,32	0,15	н. о.	0,33
Cr	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Ni	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Mn	219,64	47,55	135,04	103,74
Co	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
Zn	2,93	1,81	2,39	4,71
Cu	0,45	н. о.	н. о.	н. о.

Примечание. н. о. – содержание элемента в пробе ниже предела обнаружения прибора.

Таким образом, можно сделать вывод, что в р. Вилия, по сравнению с остальными объектами, наиболее подвижными являются мышьяк, марганец, медь и кадмий. В р. Лоша подвижны соединения кадмия и цинка. Следовательно, можно предположить, что соединения этих металлов могут переходить в растения.

На основании полученных результатов был рассчитан коэффициент подвижности $K_{п}$. Полученные данные, распределенные по рекам, представлены в табл. 6.

Таким образом, коэффициент подвижности мышьяка и марганца составил около 0,40, что составляет почти половину от валового содержания. Коэффициенты подвижности свинца и цинка ниже в два раза – около 0,20. По степени подвижности ТМ расположились в следующем порядке: As (0,42) > Mn (0,41) > Zn (0,18) > Pb (0,17) > Cd (0,12) > Cu (0,06).

Таким образом, при проведении мониторинга необходимо обратить внимание на содержание мышьяка, марганца и цинка в водной растительности. Помимо них в р. Вилия подвижны соединения кадмия и меди, а в реках Гозовка и Полпе – соединения свинца, которые могут поступать в растения. Те металлы, у которых коэффициент подвижности низкий или равен 0 (медь, кобальт, никель, хром, кадмий), находятся в нерастворимом состоянии и накапливаются в донных отложениях.

Особо следует обратить внимание на фоновое содержание кобальта, поскольку в технологических системах атомной электростанции накапливается радиоактивный кобальт-60, который потенциально может оказаться в объектах окружающей среды.

На содержание ТМ были проанализированы образцы водной растительности, а для сравнения – смешанные образцы травостоя. Полученные результаты представлены в табл. 7.

Таблица 6

Коэффициент подвижности тяжелых металлов в реках Виляя, Гозовка, Полпе и Лоша

Table 6

The mobility coefficient of heavy metals in the rivers Viliya, Gozovka, Polpe and Losha

Химический элемент	Наименование реки				Среднее
	Виляя	Гозовка	Полпе	Лоша	
As	0,29	0,42	0,57	0,42	0,42
Mn	0,33	0,30	0,53	0,50	0,41
Zn	0,17	0,10	0,12	0,32	0,18
Pb	0,14	0,20	0,20	0,13	0,17
Cd	0,20	0,16	0	0,13	0,12
Cu	0,23	0	0	0	0,06

Таблица 7

Результаты измерений концентрации ТМ в образцах водной растительности рек Виляя, Гозовка, Полпе, Лоша

Table 7

The containing of heavy metals gross forms concentration in the aquatic vegetation samples of rivers Viliya, Polpe, Gozovka, Losha

Химический элемент	р. Виляя		р. Гозовка		р. Полпе	р. Лоша
	Манник плавающий	Шелковник волосистый	смешанный образец травостоя	Элодея канадская	смешанный образец травостоя	смешанный образец травостоя
Pb	0,19	0,22	0,37	0,64	1,07	0,27
Cd	0,02	н.о.	0,44	0,06	0,07	0,20
Cr	0,22	0,27	0,26	1,32	0,84	0,29
Ni	0,57	0,54	1,99	1,54	1,54	0,89
Mn	46,73	40,79	459,3	494,7	535,1	893,9
Cu	1,13	6,40	2,39	6,56	2,53	4,56
Zn	13,18	22,45	44,17	32,95	20,59	45,29

Примечание. н. о. – содержание элемента в пробе ниже предела обнаружения прибора.

Отмечено, что в измеренных образцах растительности р. Лоша наблюдается самое высокое содержание марганца и цинка по сравнению с остальными образцами.

В Маннике плавающем р. Виляя наименьшее содержание ТМ среди всех отобранных образцов. Однако, по результатам исследования донных отложений, содержание ТМ в них было самым высоким из всех изученных водных объектов.

В водной растительности р. Виляя отмечено низкое содержание марганца, никеля, кадмия и свинца по сравнению с остальными объектами, при этом треть соединений марганца в донных отложениях находится в подвижном состоянии (согласно K_n).

В водной растительности концентрация кадмия относительно невелика, несмотря на то что во всех пробах донных отложений было отмечено содержание кадмия выше регионального кларка для почвы.

Также был рассчитан коэффициент биологического поглощения A_x [14]. Это соотношение концентрации валовых форм тяжелых металлов в золе растений к концентрации валовых форм тяжелых металлов в донных отложениях, отобранных в одной точке. В зависимости от величины A_x химические элементы разделены следующим образом: элементы биологического накопления ($A_x > 1$) и биологического захвата ($A_x < 1$).

Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов водной растительностью представлены в табл. 8.

Таблица 8

Коэффициент биологического поглощения ТМ водной растительностью в объектах исследований

Table 8

Biological absorption coefficient of heavy metals by aquatic vegetation samples taken in the research objects

Химический элемент	р. Виляя		р. Гозовка		р. Полпе	р. Лоша
	Манник плавающий	Шелковник волосолистный	Элодея канадская	смешанный образец травостоя	смешанный образец травостоя	смешанный образец травостоя
Pb	0,14	0,03	0,16	0,34	0,08	0,19
Cd	0,014	0,00	0,07	0,42	0,10	0,03
Cr	0,09	0,11	0,19	0,21	0,07	0,49
Ni	0,14	0,10	0,24	0,84	0,15	0,34
Mn	0,14	0,04	1,91	7,27	3,52	2,59
Cu	0,54	3,56	1,57	2,58	1,23	0,73
Zn	1,02	1,00	1,18	6,66	2,24	1,40

Примечание. 0,00 – содержание тяжелых металлов в образцах растений ниже предела обнаружения прибора.

Из полученных данных следует, что медь, цинк и марганец являются элементами наибольшего накопления, так как в образцах травостоя и некоторых водных растений КБП значительно превысил 1. Это можно объяснить интенсивным участием этих элементов в метаболизме растений [18].

Следует обратить внимание, что Манник плавающий и Шелковник волосолистный, отобранные в р. Виляя, не накапливают марганца, который имеет высокий коэффициент подвижности в донных отложениях (табл. 6). В р. Гозовка были отмечены высокие значения коэффициента подвижности у свинца, кадмия и марганца. Элодея канадская (отобранная в этой реке) накапливает марганец, тогда как соединения кадмия и свинца практически не поглощаются. Следует отметить, что все образцы растений накапливают соединения цинка, коэффициент подвижности которого в донных отложениях не высок. Таким образом, использование коэффициента биологического накопления ТМ в растениях представляется более показательным для оценки поведения ТМ в водном объекте, чем коэффициент подвижности их в донных отложениях.

Такие элементы, как свинец, хром, никель, кадмий, меньше всего накапливаются растениями, поскольку у них КБП ниже единицы. К тому же никель и хром относительно слабо поглощаются корнями растений [19].

Для Манника плавающего (*Glyceria fluitans*), Шелковника волосолистного (*Batrachion trichophyllum*) и Элодеи канадской (*Elodea canadensis*) был рассчитан коэффициент БХА, который выражает общую способность вида к концентрации микроэлементов.

Результаты расчета коэффициента БХА по формуле (3) для образцов водной растительности представлены в табл. 9 и на рис. 2.

Таблица 9

Коэффициент биогеохимической активности водной растительности, отобранных в изучаемых объектах

Table 9

Contribution of heavy metals to the biogeochemical activity coefficient of aquatic vegetation species taken in the research objects

Химический элемент	Манник плавающий (<i>Glyceria fluitans</i>)	Шелковник волосолистный (<i>Batrachion trichophyllum</i>)	Элодея канадская (<i>Elodea canadensis</i>)
Pb	0,07	0,01	0,02
Cd	0,01	0	0,01
Cr	0,04	0,02	0,03
Ni	0,07	0,02	0,03
Mn	0,07	0,01	0,26
Cu	0,26	0,74	0,21
Zn	0,49	0,21	0,16

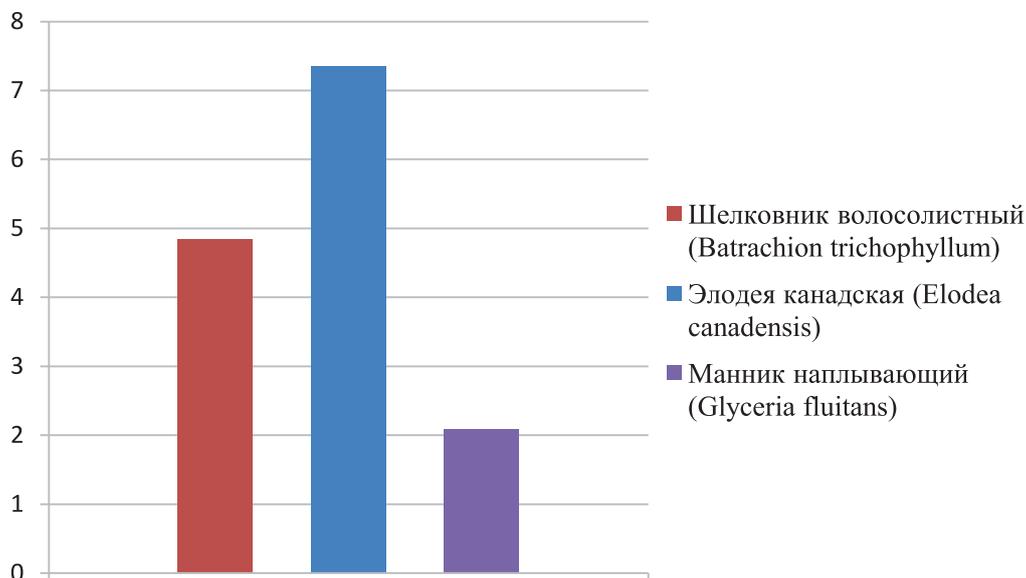


Рис. 2. Коэффициент биогеохимической активности видов водной растительности, произрастающих в зоне наблюдения Белорусской АЭС

Fig. 2. Biogeochemical activity coefficient of aquatic vegetation species growing in the supervised area of Belarusian NPP

Как следует из табл. 9 и рис. 2, в зоне наблюдения Белорусской АЭС наибольшая биогеохимическая активность к поглощению ТМ отмечена у Элодеи канадской. При этом коэффициент БХА формируется на 26 % за счет накопления марганца, 21 % – накопления меди. Наименьшая биохимическая активность отмечена у Манника плавающего, у которого максимальный вклад в коэффициент дает цинк – 49 %. Биогеохимическая активность Шелковника волосолистного на 74 % обусловлена накоплением меди. Способность данных растений к поглощению ТМ отмечена и другими авторами [20].

Заключение

В соответствии с Программой комплексного экологического мониторинга Белорусской АЭС, представлены результаты измерений концентраций ТМ в пробах донных отложений, водной растительности (в том числе образцах травостоя) в зоне наблюдения атомной станции. Полученные результаты могут быть использованы как оценка фоновое состояние в системе «донные отложения – водная растительность» до начала ее эксплуатации. Получены и представлены оценки средних фоновых концентраций меди, цинка, свинца, кадмия, хрома, никеля, марганца, ртути, а также мышьяка, в донных отложениях рек Вилия, Гозовка, Полпе и Лоша в зоне наблюдения Белорусской АЭС.

Результаты исследований свидетельствуют, что в донных отложениях из 10 изученных ТМ, только марганец и кадмий превышают региональный кларк в 1,4 и 22 раза соответственно. Поскольку источников загрязнения донных отложений этими металлами не установлено, то необходимо проводить дальнейшие исследования. Концентрации остальных ТМ не превышают региональный кларк для почв.

Концентрации ТМ в образцах водной растительности составили от 0,07 мг/кг (кадмий) до 634,0 мг/кг (марганец). Исследования показали, что наиболее подвижными являются соединения мышьяка и марганца. Вместе с тем высокий коэффициент БХА позволяет сделать вывод о том, что Элодею канадскую можно использовать как индикатор при определении загрязнения донных отложений марганцем, а Манник наплывающий – цинком. Коэффициент биологического поглощения тяжелых металлов водной растительностью свидетельствует, что в водных растениях р. Вилия происходит преимущественно накопление цинка, р. Гозовка – марганца, цинка и меди, р. Полпе – марганца и цинка, р. Лоша – меди, хрома, цинка и марганца.

Библиографические ссылки

1. Орлов ДС, Садовникова ЛК, Лозановская ИН. *Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении*. Москва: Высшая школа; 2002. 334 с.
2. Будников ГК. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем. *Соросовский образовательный журнал*. 1998;5:23–29.
3. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб: ГОСТ 17.4.3.01–83: введен РБ 17.12.92. Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации; 1992. 8 с. (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).

4. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: ГОСТ 17.4.4.02-84: введен РБ 17.12.92. Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации; 1992. 12 с. (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
5. Методика автоклавной пробоподготовки продовольственного сырья, пищевых продуктов, биологических материалов, косметической продукции, почвы, отходов производства и потребления для определения содержания в них токсичных и минеральных элементов: Инструкция 4.1.10-14-5-2006: утверждена Постановлением Главного государственного санитарного врача РБ 17.02.2006: введен 17.02.2006. Минск: Минздрав; 2006. 18 с.
6. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. Москва: Гидрометеиздат, 1983. Часть 1. 128 с.
7. Методика выполнения измерений концентраций тяжелых металлов в твердых матрицах методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии: МВИ.МН 3280-2009: утверждено Главным государственным санитарным врачом РБ 30.12.2009: введен 30.12.2009. Минск: Минздрав; 2009. 28 с.
8. Качество воды. Определение некоторых элементов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES): СТБ ISO 11885-2011. Взамен СТБ ИСО 11885-2002; введен РБ 01.07.2011. Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации; 2011. 32 с. (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
9. Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии: ГОСТ 31870-2012: введен РБ 01.01.2015. Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации; 2015. 26 с. (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
10. Качество воды. Определение содержания ртути. Метод атомной абсорбционной спектроскопии (AAS) с обогащением и без обогащения: ISO 12846-2012. – Взамен ИСО 16590:2000, ISO 5666:1999; введен РБ 15.04.2012. Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации; 2012. 24 с. (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
11. Анцукевич ВВ, редактор. *Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении измерений в области охраны окружающей среды*. В 3 частях. 4-е издание, переработанное и дополненное. Минск: БелНИЦ «Экология»; 2011. Часть 2. 270 с.
12. Методика расчета неопределенности измерений при определении концентраций ионов тяжелых металлов в твердых матрицах (приложение МВИ.Мн 3280-2009): утверждено Главным государственным санитарным врачом РБ: введен 30.12.2009. Минск: Минздрав; 2009. 8 с.
13. Корельская ТА, Попова ЛФ. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска. *АиС*. 2012;7:1–17.
14. Перельман АИ, Касимов НС. *Геохимия ландшафта*. Москва: Высшая школа. 1999. 610 с.
15. Петухова НН, Кузнецов ВА. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси. *Доклады АН Беларуси*. 1992;36(5):461–465.
16. Головатый СЕ, Ковалевич ЗС, Лукашенко НК. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». *Почвоведение и агрохимия*. 2008;2(41):244–255.
17. Жуковская НВ, Власов БП, Ковальчик НВ. Содержание микроэлементов в донных отложениях водоемов и водотоков Беларуси по данным мониторинга. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019;1:22–34.
18. Лозинская ОВ. Оценка содержания солей тяжелых металлов в почве и листьях березы повислой из естественных и антропогенно-измененных ландшафтов. *Экологический вестник*. 2017;2(40):43–51.
19. Соколова ОЯ. Тяжелые металлы в системе элемент – почва – зерновые культуры. *Вестник ОГУ*. 2006;4(54):106–110.
20. Гигевич ГС, Власов БП, Вынаев ГВ. *Высшие водные растения Беларуси*. Минск: БГУ; 2001. 420 с.

References

1. Orlov DS, Sadovnikova LK, Lozanovskaya IN. *Ekologia i okhrana biosfery pri khimicheskoy zagraznenii* [Ecology and conservation of the biosphere during chemical pollution]. Moscow: Vysshaya shkola; 2002. 334 p. Russian.
2. Budnikov GK. Heavy metals in environmental monitoring of water systems. *Sorosovskiy obrazovatelnyy zurnal* [Soros Educational Journal]. 1998;5:23–29. Russian.
3. Nature conservation. The soil. General requirements for sampling: GOST 17.4.3.01–83. Enter RB 1992 December 17. Minsk: Belarusian state institute of standardization and certification; 1992. 8 p. (System of standards on information, librarianship and publishing). Russian.
4. Nature conservation. The soil. Methods of sampling and sample preparation for chemical, bacteriological, helminthological analysis: GOST 17.4.4.02-84. Enter RB 1992 December 17. Minsk: Belarusian state institute of standardization and certification; 1992. 12 p. (System of standards on information, librarianship and publishing). Russian.
5. The technique of autoclave sample preparation of food raw materials, food products, biological materials, cosmetic products, soil, production and consumption waste to determine the content of toxic and mineral elements in them: Instruction 4.1.10-14-5-2006. Uтверждена Постановлением Главного государственного врача РБ 2006 February 17. Introduction 2006 February 17. Minsk: Minzdrav; 2006. 18 p. Russian.
6. *Vremennye metodicheskie rekomendatsii po kontrolyu zagrazneniya pochv* [Temporary guidelines for the control of soil pollution]. Moscow: Gidrometeoizdat; 1983. Part 1. 128 p.
7. Methodology for measuring concentrations of heavy metals in solid matrices by flame atomic absorption spectrometry: MP 3280-2009. Uтверждена Постановлением Главного государственного врача РБ 2009 December 30. Introduction. 2009 December 30. Minsk: Minzdrav; 2009. 28 p. Russian.
8. Water quality. Determination of some elements by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-OES): ISO 11885-2011. Instead of ISO 11885-2002. Enter RB 2011 July 01. Minsk: Belarusian state institute of standardization and certification; 2011. 32 p. (System of standards on information, librarianship and publishing). Russian.
9. Water. Determination of the content of elements by atomic spectrometry: GOST 31870-2012. Enter. RB 2015 January 01. Minsk: Belarusian state institute of standardization and certification; 2015. 26 p. (System of standards on information, librarianship and publishing). Russian.

10. Water quality. Determination of mercury content. Atomic absorption spectrometry (AAS) method with and without enrichment: ISO 12846-2012. Instead of ISO 16590: 2000, ISO 5666: 1999. Enter RB 2012 April 15. Minsk: Belarusian state institute of standardization and certification; 2012. 24 p. (System of standards on information, librarianship and publishing). Russian.
11. Antsukevich VV, editor. *Sbornik metodik vypolnenia izmereniy, dopushchennykh k primeneniu pri vypolnenii izmereniy v oblasti okhrany okruzhajushchey sredy* [Collection of measurement techniques approved for use in environmental measurements]. In 3 parts. 4th edition, revised and supplemented. Minsk: BelsIC «Ecology»; 2011. Part 2. 270 p. Russian.
12. The methodology for calculating the measurement uncertainty in determining the concentration of heavy metal ions in solid matrices (Appendix MP 3280-2009): Utverzhdena Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo vracha RB. Enter 2009 December 30. Introduction. 2009 December 30. Minsk: Minzdrav; 2009. 8 p. Russian.
13. Korelskaya TA, Korelskaya TA. Heavy metals in the soil and vegetation cover of the residential landscape of Arkhangelsk. *AISS [AaN]*. 2012;7:1–17. Russian.
14. Perelman AI, Kasimov NS. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of the landscape]. Moscow: Vysshaja shkola; 1999. 610 c. Russian.
15. Petukhova NN, Kuznetsov VA. The clarks of trace elements in the soil cover of Belarus. *Doklady akademii nauk Belarusi* [Reports Academy of Sciences of Belarus]. 1992;36(5):461–465. Russian.
16. Golovaty SE, Kovalevitch ZS, Lukashenko NK. Spatial distribution chemical pollutants in soil of territories, adjacent side to the enterprises on «Belaruskali». *Pochvovedenie i agrokhimia* [Soil science and agrochemistry]. 2008;2(41):244–255. Russian.
17. Zhukovskaya NV, Vlasov BP, Kovalchik NV. Trace elements contents in Belarusian reservoirs and rivers bottom sediments according to monitoring. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografija. Geologia* [Journal of the Belarusian. state university. Geography. Geology. 2019;1:22–34. Russian.
18. Lozinskaya OV. Evaluation of the content of salts of heavy metals in the soil and leaves of birch hanging from natural and man-made landscapes. *Ekologicheskij vestnik* [Ecological Bulletin]. 2017;2(40):43–51. Russian.
19. Sokolova OY. Heavy metals in the element – soil – grain crops system. *Vestnik OGU* [Bulletin of OSU]. 2006;4(54):106–110. Russian.
20. Gigevich GS, Vlasov BP, Vynaev GV. *Vysshie vodnye rastenija Belarusi* [Higher aquatic plants of Belarus]. Minsk: BSU; 2001. 420 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 08.08.2020.
Received by editorial board 08.08.2020.

РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 614.876(476)

ПАРАМЕТРЫ СМЫВА РАДИОНУКЛИДОВ С ВОДОСБОРА Р. ВИЛИЯ В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АВАРИИ НА БЕЛОРУССКОЙ АЭС

О. М. ЖУКОВА¹⁾, В. В. КЛЯУС¹⁾, Е. В. НИКОЛАЕНКО¹⁾

¹⁾Научно-практический центр гигиены,
ул. Академическая, 8, 220012, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты расчетов параметров смыва радионуклидов с водосборных территорий р. Вилия и оценка содержания радионуклидов в воде при предполагаемой аварии на Белорусской АЭС. Приведены прогнозные оценки доз облучения населения, проживающего вблизи Белорусской АЭС, от потребления питьевой воды, загрязненной радионуклидами ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ¹³¹I в результате возможной запроектной аварии.

Ключевые слова: радионуклид; вода; Белорусская АЭС; запроектная авария; р. Вилия; модуль смыва; коэффициент смыва; эффективная доза.

Образец цитирования:

Жукова ОМ, Кляус ВВ, Николаенко ЕВ. Параметры смыва радионуклидов с водосбора р. Вилия в начальный период потенциальной аварии на Белорусской АЭС. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2020;3:53–59. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-53-59>

For citation:

Zhukova OM, Kliaus VV, Nikalaenka AU. Parameters of radionuclide washout from the catchment area of the Viliya river after the accident at the Belarusian NPP. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2020;3:53–59. Russian. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-53-59>

Авторы:

Ольга Митрофановна Жукова – кандидат технических наук, доцент; старший научный сотрудник лаборатории радиационной безопасности.

Виктория Вячеславовна Кляус – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории радиационной безопасности.

Елена Владимировна Николаенко – кандидат медицинских наук; заведующий лабораторией радиационной безопасности.

Authors:

Olga M. Zhukova, PhD (engineering), docent; senior researcher of the laboratory of radiation safety.

omzhukova2018@gmail.com

Victoria V. Kliaus, PhD (biology); senior researcher of the laboratory of radiation safety.

vkliaus@gmail.com

Elena V. Nikolaenko, PhD (medicine); head of the laboratory of radiation safety.

nikolaenko67@gmail.com

PARAMETERS OF RADIONUCLIDE WASHOUT FROM THE CATCHMENT AREA OF THE VILIYA RIVER AFTER THE ACCIDENT AT THE BELARUSIAN NPP

O. M. ZHUKOVA^a, V. V. KLIAUS^a, A. U. NIKALAENKA^a

^aScientific practical centre of hygiene,
8 Akademičnaja Street, Minsk 220012, Belarus
Corresponding author: O. M. Zhukova (omzhukova2018@gmail.com)

This article presents the results of calculation the parameters of radionuclides washout from the catchment areas of the Viliya river and the assessment of activity concentrations of radionuclides in water in case of beyond design basis accident at the Belarusian NPP. The results of estimates of the exposure doses to public living near the Belarusian NPP from the consumption of drinking water contaminated with ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr and ¹³¹I radionuclides as a result of a possible beyond design basis accident are presented.

Keywords: radionuclide; water; Belarusian NPP; beyond design basis accident; Viliya; washout module; washout coefficient; effective dose.

Введение

Белорусская АЭС (далее – БелАЭС) расположена в Островецком р-не Гродненской обл. БелАЭС – единственная белорусская атомная электростанция с реакторами типа ВВЭР, которая относится к объектам 1 категории по потенциальной радиационной опасности. В соответствии с международными рекомендациями и национальными нормативными документами для объектов 1 категории оценка прогнозных последствий аварий является обязательной. Река Вилия – основной источник технического водоснабжения БелАЭС, а также главный приемник технических сточных вод от станции.

После крупной ядерной аварии особую важность представляет проблема радиоактивного загрязнения водоемов, а также рек, протекающих по загрязненной территории, поскольку они, как правило, являются для населения источником питьевой воды, продуктов рыболовства и воды для орошаемого земледелия. Так, в результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. значительные территории бассейна р. Днепр, включая водосбор ее правого притока (р. Припять), были загрязнены долгоживущими радионуклидами ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, периоды полураспада которых составляют около 30 лет. Аналогично при аварии на АЭС Фукусима-1 в 2011 г. произошло загрязнение ¹³⁷Cs бассейнов речных систем Абукумы, Мано, Нитта, Ота, Укеда, Маеда, Кума и др., которые все впадают в Тихий Океан, вынося туда радиоцезий как в растворе, так и во взвеси. Миграция радионуклидов по речным системам приводит к их выносу за пределы изначально загрязненных территорий, включая трансграничный перенос [1].

В случае аварии на АЭС имеет место как прямое выпадение радионуклидов на зеркало воды, так и смыв радионуклидов с речных водосборов. Прогнозные оценки коэффициентов смыва и параметров выноса радионуклидов за гидрологический период в случае аварии позволяют дать предполагаемую оценку загрязнения речной воды.

Таким образом, необходимо провести прогнозные оценки содержания радионуклидов в воде р. Вилия при аварии на БелАЭС, а также доз облучения населения с целью необходимости введения ограничений на потребление питьевой воды [2].

Цель исследования – расчет модулей смыва и коэффициентов смыва радионуклидов с водосборных территорий и оценка содержания радионуклидов в р. Вилия при запроектной аварии на Белорусской АЭС и доз облучения населения за счет потребления питьевой воды.

Материалы и методы исследования

Гидрографическая сеть в пределах 30-километровой зоны белорусской АЭС включает 70 водных объектов, из которых 5 являются трансграничными, 52 расположены на территории Беларуси, 13 – на территории Литвы.

К основным водным объектам района размещения площадки БелАЭС, относятся реки Вилия, Полпе, Гозовка, Страча, Ошмянка, Лоша.

Река Вилия – самый большой приток р. Неман. Вытекает она из небольшого болота, расположенного в 1 км северо-восточнее д. Великое поле Докшицкого р-на. Впадает в р. Неман с правого берега у г. Каунас. Длина реки составляет 498 км, в пределах Беларуси – 264 км. Схема водосборной площади р. Вилия, которая охватывает створ сброса технических сточных вод БелАЭС, приведена на рис. 1.

На общую площадь водосбора приходится 25100 км², в пределах Беларуси – 11050 км². Общее падение в пределах Беларуси составляет 90,6 м, средний уклон водной поверхности – 0,3 ‰, коэффициент извилистости – 1,98.

Вода из р. Виляя может быть использована как для бытового и промышленного водоснабжения, так и нужд сельского хозяйства. В районе размещения БелАЭС вода для питьевого водоснабжения населения из р. Виляя не используется, однако при моделировании и оценке доз облучения населения принято предположение об использовании воды в питьевом водоснабжении.



Рис. 1. Схема водосборной территории р. Виляя

Fig. 1. Scheme of the catchment area of the river Viliya

В качестве сценария запроектной аварии (далее – ЗА) на БелАЭС выбрана ситуация, рассмотренная в рамках подготовки Оценки воздействия на окружающую среду БелАЭС (далее – ОВОС). Состав выброса смоделированного за 1 сутки: ¹³¹I – 4,0·10¹⁴ Бк, ¹³⁷Cs – 3,5·10¹⁴ Бк, ⁹⁰Sr – 7,2·10¹² Бк, направление ветра выбрано по течению р. Виляя (в сторону Литвы). Результаты оценки плотности загрязнения территории радионуклидами ¹³¹I, ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr приведены в табл.1 [3].

Поля плотности загрязнения территории ¹³⁷Cs, ¹³¹I и ⁹⁰Sr на оси следа запад (З) приведены на рис. 2 [3].

Таблица 1

Плотность загрязнения территории радионуклидами при ЗА на оси следа З, Бк/м² (24.03.2009)

Table 1

Density of contamination of the territory with radionuclides at beyond design basis accident on the track axis W, Bq / m² (24.03.2009)

Р/н Бк/м ²	Расстояние, км									
	0.5	1	2	3	5	10	15	20	25	30
¹³¹ I	6,1E+03	1,3E+04	2,1E+05	1,9E+05	6,7E+05	2,1E+06	1,2E+06	5,9E+05	3,8E+05	2,4E+05
¹³⁷ Cs	3,5E+02	4,8E+03	7,2E+03	8,5E+04	3,9E+05	2,9E+06	1,6E+06	7,3E+05	3,8E+05	2,3E+05
⁹⁰ Sr	2,0E+03	5,0E+03	1,1E+04	1,4E+04	7,1E+03	3,8E+03	3,5E+03	4,0E+03	3,6E+03	2,9E+03

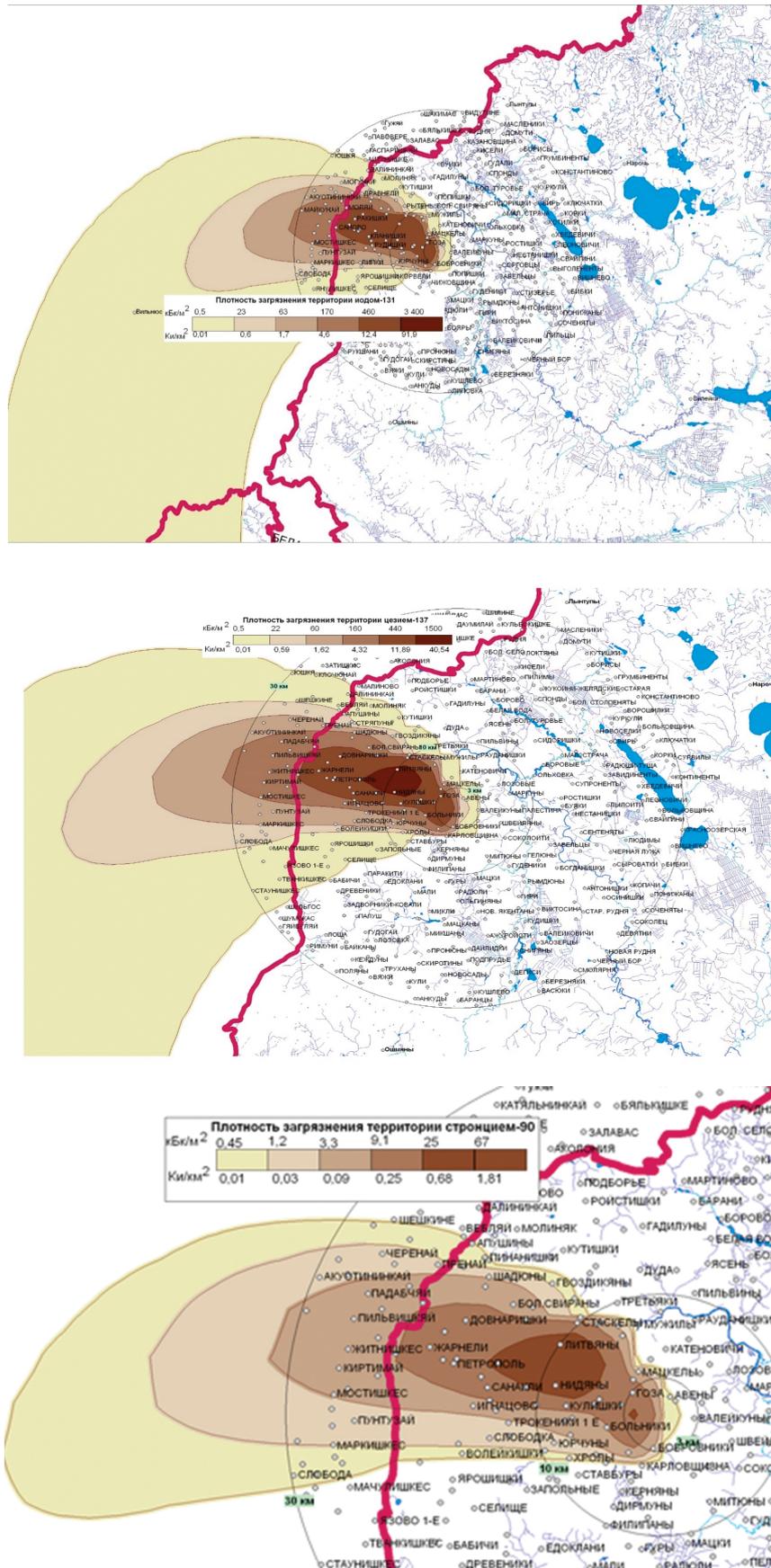


Рис. 2. Поля плотности загрязнения территории ^{137}Cs , ^{131}I и ^{90}Sr на оси следа запад (З)

Fig. 2. Density fields of contamination of the territory with ^{137}Cs , ^{131}I and ^{90}Sr on the axis of track west (W)

При аварии необходимо оценивать смыв свежих продуктов выпадения на подстилающую поверхность. С этой целью проводится экспресс-оценка коэффициента (модуля) смыва радионуклидов с естественных водосборов с учетом ландшафтно-экологических условий конкретного водосбора.

Основным параметром смыва было принято считать величину отношения средней концентрации радионуклида в водном потоке \bar{C} (усреднение за наблюдаемый гидрологический период) к средней плотности загрязнения водосборного бассейна этим радионуклидом $\bar{\sigma}$ (усреднение по водосборной площади выше створа наблюдения) [4]:

$$M_c = \frac{\bar{C}}{\bar{\sigma}}, \quad (1)$$

где C – средняя концентрации радионуклида в водном потоке, Бк/м³;

σ – средняя плотность загрязнения водосборного бассейна радионуклидом, Бк/м².

Величина M_c , м⁻¹ – «модуль смыва» загрязняющей атмосферной примеси, выпавшей на водосборный бассейн.

Другим полезным для прогнозных оценок параметром является полный коэффициент смыва K_c за рассматриваемый гидрологический период (паводок, межень, год и т. д.). Это отношение полной активности какого-либо радионуклида в водном стоке через наблюдаемый створ к запасу этого радионуклида на всей водосборной площади:

$$K_c(\Delta t) = \frac{\bar{C}W}{\bar{\sigma}S}, \quad (2)$$

где W – полный объем водного стока через створ за время наблюдения, м³;

S – площадь водосборного бассейна реки выше створа наблюдения, м².

K_c и M_c связаны соотношением (3):

$$K_c = M_c \frac{Q\Delta t}{S} = M_c M_g \Delta t, \quad (3)$$

где Q – средний расход воды, м³/с, через створ за время Δt , с. Для целей настоящей оценки Δt принят равным 1 месяц;

$M_g = Q/S$ – средний модуль водного стока, м³/(с×м²).

Из общих соображений понятно, что данные прогностические параметры зависят от многих факторов, из которых определяющими являются M_g и ландшафтно-экологические характеристики водосборной площади: масштаб водосбора, средний уклон, почвенно-растительные условия, степень антропогенной эрозионной нагрузки и т. п.

В то же время концентрация радионуклидов в речной воде будет формироваться физико-химическими процессами:

- смывом радионуклидов с поверхности ВСБ дождевыми осадками и в результате снеготаяния;
- поступлением растворимых форм радионуклидов с загрязненными подземными и почвенными водами;
- атмосферными выпадениями на водную поверхность водотока, которые обусловлены глобальными выпадениями, локальным ветровым подъемом и переносом пылевых частиц с поверхности водосборного бассейна.

Максимальные значения M_g наблюдаются при высоких расходах воды.

Для расчета параметров выноса и коэффициентов смыва радионуклидов с водосборных территорий было принято значение среднего многолетнего расхода воды в р. Вилия по данным многолетних наблюдений, который, составляет 52,9 м³/с.

Общая эффективная доза облучения от потребления питьевой воды оценивалась по формуле (4):

$$E_{water} = \sum_{i=1}^n C_i \times U_{water} \times CF_i \times DI_i \times T_{water} \times 10^6, \quad (4)$$

где E_{water} – общая эффективная доза облучения от потребления питьевой воды, мкЗв;

C_i – концентрация радионуклида i в питьевой воде, Бк/л;

U_{water} – суточное потребление воды лицом определенной возрастной группы, л/день. В расчетах использованы данные о потреблении воды, характерные для европейского региона (табл. 2);

CF_i – ожидаемая эффективная доза облучения на единицу перорального поступления для населения, Зв/Бк [5];

T_{water} – период потребления воды, дней;

10^6 – коэффициент перехода от Зв к мкЗв.

Потребление воды и ожидаемая эффективная доза облучения на единицу перорального поступления для различных возрастных групп населения

Table 2

Water consumption and expected effective radiation dose per unit of oral intake for different age groups of the population

Возрастная группа, лет	0–1	1–2	2–7	7–12	12–17	>17
Потребление воды, л/год	250	350	350	350	550	730
Ожидаемая эффективная доза облучения на единицу перорального поступления, Зв/Бк						
¹³¹ I	1,8E-07	1,8E-07	1,0E-07	5,2E-08	3,4E-08	2,2E-08
¹³⁷ Cs	2,1E-08	1,2E-08	9,6E-09	1,0E-08	1,3E-08	1,3E-08
⁹⁰ Sr	2,3E-07	7,3E-08	4,7E-08	6,0E-08	8,0E-08	2,8E-08

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 3 представлены результаты расчетов прогнозных оценок радиоактивного загрязнения речной воды для водосбора (створа наблюдений) р. Вилия (д. Тартак). Эти параметры используются для экспрессных прогнозных оценок радиоактивного загрязнения речной воды в результате совокупности вторичных миграционных процессов – механического смыва, выщелачивания из почв, неравновесного обмена между фазами (взвесь – растворенные формы, вода – донные отложения).

Таблица 3

Результаты расчета прогнозных оценок «модуля смыва» и «коэффициента смыва» свежих продуктов выпадений для радионуклидов ¹³¹I, ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr водосбора р. Вилия (д. Тартак)

Table 3

The results of calculating predictive estimates of the «washout module» and «washout coefficient» of fresh fallout products for radionuclides ¹³¹I, ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr from the catchment of the river Viliya (village Tartak)

Радионуклид	σ , Бк/м ²	C, Бк/л [2]	M _c , м ⁻¹	K _c , Бк/с
¹³¹ I	1,6E+06	2,4	1,5E-03	1,8E-02
¹³⁷ Cs	2,4E+06	2,2	0,92E-03	1,1E-02
⁹⁰ Sr	3,6E+03	0,76	0,21	2,52

Итоги прогнозных оценок, приведенные в табл. 3, согласуются с результатами натурных экспериментов, полученных для р. Ипуть (г. Добруш) на загрязненных после аварии на ЧАЭС территориях [5].

Значения средних концентраций радионуклидов в водном потоке р. Вилия в трансграничном створе при запроектной аварии на БелАЭС не превысят действующих уровней вмешательства в продуктах питания, молоке и воде (ДУВ7 – удельная активность радионуклидов в продуктах питания, молоке и питьевой воде составляет для ¹³¹I – 1000 Бк/кг, для ¹³⁷Cs – 200 Бк/кг), что в 5–10 раз ниже референтных уровней содержания данных радионуклидов в питьевой воде – 10 Бк/л (табл. 3) [4].

Проведен расчет доз облучения различных возрастных групп населения за счет потребления питьевой воды из р. Вилия на участке вблизи д. Тартак за первые 7 дней после аварии с целью сравнения с национальными критериями аварийного реагирования, установленными в [4]. Результаты оценки приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты оценки эффективной дозы облучения населения за первые 7 дней от потребления питьевой воды из р. Вилия (д. Тартак), мкЗв

Table 4

The results of assessing the effective dose of irradiation of the population for the first 7 days from the consumption of drinking water from the river Viliya (village Tartak), μSv

Радионуклид	Возрастная группа					
	0–1	1–2	2–7	7–12	12–17	>17
¹³¹ I	2,07	2,07	1,15	0,60	0,39	0,25
¹³⁷ Cs	0,22	0,13	0,10	0,11	0,14	0,14
⁹⁰ Sr	0,84	0,27	0,17	0,22	0,29	0,10
От суммы радионуклидов	3,13	2,46	1,42	0,92	0,82	0,49

Уровни доз облучения населения при запроектной аварии на БелАЭС (табл. 4) не превысят общих критериев реагирования для проведения ограничения потребления питьевой воды – эффективная доза 100 мЗв за первые 7 дней [4].

Заключение

При запроектных аварийных ситуациях на БелАЭС модуль смыва свежих продуктов выпадений для водосбора р. Виляя (д. Тартак) составит $1,5 \times 10^{-3} \text{ м}^{-1}$, $0,92 \times 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ и $0,21 \text{ м}^{-1}$ для радионуклидов ^{131}I , ^{137}Cs и ^{90}Sr соответственно. Коэффициенты смыва для данных радионуклидов будут равны $1,8 \times 10^{-2} \text{ Бк/с}$, $1,1 \times 10^{-2} \text{ Бк/с}$ и $2,52 \text{ Бк/с}$ для ^{131}I , ^{137}Cs и ^{90}Sr соответственно.

Значения концентраций радионуклидов ^{131}I и ^{137}Cs в водном потоке р. Виляя в трансграничном створе при запроектной аварии на БелАЭС не превысят действующих уровней вмешательства в продуктах питания, молоке и воде (ДУВ7).

Результаты оценки годовых эффективных доз облучения от потребления воды из р. Виляя различных возрастных групп населения, проживающего на границе с Литвой, указывают на отсутствие необходимости проведения срочных защитных мероприятий в виде ограничения потребления питьевой воды из открытых источников (критерий реагирования 100 мЗв за первые 7 дней превышен не будет). Однако при более длительном использовании воды из р. Виляя для питьевого и хозяйственного назначения данной дозы облучения населения она может быть значительно выше за счет увеличения коэффициентов смыва и выноса радионуклидов с загрязненных водосборных территорий.

Таким образом, имеющаяся сеть пунктов наблюдения за поверхностными водами должна быть расширена для оперативной оценки содержания радионуклидов в поверхностных водах, выноса радионуклидов через гидростворы и определения модуля смыва свежих продуктов деления при радиационной аварии. Колодцы должны быть защищены от попадания радионуклидов, выпадающих из атмосферы. Кроме того, при аварии необходим контроль содержания радионуклидов в воде из колодцев, особенно в тех населенных пунктах, где они являются преобладающим источником питьевого водоснабжения населения.

Библиографические ссылки

1. Konoplev A, Kanivets V, Laptev G, Voitsekhovich O, Zhukova O, Germenchuk M. Long-term dynamics of the Chernobyl-derived radionuclides in rivers and lakes In: Konoplev A, Kato K, Kalmykov S, editors. Behavior of Radionuclides in Environment II: Chernobyl. Tokyo: Springer; 2020. p. 323–348.
2. Кляус ВВ. Дозы внутреннего облучения населения при максимальной проектной и запроектной авариях на АЭС. *Здоровье и окружающая среда*. 2009;13:91–97.
3. ОВОС. Книга 11, часть 3.4. *Проектные и запроектные аварии. Радиоактивные выбросы. Трансграничное влияние*, 2009.
4. Ветров ВА, Козарезов ЕВ, Алексеенко ВА. и др. Смыв радионуклидов с естественных водосборов бассейна Днепра. *Метеорология и гидрология*. 1990;2:120–123.
5. Критерии оценки радиационного воздействия: гигиенический норматив: утверждено постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 28.12.2012 г. № 213. *Радиационная гигиена*. 2015;4:34–167.
6. Жукова ОМ, Матвеев ИИ, Мышкина НК, Шароваров ГА, Ширяева НМ. Формирование и динамика распространения радиоактивного загрязнения в реках Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС. *Инженерно-физический журнал*. 1997;70(1):73–81.

References

1. Konoplev A, Kanivets V, Laptev G, Voitsekhovich O, Zhukova O, Germenchuk M. Long-term dynamics of the Chernobyl-derived radionuclides in rivers and lakes In: Konoplev A, Kato K, Kalmykov S, editors. Behavior of Radionuclides in Environment II: Chernobyl. Tokyo: Springer; 2020. p. 323–348.
2. Kliaus VV. Doses of internal exposure of the population at the maximum design and beyond design basis accidents at NPP. *Zdorovie i okruzhajushchaya sreda* [Health and Environment]. 2009;13:91–97. Russian.
3. OVOС. *Kniga 11, chast 3.4. Proektnye i zaproektnye avarii. Radioaktivnye vybrosy. Transgranichnoe vlijanie* [EIA. Book 11, part 3.4. Design and beyond design basis accidents. Radioactive emissions. Transboundary Impact]. 2009. Russian.
4. Vetrov VA, Kozarezov EV, Alekseenko VA, et al. Flushing of radionuclides from natural catchments of the Dnieper basin. *Meteorologia i hidrologia* [Meteorology and hydrology]. 1990;2:120–123. Russian.
5. Criteria for assessing radiation exposure: hygienic standard: approved Resolution of the Ministry Health Resp. Belarus 2012 December 28 No. 213. *Radiatsionnaya higiiena* [Radiation hygiene]. 2015;4:34–167. Russian.
6. Zhukova OM, Matveenko II, Myshkina NK, Sharovarov GA, Shiryayeva NM. Formation and dynamics of the spread of radioactive pollution in the rivers of Belarus after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal* [Engineering Physics Journal]. 1997;70(1):73–81. Russian.

Статья поступила в редколлегию 07.09.2020.
Received by editorial board 07.09.2020.

УДК 535.231.16:546.36*137:546.42*90:597.2/5:556.53/556.5(476.2)

МОЩНОСТЬ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ОТ ИНКОРПОРИРОВАННЫХ ^{137}CS И ^{90}SR ИХТИОФАУНЫ ВОДОЕМОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

А. В. ГУЛАКОВ¹⁾, Д. Н. ДРОЗДОВ¹⁾, Д. Н. ИВАНЦОВ²⁾

¹⁾Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Беларусь

²⁾Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,
ул. Терешковой 7, 247618, г. Хойники, Беларусь

Приведены результаты оценки мощности поглощенной дозы от инкорпорированного ^{137}Cs и ^{90}Sr у наиболее распространенных видов пресноводной ихтиофауны, обитающих в водоемах разного типа, расположенных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. Отбор проб производился в течение 2019 г. Установлено, что вклад водных масс проточного (р. Припять), полупроточного (Николаевский старик) и замкнутого (оз. Семеница) водоемов в суммарную годовую поглощенную дозу внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr у половозрелых представителей промысловой фауны ППРЭЗ незначителен и не представляет угрозы для возникновения дозовых эффектов.

Ключевые слова: пресноводная ихтиофауна; мышечная ткань; радиоактивное загрязнение; ^{137}Cs , ^{90}Sr ; мощность дозы; Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ППРЭЗ).

Образец цитирования:

Гулаков АВ, Дроздов ДН, Иванцов ДН. Мощность дозы внутреннего облучения от инкорпорированных ^{137}CS и ^{90}SR ихтиофауны водоемов, расположенных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2020;3:60–67.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-60-67>

For citation:

Gulakov AV, Drazdou DN, Ivantsou DM. Dose performance of internal irradiation from incorporated ^{137}CS and ^{90}SR of ichthiofauna of reservoirs located in the territory of the Polesky State Radiation-Ecological Reserve. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2020;3:60–67. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-60-67>

Авторы:

Андрей Владимирович Гулаков – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры зоологии, физиологии и генетики биологического факультета.

Денис Николаевич Дроздов – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры зоологии, физиологии и генетики биологического факультета.

Дмитрий Николаевич Иванцов – старший научный сотрудник отдела фауны.

Authors:

Andrey V. Gulakov, PhD (biology), docent; associate professor at the department of zoology, physiology and genetics, faculty of biology.

Gulakov@gsu.by

Denis N. Drozdov, PhD (biology), docent; associate professor at the department of zoology, physiology and genetics, faculty of biology.

Drozdov@gsu.by

Dmitry N. Ivantsov, senior researcher at the department of fauna.
ivantsou@mail.ru

DOSE PERFORMANCE OF INTERNAL IRRADIATION FROM INCORPORATED ^{137}Cs AND ^{90}Sr OF ICHTHIOFAUNA OF RESERVOIRS LOCATED IN THE TERRITORY OF THE POLESSKY STATE RADIATION-ECOLOGICAL RESERVE

A. V. GULAKOV^a, D. N. DRAZDOU^a, D. M. IVANTSOU^b

^a*Frančisk Skorina Gomel State University,
104 Saveckaja Street, 246019 Gomel, Belarus*

^b*Polesskiy State Radiation and Ecological Reserve,
7 Tserashkovay Street, 247618 Khoiniki, Belarus*

Corresponding author: A. V. Gulakov (gulakov@gsu.by)

The paper presents the results of estimating the absorbed dose rate from incorporated ^{137}Cs and ^{90}Sr in the most common species of freshwater ichthyofauna reservoirs of various types located on the territory of the Polesky State Radiation Ecological Reserve. Sampling was carried out during 2019. It was found that the contribution of the water masses of the flowing (river Pripyat), semi-flowing (old channel Nikolaev) and closed (lake Semenitsa) reservoirs to the total annual absorbed dose of internal radiation from ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides in the mature representatives of the fishing fauna of the PGREZ is insignificant and does not pose a threat for dose effects.

Keywords: freshwater ichthyofauna; muscle tissue; radioactive contamination; ^{137}Cs , ^{90}Sr ; dose rate; Polesie State Radiation Ecological Reserve (PSRER).

Введение

Развитие ядерной энергетики на современном этапе неизбежно приводит к увеличению объема твердых и жидких радиоактивных отходов, росту масштабов поступления радионуклидов в различные типы водоемов. Авария на Чернобыльской АЭС – крупнейшая ядерная катастрофа двадцатого века. В отличие от глобальных выпадений радионуклидов, чернобыльские отличались достаточно высокими локальными уровнями.

В долгосрочной перспективе радиоэкологическая значимость аварии на Чернобыльской АЭС в значительной мере определяется загрязнением территории радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr [1; 2].

Животные, длительное время обитающие на территории с различным уровнем радиоактивного загрязнения, подвергаются как внешнему, так и внутреннему облучению. Дозу ионизирующего излучения для выявления различных радиобиологических эффектов в первую очередь связывают с поглощенной дозой [3; 4].

Для определения поглощенной дозы от внутреннего облучения следует учитывать не только активность радионуклидов, которые поступают с рационом, но и факторы, влияющие на биологические параметры поведения радионуклидов в организме животных [5–7].

На величину дозовых нагрузок при внутреннем облучении большое влияние оказывают уровни накопления и распределения радионуклидов по органам и тканям, что обусловлено физиологическими особенностями организма, поэтому вопрос о формировании доз имеет как физическое, так и биологическое содержание [8; 9].

К физическим характеристикам, определяющим формирование дозовых нагрузок у диких животных, в первую очередь относится мощность дозы внешнего гамма-излучения, а также загрязнение кормовой базы и радионуклидный состав выпадений. Среди биологических характеристик наибольшее значение приобретают особенности биологии исследуемых видов, стадия их развития и степень контактов с природной средой [10–12].

В настоящее время установлено, что основная часть ^{137}Cs поступает в организм пресноводных рыб по пищевому пути. Это подтверждают исследования украинских ученых, которые определили, что через пищеварительный тракт в организм пресноводных рыб поступает до 97–99 % ^{137}Cs , аккумулярованное в организме рыбы [13].

В период исследований главный вклад в радиоактивное загрязнение территории местообитания пресноводных рыб вносили радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr .

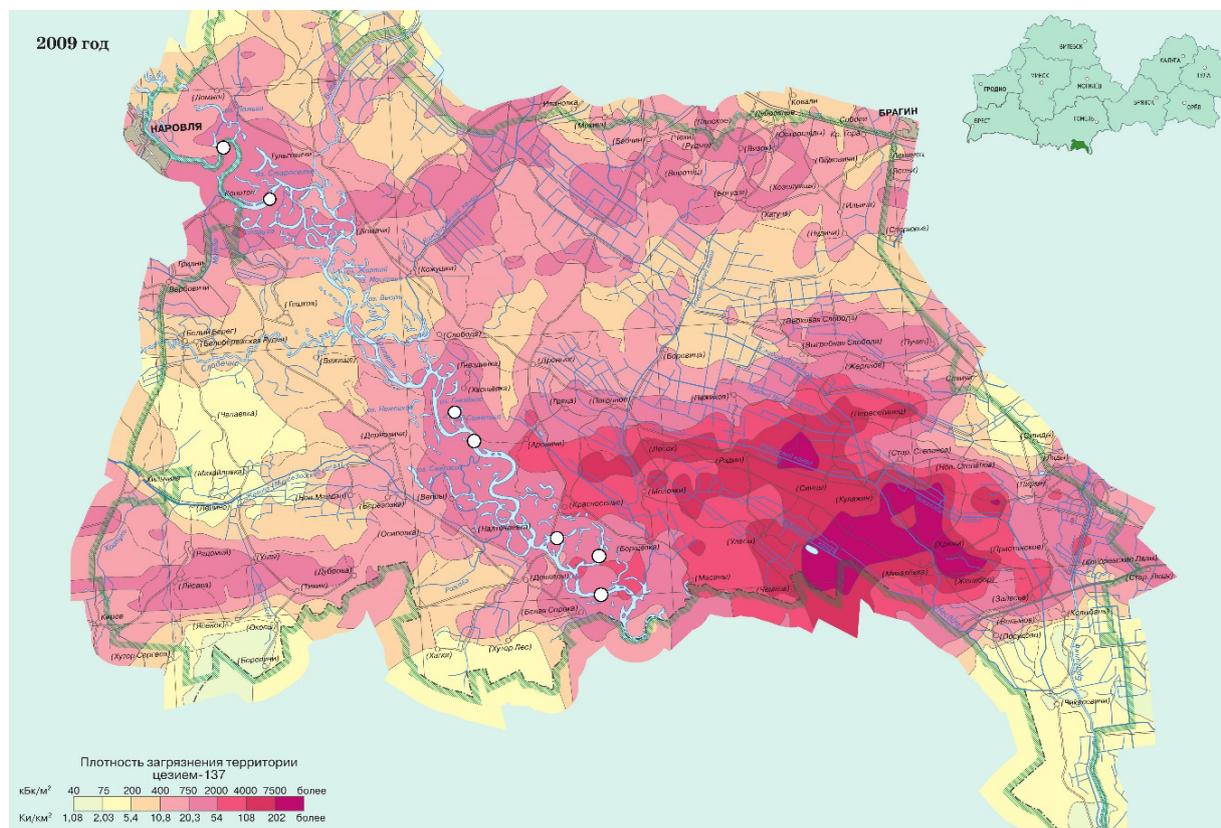
Исходя из данных условий, мы ограничились оценкой поглощенных доз на организм рыб, вызванных инкорпорированными ^{137}Cs и ^{90}Sr как основными дозообразующими радионуклидами в отдаленный период после аварии. Вместе с тем мы принимаем во внимание, что имело место сочетанное воздействие смеси радионуклидов.

В этой связи цель работы состояла в том, чтобы оценить уровень и динамику мощности поглощенной дозы внутреннего облучения в постчернобыльский период на основании данных удельной активности мышечной ткани ихтиофауны, сформированной в результате хронического поступления в организм ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Материалы и методы исследования

Объектом исследований являлась пресноводная ихтиофауна водоемов различного типа, расположенных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

Отлов рыбы осуществлялся на пяти участках реки Припять и двух полупроточных водоемах с различными экологическими условиями: оз. Семеница и Николаевский старик. Водные объекты, на которых проводились исследования, характеризуются различным гидрологическим режимом и уровнями радиоактивного загрязнения территорий, на которых они расположены (рис.).



Территория проведения исследований:

○ – водные объекты, где осуществлялся лов рыбы

Research area:

○ – water bodies where fishing was carried out Sampling locations

В качестве орудий лова были использованы сети трехстенные «Нептун» (длина 30 м, высота 1,8 м), размер ячеи 30 мм (2 шт.), 40 мм (2 шт.), 50 мм (2 шт.), 65 мм (2 шт.), 70 мм (2 шт.). При проведении лова рыб одновременно устанавливалось от 5 до 10 сетей с разным размером ячеи [14].

Определение видов и анализ биологических показателей рыб проводился общепринятыми в ихтиологических исследованиях методами [15–17].

За период проведения работ были отловлены 13 видов рыб (возрастом от 2 до 10 лет), относящихся к различным экологическим группам. Среди хищных рыб (облигатных и факультативных ихтиофагов) были проанализированы: щука обыкновенная (*Esox lucius* L.) (n=134), жерех (*Aspius aspius* L.) (n=45), судак обыкновенный (*Stizostedion lucioperca* L.) (n=11), окунь обыкновенный (*Perca fluviatilis* L.) (n=191), сом европейский (*Silurus glanis* L.) (n=3) и чехонь (*Pelecus cultratus* L.) (n=10).

Среди «мирных» видов рыб исследовали представителей следующих групп: зоопланктофаги – си-нец (*Abramis ballerus* L.) (n=142); бентофаги – серебряный карась (*Carassius auratus gibelio* Bloch) (n=27), густера обыкновенная (*Blicca bjoerkna* L.) (n=148), линь (*Tinca tinca* L.) (n=55), плотва (*Rutilus rutilus* L.)

($n=294$), язь (*Leuciscus idus* L.) ($n=6$) и лещ (*Abramis brama* L.) ($n=212$). Классификация рыб по преимущественному типу питания приведена по [15].

Измерения удельной активности ^{137}Cs в органах и тканях диких животных выполняли на гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315 (минимальная измеряемая активность не менее 2 Бк/кг в геометрии 0,5 л (Маринелли), эффективность регистрации на энергии 661 кэВ – $2,46 \times 10^{-2}$ имп/квант, энергетический диапазон регистрируемого γ -излучения от 50 до 3000 кэВ) и гамма-радиометре РКГ-АТ1320А (минимальная измеряемая активность – 3,7 Бк/кг, эффективность регистрации – $2,2 \times 10^{-2}$ имп/квант). Погрешность измерений не превышала 15 %, разница в показаниях приборов (спектрометра и радиометра) при повторных измерениях не превышала 4 %.

Мощность дозы внутреннего облучения \dot{D}_{ik1} , мГр/сут от инкорпорированных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr рассчитывали на содержание радионуклидов в исследуемых видах рыб по методике [1], используя расчетные дозовые коэффициенты, по формуле:

$$\dot{D}_{ik1} = DCF_{ik1} \times A_{mik1} \times T, \quad (1)$$

где DCF_{ik1} – фактор дозовой конверсии для внутреннего облучения k -го представительного объекта водной биоты от i -го радионуклида, (мГр/ч)/(Бк/кг сырого веса);

A_{mik1} – удельная активность k -го радионуклида в организме i -го представительного объекта водной биоты, определяемая по данным наблюдений, Бк/кг сырого веса;

T – переводной коэффициент, равный $2,4 \times 10^{-2}$ (мГр/сут)/(мГр/ч).

Мощность дозы внешнего облучения k -го представительного объекта водной биоты от i -го радионуклида, содержащегося в воде исследуемого водного объекта D_{ik2} , мГр/сут, рассчитывали по формуле:

$$\dot{D}_{ik2} = DCF_{ik2} \times A_{vi2} \times \dot{a}_{k2} \times T, \quad (2)$$

где DCF_{ik2} – фактор дозовой конверсии для внешнего облучения k -го представительного объекта водной биоты от i -го радионуклида, (мГр/ч)/(Бк/л);

A_{vi2} – объемная активность i -го радионуклида в воде, Бк/л;

\dot{a}_{k2} – доля времени, которую k -й представительный объект водной биоты проводит в воде, безразмерный;

T – переводной коэффициент, равный $2,4 \times 10^{-2}$ (мГр/сут)/(мГр/ч).

Мощность дозы внешнего облучения k -го представительного объекта водной биоты от i -го радионуклида, содержащегося в донных отложениях исследуемого водного объекта \dot{D}_{ik3} , мГр/сут, оценивают при консервативном приближении полубесконечной геометрии источника радиоактивного облучения по формуле:

$$\dot{D}_{ik3} = 0,5 \times DCF_{ik3} \times A_{mi3} \times \dot{a}_{k3} \times T, \quad (3)$$

где DCF_{ik3} – фактор дозовой конверсии для внешнего облучения k -го представительного объекта водной биоты от i -го радионуклида в донных отложениях, численно равный фактору дозовой конверсии для внешнего облучения от воды, (мГр/ч)/(Бк/кг);

A_{mi3} – удельная активность i -го радионуклида в донных отложениях, Бк/л;

\dot{a}_{k3} – доля времени, которую k -й представительный объект водной биоты проводит вблизи дна, безразмерный;

T – переводной коэффициент, равный $2,4 \times 10^{-2}$ (мГр/сут)/(мГр/ч).

Полный вклад i -го радионуклида в мощность дозы облучения k -го представительного объекта водной биоты \dot{D}_{ik} , мГр/сут, обитающего в исследуемом водном объекте, складывается из внутреннего облучения от радионуклида, инкорпорированного в ткани и органы представительного объекта водной биоты \dot{D}_{ik1} , внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в воде \dot{D}_{ik2} , внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в донных отложениях \dot{D}_{ik3} , и рассчитывался по формуле:

$$\dot{D}_{ik} = \dot{D}_{ik1} + \dot{D}_{ik2} + \dot{D}_{ik3}, \quad (4)$$

где \dot{D}_{ik1} – мощность дозы внутреннего облучения k -го представительного объекта водной биоты от инкорпорированного i -го радионуклида мГр/сут;

\dot{D}_{ik2} – мощность дозы внешнего облучения k -го представительного объекта водной биоты от i -го радионуклида, содержащегося в воде исследуемого водного объекта, мГр/сут;

\dot{D}_{ik3} – мощность дозы внешнего облучения k -го представительного объекта водной биоты от i -го радионуклида, содержащегося в донных отложениях исследуемого водного объекта мГр/сут.

Суммарная мощность дозы облучения исследуемых видов рыб определялась путем суммирования мощностей доз облучения от всех рассматриваемых радионуклидов.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием прикладных программ MS Excel 2007 и Statistica for Windows 6.0. Оценка достоверности различий осуществлялась на основе t -критерия Стьюдента [18]. Сравнительный анализ поглощенных доз внутреннего облучения у крупных млекопитающих

разных видов, обитающих на территориях с разной плотностью поверхностного загрязнения, проводился методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA).

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных исследований нами была определена мощность дозы внутреннего облучения наиболее распространенных видов рыб от ^{137}Cs и ^{90}Sr , обитающих в р. Припять, на территории ПГРЭЗ.

Таблица 1

Мощность дозы внутреннего облучения рыб от ^{137}Cs и ^{90}Sr , обитающих в р. Припять, на территории ПГРЭЗ, мГр/сут

Table 1

The dose rate of internal irradiation of fish from ^{137}Cs and ^{90}Sr living in the Pripyat River in the territory of the PGREZ, mGy/day

Вид	Мощность дозы внутреннего облучения		Суммарная мощность дозы внутреннего облучения
	^{137}Cs	^{90}Sr	
Густера	2,81E-04	1,36E-05	2,94E-04
Жерех	7,17E-04	5,02E-04	1,83E-04
Карась серебряный	1,61E-04	2,17E-05	1,83E-04
Лещ	2,38E-04	2,54E-04	4,92E-04
Линь	4,10E-04	2,57E-05	4,36E-04
Плотва	6,96E-04	3,29E-04	1,03E-03
Синец	2,75E-04	8,79E-04	1,15E-03
Чехонь	6,92E-04	–	6,92E-04
Язь	1,88E-04	–	1,88E-04
Щука	6,88E-04	2,90E-04	9,77E-04
Судак	5,30E-04	–	5,30E-04
Окунь	7,77E-04	8,99E-04	1,68E-03

Как следует из данных, приведенных в табл. 1, уровень мощности средней годовой поглощенной дозы внутреннего облучения у ихтиофауны видов проточного водоема составлял 0,17 мГр (^{137}Cs) и 0,13 мГр (^{90}Sr). Причем вклад в суммарную мощность дозы внутреннего облучения для радионуклидов ^{137}Cs был 57 %, для радионуклидов ^{90}Sr – 43 %. Сравнительный анализ мощности поглощенной дозы придонных и пелагических видов рыб выявил достоверное различие величины дозы ($p < 0,05$).

У придонных видов (густера, карась, лещ, линь, плотва) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs составила 0,13 мГр, от радионуклидов ^{90}Sr – 0,05 мГр. Причем вклад в суммарную дозу облучения от ^{137}Cs у придонных видов был в 2,5 раза больше, чем от ^{90}Sr .

У пелагических видов рыб (жерех, синец, щука, окунь) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs составила 0,22 мГр, от радионуклидов ^{90}Sr – 0,23 мГр.

Вклад в формирование средней годовой поглощенной дозы внутреннего облучения в суммарную дозу внутреннего облучения у придонных и пелагических видов ихтиофауны относительно радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr различался. У пелагических видов в суммарную дозу внутреннего облучения большой вклад облучения вносили радионуклиды ^{90}Sr – 51 %, а у придонных видов радионуклиды ^{137}Cs – 73 %. Дисперсионный анализ результатов оценки показал, что фактор пищевого поведения в проточном водоеме оказывает до 31 % на формирование поглощенной дозы внутреннего облучения у придонных видов рыб ($p < 0,15$), и 62 % – у пелагических видов рыб ($p < 0,05$).

При исследовании нами была рассчитана мощность дозы внутреннего облучения рыб от ^{137}Cs и ^{90}Sr , обитающих в оз. Семеница, на территории ПГРЭЗ (табл. 2).

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что уровень мощности поглощенной дозы внутреннего облучения у ихтиофауны замкнутого водоема в течение года составлял 0,18 мГр (^{137}Cs) и 0,30 мГр (^{90}Sr). Вклад в суммарную мощность дозы внутреннего облучения для радионуклидов ^{137}Cs был 38 %, а для радионуклидов ^{90}Sr – 62 %. Сравнительный анализ мощности поглощенной дозы придонных и пелагических видов рыб показал достоверное различие величины дозы ($p < 0,05$).

У придонных видов (густера, карась, лещ, линь, плотва) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs была 0,09 мГр, от радионуклидов ^{90}Sr – 0,22 мГр. У пелагических видов рыб (жерех, синец, щука, окунь) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs составила 0,31 мГр, от радионуклидов ^{90}Sr – 0,41 мГр.

Таблица 2

Мощность дозы внутреннего облучения рыб от ^{137}Cs и ^{90}Sr , обитающих в оз. Семеница, на территории ПГРЭЗ, мГр/сут

Table 2

The dose rate of the internal irradiation of fish from ^{137}Cs and ^{90}Sr living in Lake Semenitsa in the territory of the PGREZ, mGy/day

Вид	Мощность дозы внутреннего облучения		Суммарная мощность дозы внутреннего облучения
	^{137}Cs	^{90}Sr	
Густера	3,16E-04	9,04E-04	1,22E-03
Жерех	1,38E-03	7,74E-04	9,20E-04
Карась серебряный	2,92E-04	6,28E-04	9,20E-04
Лещ	1,49E-04	2,74E-04	4,24E-04
Линь	2,16E-04	6,15E-04	8,31E-04
Плотва	7,60E-04	–	7,60E-04
Синец	2,34E-04	–	2,34E-04
Чехонь	8,74E-04	–	8,74E-04
Язь	8,63E-04	–	8,63E-04
Щука	5,87E-04	8,35E-04	1,42E-03
Судак	6,92E-04	–	6,92E-04
Окунь	5,68E-04	1,75E-03	2,32E-03
Сом	5,18E-04	–	5,18E-04

Полученные данные исследования свидетельствуют о том, что вклад в формирование средней годовой поглощенной дозы внутреннего облучения в суммарную дозу облучения у придонных и пелагических видов ихтиофауны замкнутого водоема в большей степени внесли радионуклиды ^{90}Sr . Для пелагических видов долевого вклад от ^{90}Sr составил 57 %, для придонных видов – 43 %.

Дисперсионный анализ свидетельствует, что фактор пищевого поведения рыб в замкнутом водоеме на 58 % определяется содержанием радионуклида ^{137}Cs в воде ($p < 0,05$) и на 36 % ^{90}Sr ($p < 0,05$).

В табл. 3 приведены данные мощности дозы внутреннего облучения рыб от ^{137}Cs и ^{90}Sr , обитающих в полупроточном водоеме Николаевский старик, расположенном на территории ПГРЭЗ.

Из данных, приведенных в табл. 3 следует, что уровень мощности средней годовой поглощенной дозы внутреннего облучения у ихтиофауны полупроточного водоема составлял 0,27 мГр (^{137}Cs) и 0,08 мГр (^{90}Sr).

Вклад в суммарную мощность дозы внутреннего облучения для радионуклидов ^{137}Cs был равен 77 %, для радионуклидов ^{90}Sr – 23 %. Сравнительный анализ мощности поглощенной дозы придонных и пелагических видов рыб показал достоверное различие величины дозы ($p < 0,05$).

У придонных видов (густера, карась, лещ, линь, плотва) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs составила 0,14 мГр, от радионуклидов ^{90}Sr – 0,07 мГр. У пелагических видов рыб (жерех, синец, щука, окунь) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs была 0,38 мГр, а от радионуклидов ^{90}Sr – 0,08 мГр.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что вклад в формирование средней годовой поглощенной дозы внутреннего облучения в суммарную дозу облучения у придонных и пелагических видов ихтиофауны в условиях полупроточного водоема в большей степени обуславливали радионуклиды ^{137}Cs . Для пелагических видов долевого вклад от ^{137}Cs составил 65 %, для придонных видов 82 %. Дисперсионный анализ показал, что фактор пищевого поведения рыб в проточном водоеме на 59 % определяется содержанием радионуклида ^{137}Cs в воде ($p < 0,05$) и менее чем на 1 % ^{90}Sr ($p < 0,05$).

Проведенные исследования показывают, что вклад водных масс проточного (р. Припять), полупроточного (Николаевский старик) и замкнутого (оз. Семеница) водоемов в суммарную годовую поглощенную дозу внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr у половозрелых представителей промысловой фауны ПГРЭЗ незначителен и не представляет угрозы для возникновения дозовых эффектов.

Мощность дозы внутреннего облучения рыб от ^{137}Cs и ^{90}Sr , обитающих в Николаевском старице, на территории ПГРЭЗ, мГр/сут

Table 3

The dose rate of the internal irradiation of fish from ^{137}Cs and ^{90}Sr living in the old channel of Nikolaev on the territory of the PGREZ, mGy/day

Вид	Мощность дозы внутреннего облучения		Суммарная мощность дозы внутреннего облучения
	^{137}Cs	^{90}Sr	
Густера	2,61E-04	3,63E-05	2,97E-04
Жерех	1,40E-03	4,35E-04	1,83E-03
Карась серебряный	4,30E-04	3,02E-05	1,83E-03
Лещ	3,10E-04	2,90E-05	3,39E-04
Линь	5,33E-04	7,15E-04	1,25E-03
Плотва	1,26E-03	4,85E-04	1,74E-03
Синец	3,99E-04	1,97E-05	4,18E-04
Щука	1,10E-03	2,04E-04	1,31E-03
Окунь	9,84E-04	6,05E-06	9,90E-04

Заключение

Таким образом, уровень мощности средней годовой поглощенной дозы внутреннего облучения у ихтиофауны видов проточного водоема составлял 0,17 (^{137}Cs) мГр и 0,13 мГр (^{90}Sr). При этом вклад в суммарную мощность дозы внутреннего облучения для радионуклидов ^{137}Cs составлял 57 %, а для радионуклидов ^{90}Sr – 43 %.

У придонных видов (густера, карась, лещ, линь, плотва) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs составила 0,13 мГр, от радионуклидов ^{90}Sr – 0,05 мГр. Вклад в суммарную дозу облучения от ^{137}Cs придонных видов в 2,5 раза больше, чем от ^{90}Sr . У пелагических видов рыб (жерех, синец, щука, окунь) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs составила 0,22 мГр, от радионуклидов ^{90}Sr – 0,23 мГр.

Уровень мощности поглощенной дозы внутреннего облучения в течение года у ихтиофауны видов замкнутого водоема составлял 0,18 мГр (^{137}Cs) и 0,30 мГр (^{90}Sr). Вклад в суммарную мощность дозы внутреннего облучения для радионуклидов ^{137}Cs составляет 38 %, для радионуклидов ^{90}Sr – 62 %.

У придонных видов (густера, карась, лещ, линь, плотва) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs составила 0,09 мГр, от радионуклидов ^{90}Sr – 0,22 мГр. У пелагических видов рыб (жерех, синец, щука, окунь) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs составила 0,31 мГр, от радионуклидов ^{90}Sr – 0,41 мГр.

Уровень мощности средней годовой поглощенной дозы внутреннего облучения у ихтиофауны видов полупроточного водоема составлял 0,27 мГр (^{137}Cs) и 0,08 мГр (^{90}Sr). Вклад в суммарную мощность дозы внутреннего облучения для радионуклидов ^{137}Cs составляет 77 %, для радионуклидов ^{90}Sr – 23 %.

У придонных видов (густера, карась, лещ, линь, плотва) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs составила 0,14 мГр, от радионуклидов ^{90}Sr – 0,07 мГр. У пелагических видов рыб (жерех, синец, щука, окунь) средняя годовая поглощенная доза внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs составила 0,38 мГр, от радионуклидов ^{90}Sr – 0,08 мГр.

Библиографические ссылки

1. Крышев ИИ, Рязанцев ИП. *Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России*. Москва: ИзДАТ; 2000. 384 с.
2. Рябов ИН. *Радиоэкология рыб водоемов в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС*. Москва: Товарищество научных изданий КМК; 2004. 215 с.
3. Ярмоненко СП, Вайсон АА. *Радиобиология человека и животных*. Москва: Высшая школа; 2004. 549 с.
4. Ярмоненко СП. *Радиобиология человека и животных*. Москва: Высшая школа; 1988. 424 с.

5. Oleksyk TK, Gashchak SP, Glenn TC, et al. Frequency distributions of ^{137}Cs in fish and mammal populations. *Journal of environmental radioactivity*. 2002;61:55–74.
6. Smith JT, Kudelsky AV, Ryabov IN, et al. Uptake and elimination of radiocesium in fish and the «size effect». *Journal of environmental radioactivity*. 2002;62:145–164.
7. Smith JT, Sasina NV, Kryshev AI, et al. A review and blind test of predictive models for the bioaccumulation of radiostrontium in fish. *Journal of environmental radioactivity*. 2009;100:950–954.
8. Kryshev II. Radioactive contamination of aquatic ecosystems following the Chernobyl accident. *Journal of environmental radioactivity*. 1995;27:207–219.
9. Rowan DJ, Rasmussen JB. Bioaccumulation of radiocesium by fish: the influence of physicochemical factors and trophic structure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1994;51:2388–2410.
10. Гайченко ВА. *Радіобіологічні наслідки аварії на ЧАЕС в популяціях диких тварин зони відчуження*. [автореферат дисертації]. Київ: [б. н.]; 1996. 48 с.
11. Saxén R, Koskelainen U. Effect of site-specific parameters on the transfer of ^{137}Cs and ^{90}Sr into freshwater fishes. *Radiochemistry*. 2001;43:487–491.
12. Ugedal O, Forseth T, Jonsson B, Njåstad O. Sources of variation in radiocaesium levels between individual fish from a Chernobyl contaminated Norwegian lake. *Journal of applied ecology*. 1995;32:352–361.
13. Зарубин ОЛ. Количественные характеристики путей поступления ^{137}Cs в организм карпа (*Cyprinus carpio* (L.)) и канального сома (*Ictalurus punctatus* (Raf.)) водоема-охладителя Чернобыльской АЭС. *Гидробиологический журнал*. 2006;42(3):74–80.
14. Гашев СН, Сазонова НА, Селюков АГ, Хританько ОА, Шаповалов СИ. *Методика комплексной оценки состояния сообществ и популяций доминирующих млекопитающих, амфибий и рыб*. Тюмень: ТюмГУ; 2005. 94 с.
15. Жуков ПИ. *Справочник по экологии пресноводных рыб*. Минск: Наука и техника; 1988. 310 с.
16. Правдин ИФ. *Руководство по изучению рыб*. Москва: Пищевая промышленность; 1966. 376 с.
17. Брюзгин ВЛ. *Методы изучения рыб по чешуе, костям и отолитам*. Киев: Наукова думка; 1969. 187 с.
18. Лакин ГФ. *Биометрия*. Москва: Высшая школа; 1990. 346 с.

References

1. Kryshev II, Ryazantsev IP. *Ekologicheskaya bezopasnost' yaderno-energeticheskogo kompleksa Rossii* [Ecological safety of the nuclear power complex of Russia]. Moscow: Izdat; 2000. 384 p. Russian.
2. Ryabov IN. *Radiokologiya ryb vodoyemov v zone vliyaniya avarii na Chernobylskoy AES* [Radioecology of fish in water bodies in the impact zone of the Chernobyl accident]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK; 2004. 215 p. Russian.
3. Yarmonenko SP, Vayson AA. *Radiobiologiya cheloveka i zhivotnykh* [Radiobiology of humans and animals]. Moscow: Vysshaja shkola; 2004. 549 p. Russian.
4. Yarmonenko SP. *Radiobiologiya cheloveka i zhivotnykh* [Radiobiology of humans and animals]. Moscow: Vysshaja shkola; 1988. 442 p. Russian.
5. Oleksyk TK, Gashchak SP, Glenn TC, et al. Frequency distributions of ^{137}Cs in fish and mammal populations. *Journal of environmental radioactivity*. 2002;61:55–74.
6. Smith JT, Kudelsky AV, Ryabov IN, et al. Uptake and elimination of radiocesium in fish and the «size effect». *Journal of environmental radioactivity*. 2002;62:145–164.
7. Smith JT, Sasina NV, Kryshev AI, et al. A review and blind test of predictive models for the bioaccumulation of radiostrontium in fish. *Journal of environmental radioactivity*. 2009;100:950–954.
8. Kryshev II. Radioactive contamination of aquatic ecosystems following the Chernobyl accident. *Journal of environmental radioactivity*. 1995;27:207–219.
9. Rowan DJ, Rasmussen JB. Bioaccumulation of radiocesium by fish: the influence of physicochemical factors and trophic structure. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*. 1994;51:2388–2410.
10. Haychenko VA. *Radiobiologichni naslidky avarii na CHAES v populyatsiyakh dykyykh tvaryn zony vidchuzhennya* [Radiobiological consequences of the Chernobyl accident in populations of wild animals of the exclusion zone]. [PhD thesis]. Kyiv [publisher unknown]. 1996. 48 p. Ukrainian.
11. Saxén R, Koskelainen U. Effect of site-specific parameters on the transfer of ^{137}Cs and ^{90}Sr into freshwater fishes. *Radiochemistry*. 2001;43:487–491.
12. Ugedal O, Forseth T, Jonsson B, Njåstad O. Sources of variation in radiocaesium levels between individual fish from a Chernobyl contaminated Norwegian lake. *Journal of applied ecology*. 1995;32:352–361.
13. Zarubin OL. Quantitative characteristics of the pathways of ^{137}Cs entering the body of carp (*Cyprinus carpio* (L.)) and channel catfish (*Ictalurus punctatus* (Raf.)) Of the reservoir-cooler of the Chernobyl nuclear power plant. *Gidrobiologicheskij zhurnal*. 2006;42(3):74–80. Russian.
14. Gashev SN, Sazonova NA, Selyukov AG, Khritanko OA, Shapovalov SI. *Metodika kompleksnoy otsenki sostoyaniya soobshchestv i populyatsiy dominiruyushchikh mlekopitayushchikh, amfibiyy i ryb* [Methodology for a comprehensive assessment of the status of communities and populations of dominant mammals, amphibians and fish]. Tyumen: Tyumen State University; 2005. 94 p. Russian.
15. Zhukov PI. *Spravochnik po ekologii presnovodnykh ryb* [Handbook of Ecology of Freshwater Fish]. Минск: Nauka i tekhnika; 1988. 310 p. Russian.
16. Pravdin IF. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Guide to the study of fish]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost; 1966. 376 p. Russian.
17. Bryuzgin VL. *Metody izucheniya ryb po cheshuye, kostyam i otolitam* [Methods of studying fish by scales, bones, and otoliths]. Kiev: Navukova dumka; 1969. 187 p. Russian.
18. Lakin GF. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow: Vysshaja shkola; 1990. 346 p. Russian.

УДК 615.017

ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ХЛОРИДОВ ЭРБИЯ И ЕВРОПИЯ ПРИ ВНУТРИЖЕЛУДОЧНОМ ВВЕДЕНИИ БЕЛЫМ КРЫСАМ

*Е. К. ВЛАСЕНКО¹⁾, Г. В. ЮВС²⁾, Т. Н. РЫБИНА²⁾, О. М. КЛИМОВИЧ¹⁾,
Е. Л. БЕРДИНА¹⁾, В. А. СТЕЛЬМАХ³⁾, А. Г. СЫСА³⁾, В. Н. ГАПАНОВИЧ¹⁾*

Образец цитирования:

Власенко ЕК, Ювс ГВ, Рыбина ТН, Климович ОМ, Бердина ЕЛ, Стельмах ВА, Сыса АГ, Гапанович ВН. Токсикологическая оценка биологически активной добавки на основе хлоридов эрбия и европия при внутрижелудочном введении белым крысам. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2020;3:68–73.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-68-73>

For citation:

Vlasenko EK, Yuvs GV, Rybina TN, Klivovich OM, Berdina EL, Stelmakh VA, Sysa AG, Gapanovich VN. Toxicological assessment of a dietary supplement based on erbium and europium chlorides by intragastric administration to white rats. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2020;3:68–73. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-68-73>

Авторы:

Евгений Константинович Власенко – кандидат биологических наук; заведующий лабораторией прикладной токсикологии.

Георгий Владимирович Ювс – руководитель лаборатории спектральных исследований.

Татьяна Николаевна Рыбина – кандидат геолого-минералогических наук; генеральный директор.

Ольга Михайловна Климович – кандидат биологических наук; заведующий отделом экспериментальной медицины и фармации.

Елена Леонидовна Бердина – заместитель заведующего отделом экспериментальной медицины и фармации.

Виктор Александрович Стельмах – кандидат медицинских наук, доцент; доцент кафедры радиобиологии и экологической медицины.

Алексей Григорьевич Сыса – кандидат химических наук, доцент; декан факультета экологической медицины.

Владимир Николаевич Гапанович – доктор медицинских наук, профессор; директор.

Authors:

Evgenii K. Vlasenko, PhD (biology); head of the laboratory of applied toxicology.

evgenii_vlasenko@mail.ru

George V. Yuvs, head of the spectral research laboratory.

Tatyana N. Rybina, PhD (geology and mineralogy); general director.

Olga M. Klimovich, PhD (biology); head of the department of experimental medicine and pharmacy.

Elena L. Berdina, deputy head of the department of experimental medicine and pharmacy.

Victor A. Stelmakh, PhD (medicine), docent; associate professor at the department of environmental medicine and radiobiology.
stelmakh2@gmail.com

Aliaksei G. Sysa, PhD (chemistry), docen; dean faculty of environmental medicine.

aliaksei.sysa@iseu.by

Vladimir N. Gapanovich, doctor of science (medicine), full professor; director.

- ¹⁾Научно-практический центр ЛОТИОС,
ул. З. Бядули, 10, 220034, г. Минск, Беларусь
- ^{1), 2)}Лаборатория спектральных исследований СПЕКТРУМ,
ул. Николоямская, 29/2, 109004, г. Москва, Россия
- ³⁾Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Изучена острая токсичность новой биологически активной добавки на основе хлоридов эрбия и европия при внутрижелудочном введении самцам и самкам белых крыс. Полученное в результате исследования значение среднесмертельной дозы LD₅₀ составило для самцов – 6864,90 мг/кг, для самок – 5372,01 мг/кг (VI класс токсичности, относительно безвредно). У крыс обоего пола в дозах 3000, 4500 и 6000 мг/кг клинические признаки интоксикации характеризовались замедленной и пассивной двигательной активностью, при дозе 1500 мг/кг симптомов интоксикации не наблюдалось. В изученных дозах не отмечено достоверных изменений массы тела животных и ее прироста. Макроскопическое исследование основных органов жизнеобеспечения крыс при дозах 1500, 3000, 4500 и 6000 мг/кг не выявило существенных отклонений структуры. Анализ их весовых коэффициентов показал достоверное увеличение относительной массы печени у самцов – в 1,3–1,5 раза, у самок – в 1,2–1,4 раза по сравнению с соответствующими контрольными значениями.

Ключевые слова: эрбий; европий; токсичность; БАД; лабораторные животные.

TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF A DIETARY SUPPLEMENT BASED ON ERBIUM AND EUROPIUM CHLORIDES BY INTRAGASTRIC ADMINISTRATION TO WHITE RATS

*E. K. VLASENKO^a, G. V. YUVS^b, T. N. RYBINA^b, O. M. KLIVOVICH^a,
E. L. BERDINA^a, V. A. STELMAKH^c, A. G. SYSA^c, V. N. GAPANOVICH^a*

^aScientific and practical center LOTIOS,
10 Z. Biaduli Street, Minsk 220034, Belarus

^bSpektral Research Laboratory SPEKTRUM,
29/2 Nikolajamskaja Street, Moscow 109004, Russia

^cInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Dauhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

Corresponding author: A. G. Sysa (aliaksei.sysa@iseu.by)

Acute toxicity of a new dietary supplement based on erbium and europium chlorides by intragastric administration to white rats was studied. The results obtained were as follows: LD₅₀ values were 6864.90 mg/kg in male rats and 5372.01 mg/kg in female rats (VI class of toxicity, relatively harmless). In rats of both sexes at doses of 3000, 4500 and 6000 mg/kg, clinical signs of intoxication were characterized by slow and passive motor activity; at a dose of 1500 mg/kg, symptoms of intoxication were not observed. There were no significant changes in the body weight of animals and its growth under the studied doses. Macroscopic examination of the main organs of life support of rats at doses of 1500, 3000, 4500 and 6000 mg/kg did not reveal significant deviations in the structure, analysis of their weight coefficients showed a significant increase in the relative weight of the liver: 1.3–1.5 times in male rats, 1.2–1.4 times in female rats, compared to the corresponding control values.

Keywords: erbium; europium; toxicity; dietary supplements; laboratory animals.

Введение

Различные факторы, воздействующие на организм человека и животных, оказывают всестороннее влияние на процессы жизнедеятельности, в том числе и на обмен ультрамикрорезультатов. В настоящее время все чаще стали уделять внимание именно взаимосвязи заболеваний различной этиологии с содержанием химических элементов в организме человека, в частности в крови [1].

Недостаток элементов в организме – пусковой механизм к развитию заболеваний. Фармакологические и биологические свойства редкоземельных элементов интенсивно изучаются, однако до настоящего времени многие аспекты его влияния на биологические объекты еще не выяснены. Редкоземельные элементы необходимы для нормального функционирования организма, способны влиять на различные

биологические процессы. Являясь хорошими комплексообразователями, они связываются многими органическими лигандами (углеводами, аминокислотами, оксикислотами, нуклеотидами, фосфатидами, витаминами). В работе [2] рассмотрено влияние редкоземельных элементов на человека и млекопитающих, определено их влияние на здоровье в зависимости от способа попадания в организм. Обсуждено также воздействие редкоземельных элементов на ключевые системы органов. Особое внимание уделено токсическому влиянию больших концентраций редкоземельных элементов на живые клетки и регуляцию клеточных процессов, а также положительным эффектам, проявляющимся при использовании малых доз соединений редкоземельных элементов.

Имеющиеся литературные данные указывают на различия содержания редкоземельных элементов в биосубстратах практически здоровых лиц и больных сирингомиелией, что свидетельствует об их участии в метаболических процессах и позволяет ставить вопрос о патогенетической роли в развитии нейродегенеративных заболеваний.

В настоящее время в мире приобретают популярность биологически активные добавки к пище (БАДы), содержащие редкоземельные элементы группы лантана (церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций). По данным информационных ресурсов (<https://druginfo.nlm.nih.gov/drugportal> и ilymed.nlm.nih.gov/dailymed/index.cfm) национальной медицинской библиотеки, на фармацевтическом рынке США присутствуют несколько десятков препаратов, которые рекомендованы для корректировки баланса pH и минералов, улучшения пищеварения и снижения веса, поддержания иммунитета, стимуляции обмена веществ, уменьшения тошноты, улучшения детоксикации и др.

Российскими учеными создана новая биологически активная добавка к пище, содержащая хлориды эрбия и европия (суммарно 90 %), глицин и янтарную кислоту, которая предлагается к использованию для поддержания функции сердечно-сосудистой системы и повышения качества жизни людей, получающих химио- и/или лучевую терапию.

В соответствии с законодательством [3], для новой пищевой продукции требуется подтверждение ее безопасности и безвредности для человека, что достигается путем изучения, в том числе по показателям токсичности в экспериментах на лабораторных животных. Важным этапом таких исследований является острый эксперимент на теплокровных животных при целевом пероральном пути поступления в организм с определением среднесмертельных доз.

Таким образом, целью исследования является изучение в эксперименте острой токсичности нового состава БАД с хлоридами редкоземельных элементов при внутрижелудочном введении белым крысам.

Материалы и методы исследования

Объект исследований – БАД с лабораторным кодом ЮВС, представляющий собой белый порошок с розовым оттенком, однородной структуры без посторонних включений.

Исследование осуществлялось в соответствии с руководством по проведению доклинических исследований лекарственных средств [4].

Острая токсичность изучена в эксперименте на 50 аутбредных белых крысах обоего пола массой тела 160–180 г, рандомизированно распределенных в группы по 5 особей, которым внутрижелудочно вводили 20 %-ный водный раствор БАД ЮВС с помощью иглы-зонда в дозах 1500, 3000, 4500 и 6000 мг/кг. Контрольной группе животных вводили растворитель – дистиллированную воду. Объем суспензии не превышал физиологической вместимости желудка для данного вида животных – растворитель, дозы 4500 и 6000 мг/кг, вводили двукратно, равными долями с интервалом 1,5 ч.

В течение периода наблюдения (14 суток) проводили регистрацию клинических признаков интоксикации и количество летальных исходов, определяли также массу тела крыс – исходную на 7 и 14 сутки после введения.

По окончании эксперимента выживших животных подвергали эвтаназии ингаляцией CO₂ для макроскопического изучения состояния и определения относительной массы основных органов жизнеобеспечения.

Количественные параметры острой токсичности рассчитывали методом пробит-анализа, исходя из степени развития смертельных эффектов с применением программы «StatPlus». Описательная статистика результатов исследования представлена в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения ($M \pm m$). Статистический анализ проводили с помощью лицензионной программы «GraphPad Prism 5.00». Различия признавались достоверными при уровне значимости $p < 0,05$ с использованием критерия Ньюмена–Кейсла. Обращение с животными соответствовало международным требованиям [5].

Результаты исследования и их обсуждение

В остром эксперименте при внутрижелудочном введении БАД ЮВС самцам и самкам белых крыс в дозах 3000, 4500 и 6000 мг/кг клинические признаки интоксикации характеризовались преимущественно замедленной и пассивной двигательной активностью. Развивались они спустя нескольких минут после введения и, постепенно ослабевая, сохранялись в течение 4 суток наблюдений. При дозе 1500 мг/кг в опытной и контрольной группах симптомов интоксикации и гибели животных не наблюдалось.

На фоне развития интоксикации уровни воздействия 4500 и 6000 мг/кг приводили к гибели части животных на 1–4-е сутки наблюдения, что позволило определить основные количественные параметры БАД ЮВС при внутрижелудочном введении в остром эксперименте (табл. 1).

Таблица 1

Показатели токсикометрии при внутрижелудочном введении БАД ЮВС белым крысам в остром эксперименте

Table 1

Toxicometry indicators by intragastric administration of dietary supplements UVS to white rats in an acute experiment

Пол	Доза, мг/кг	Эффект, погубило/выжило	LD ₁₆ , мг/кг	LD ₅₀ , мг/кг	LD ₈₄ , мг/кг
Самцы	1500	0/5	3984,62	6864,90 (706,60÷13023,19)	9745,17
	3000	0/5			
	4500	1/4			
	6000	2/3			
Самки	1500	0/5	3268,45	5372,01 (874,41÷9869,61)	7475,57
	3000	0/5			
	4500	2/3			
	6000	3/2			

Рассчитанное значение LD₅₀ при внутрижелудочном введении крысам-самцам составило 6864,90 мг/кг, крысам-самкам – 5372,01 мг/кг, что позволяет отнести БАД ЮВС к VI классу токсичности (относительно безвредно) в соответствии с модифицированной классификацией Организации экономического содействия и развития (OECD), изложенной в ТКП 125-2008 [6].

В результате проведенной работы установлено, что внутрижелудочное введение БАД ЮВС крысам обоего пола в изученных дозах не вызывает у животных достоверных изменений массы тела и ее прироста относительно значений контрольной группы. На протяжении всего периода наблюдений у крыс всех экспериментальных групп отмечался положительный прирост массы тела в сравнении с исходными значениями.

Макроскопическое исследование внутренних органов – тимуса, сердца, трахеи и крупных бронхов, легких, слизистой пищевода, желудка, тонкого кишечника, печени, селезенки, почек, надпочечников, семенников, яичников, матки, головного мозга – не выявило существенных отклонений их структуры. При вскрытии грудной и брюшной полостей выпот отсутствовал, исследуемые органы находились в обычном положении без изменения консистенции и окраски. Парietальный и висцеральные листки плевры и брюшины были тонкими, блестящими, гладкими.

Анализ весовых коэффициентов внутренних органов при внутрижелудочном введении БАД ЮВС белым крысам во всех исследуемых дозах показал достоверное увеличение относительной массы печени: у самцов – в 1,3–1,5 раза, у самок – в 1,21,4 раза по сравнению с соответствующими контрольными значениями (табл. 2).

Таким образом, в остром эксперименте на крысах показано, что основным органом-мишенью при внутрижелудочном воздействии БАД ЮВС является печень. Учитывая, что состав изучаемого объекта исследования содержит суммарно 90 % хлоридов эрбия и европия, отмеченное влияние на печень, без гендерных различий, с большой долей вероятности может быть обусловлено именно токсическим действием со стороны солей редкоземельных элементов.

При этом со стороны весовых коэффициентов тимуса, сердца, легких, желудка, селезенки, почек, надпочечников, головного мозга подопытных животных значимых различий не установлено (табл. 3).

Таблица 2

**Относительная масса внутренних органов крыс-самцов
при внутрижелудочном введении БАД ЮВС в остром эксперименте, M±m**

Table 2

Relative weight of internal organs of male rats by intragastric administration of dietary supplements UVS in acute experiment

Исследуемый орган	Уровни доз, мг/кг				
	контроль	1500	3000	4500	6000
Тимус	0,13±0,02	0,18±0,01	0,17±0,01	0,19±0,04	0,13±0,02
Сердце	0,32±0,01	0,34±0,00	0,33±0,02	0,32±0,00	0,34±0,02
Легкие	0,57±0,05	0,61±0,03	0,53±0,02	0,58±0,06	0,44±0,10
Печень	3,21±0,13	4,44±0,08*	4,17±0,17*	4,67±0,11*	4,29±0,11*
Селезенка	0,53±0,06	0,82±0,16	0,52±0,05	0,62±0,06	0,40±0,05
Почки	0,69±0,03	0,69±0,02	0,64±0,01	0,74±0,03	0,69±0,07
Надпочечники	0,02±0,00	0,01±0,00	0,02±0,00	0,02±0,00	0,02±0,00
Головной мозг	0,49±0,01	0,48±0,01	0,53±0,01	0,58±0,04	0,59±0,06
Желудок	0,61±0,02	0,61±0,02	0,63±0,03	0,62±0,02	0,61±0,05

Примечание. * – $p < 0,05$.

Таблица 3

**Относительная масса внутренних органов крыс-самок
при внутрижелудочном введении БАД ЮВС в остром эксперименте, M±m**

Table 3

**Relative weight of internal organs of female rats
by intragastric administration of dietary supplements UVS in acute experiment**

Исследуемый орган	Уровни доз, мг/кг				
	контроль	1500	3000	4500	6000
Тимус	0,16±0,01	0,17±0,02	0,16±0,01	0,16±0,01	0,15±0,02
Сердце	0,34±0,01	0,34±0,01	0,34±0,01	0,36±0,01	0,33±0,01
Легкие	0,60±0,03	0,58±0,02	0,62±0,03	0,63±0,10	0,58±0,01
Печень	3,42±0,22	4,05±0,16*	4,13±0,17*	4,28±0,11*	4,60±0,12*
Селезенка	0,30±0,01	0,33±0,09	0,27±0,02	0,33±0,04	0,25±0,04
Почки	0,70±0,04	0,65±0,01	0,71±0,02	0,73±0,02	0,56±0,14
Надпочечники	0,03±0,00	0,03±0,00	0,03±0,00	0,03±0,00	0,03±0,00
Желудок	0,54±0,02	0,56±0,03	0,63±0,04	0,58±0,01	0,58±0,01
Головной мозг	0,76±0,03	0,76±0,02	0,79±0,02	0,75±0,02	0,75±0,02

Примечание. * – $p < 0,05$.

Заключение

Результаты проведенного исследования по изучению на белых крысах острой внутрижелудочной токсичности новой БАД ЮВС, содержащей хлориды редкоземельных элементов (эрбия и европия, глицин и янтарную кислоту), позволили сформировать следующие выводы:

– рассчитанное значение среднесмертельной дозы LD₅₀ при внутрижелудочном введении БАД ЮВС крысам-самцам составило 6864,90 мг/кг, крысам-самкам – 5372,01 мг/кг (VI класс токсичности, относительно безвредно);

– у крыс обоего пола в дозах 3000, 4500 и 6000 мг/кг клинические признаки интоксикации характеризовались замедленной и пассивной двигательной активностью, при дозе 1500 мг/кг симптомов интоксикации не наблюдалось;

– внутрижелудочное введение БАД ЮВС в изученных дозах не вызывало достоверных изменений массы тела и ее прироста как у самцов, так и у самок крыс относительно контрольных значений; на протяжении периода наблюдений у всех животных отмечался также положительный прирост массы тела в сравнении с исходными значениями;

– макроскопическое исследование внутренних органов крыс при дозах 1500, 3000, 4500 и 6000 мг/кг не выявило существенных отклонений структуры, анализ их весовых коэффициентов показал достоверное увеличение относительной массы печени у самцов в 1,3–1,5 раза, у самок – в 1,2–1,4 раза по сравнению с соответствующими контрольными величинами.

Библиографические ссылки

1. Nieder R, Benbi DK, Reichl FX. Microelements and Their Role in Human Health. In: *Soil Components and Human Health*. Dordrecht: Springer; 2018. p. 317–374.
2. Panichev AM. Rare Earth Elements: Review of Medical and Biological Properties and Their Abundance in the Rock Materials and Mineralized Spring Waters in the Context of Animal and Human Geophagia Reasons Evaluation. *Achievements in the Life Sciences*. 2015;9(2):95–103. DOI:10.1016/j.als.2015.12.001.
3. О безопасности пищевой продукции: ТР ТС 021/2011 : утверждено решением комиссии Таможенного союза 09.12.2011 № 880: вступило в силу 01.07.2013. Москва: [б. н.];2013. с. 242.
4. Миронов АН. *Руководство по доклиническому изучению лекарственных средств*. Москва: Гриф и К; 2012. 447 с.
5. *Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях*. Страсбург: [б. н.]; 1986.
6. *Надлежащая лабораторная практика: ТКП 125-2008(02040)*. Введен 01.05.2008. Минск: Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении; 2008. 40 с.

References

1. Nieder R, Benbi DK, Reichl FX. Microelements and Their Role in Human Health. In: *Soil Components and Human Health*. Dordrecht: Springer; 2018. p. 317–374.
2. Panichev AM. Rare Earth Elements: Review of Medical and Biological Properties and Their Abundance in the Rock Materials and Mineralized Spring Waters in the Context of Animal and Human Geophagia Reasons Evaluation. *Achievements in the Life Sciences*. 2015; 9(2):95–103. DOI:10.1016/j.als.2015.12.001.
3. About food safety: TR CU 021/2011: approved by the decision of the Commission of the Customs Union 2011 December 09 No. 880: Introduction 2013 July 01. Moscow: [publisher unknown]; 2013. p. 242. Russian.
4. Mironov AN. [*Rukovodstvo po doklinicheskomu izucheniu lekarstvennykh sredstv*] Guide to the preclinical study of medicines. Moscow: Grif and K; 2012. 447 p. Russian.
5. [*Evropeiskaja konvintsija o zashchite pzvonochnykh zhivotnykh? Ispolzuemykh dla eksperimentov ili v inykh nauchnykh tselakh*] European Convention for the protection of vertebrates used for experiments or other scientific purposes. Strasbourg: [publisher unknown]; 1986. Russian.
6. Good laboratory practice: TCP 125-2008(02040). Introduction 2008 May 01. Minsk: Center of expertise and testing in healthcare; 2008. 40 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 04.06.2020.
Received by editorial board 04.06.2020.

УДК 616.24-006

АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ БРОНХОВ И ЛЕГКОГО

М. А. ДУБИНА¹⁾, А. Е. ОКЕАНОВ²⁾, А. А. ЕВМЕНЕНКО²⁾, А. А. МАШЕВСКИЙ²⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова,
аг. Лесной, 223040, Минский район, Беларусь

В исследовании представлен анализ заболеваемости населения Республики Беларусь (1990–2018 гг.) злокачественными новообразованиями легкого и бронхов. Для оценки первичной заболеваемости новообразованиями бронхов и легкого использовались грубые интенсивные показатели на 100 тыс. соответствующего среднегодового показателя населения с учетом пола и места постоянного проживания на момент заболевания. Для сравнения использовались стандартизованные по возрасту показатели на 100 тыс. населения по мировому стандарту (ASR World). Выявлено выраженное снижение стандартизованных показателей заболеваемости среди мужчин, проживающих в городах, тогда как среди мужчин, проживающих в селах, заболеваемость за исследуемый период увеличилась. Среди женского населения отмечена тенденция роста заболеваемости как в городах, так и в сельской местности. Отмечено значительное превышение заболеваемости сельского населения по сравнению с городским, при этом различия со временем нарастают. Значительное превышение уровня заболеваемости сельских жителей и его снижение среди жителей городов не укладывается в общепринятые представления о доминирующем влиянии «городских» экологических факторов на увеличение риска заболевания раком легкого. Таким образом, представленная оценка заболеваемости раком бронхов и легкого актуальна и является основой для последующего изучения этиологических причин развития заболевания среди различных контингентов населения.

Ключевые слова: злокачественные новообразования бронхов и легкого; заболеваемость; факторы риска.

Образец цитирования:

Дубина МА, Океанов АЕ, Евмененко АА, Машевский АА. Анализ заболеваемости населения Республики Беларусь злокачественными новообразованиями бронхов и легкого. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2020;3:74–81.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-74-81>

For citation:

Dubina MA, Okeanov AE, Yaumenenka AA, Mashevski AA. Analysis of lung and bronchus cancer incidence in the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2020;3:74–81. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-74-81>

Авторы:

Марина Антоновна Дубина – старший преподаватель кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Алексей Евгеньевич Океанов – доктор медицинских наук, профессор; руководитель группы статистики и анализа отдела организации противораковой борьбы.

Алеся Александровна Евмененко – кандидат биологических наук; специалист группы статистики и анализа отдела организации противораковой борьбы.

Александр Альфредович Машевский – доктор медицинских наук; профессор, председатель Центральной экспертной комиссии по раннему выявлению онкологических заболеваний.

Authors:

Maryna A. Dubina, senior lecturer at the department of environmental medicine and radiobiology.

etuala@mail.ru

Aleksey E. Okeanov, doctor of science (medicine), full professor; chief of the cancer control department.

okeanov@nsys.by

Alesya A. Yaumenenka, PhD (biology); specialist of the cancer control department.

evmenenkoalesya88@gmail.com

Alexander A. Mashevsky, doctor of science (medicine), full professor; chairman of the Central expert commission for the early detection of cancer diseases.

t.krasnovskaya@otr.by

ANALYSIS OF LUNG AND BRONCHUS CANCER INCIDENCE IN THE REPUBLIC OF BELARUS

M. A. DUBINA^a, A. E. OKEANOV^b, A. A. YAUMENENKA^b, A. A. MASHEVSKI^b

*^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Dauhbrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus*

*^bN. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus,
Liasny agro-town, Minsk District 223040, Belarus
Corresponding author: M. A. Dubina (etuala@mail.ru)*

The analysis of lung and bronchus cancer incidence in the Republic of Belarus for 1990–2018 is presented. The crude intensive and standardized (ASR World) incidence rates are calculated. The study revealed a pronounced decrease in standardized incidence rates among men living in cities, while among men living in rural areas the increased incidence rate over the study period was noted. Among the female population, a tendency towards an increase in the incidence rate was noted both in cities and in rural areas. A significant increase in the incidence rate of the rural population compared with the urban population was also noted, and these differences increase over time. A significant excess of the incidence rate of rural residents and its decrease among urban residents does not fit into the generally accepted idea of the prevailing effect of “urban” environmental factors on the increased risk of lung cancer. Thus, the presented estimate of the incidence rates of lung cancer is relevant and forms the basis for the subsequent study of the etiological causes of the development of the disease among various populations.

Keywords: malignant bronchi and lung neoplasm; incidence rate; risk factors.

Введение

Злокачественные новообразования бронхов и легкого (ЗНБЛ) (С 34 по МКБ 10) относятся к наиболее часто встречающимся опухолям в большинстве стран мира и Республике Беларусь. В эту группу входят новообразования различного тканевого генеза: плоскоклеточный рак (из метаплазированного плоского эпителия), мелкоклеточный рак (нейроэндокринная карцинома), аденогенный рак (аденокарцинома из железистого эпителия), крупноклеточный рак (из клеток субсегментарных бронхов), саркомы из недифференцированных клеток соединительной ткани и другие редко встречающиеся опухоли. Доля пациентов со ЗНБЛ составила в 2018 г. 8,5 % среди всех злокачественных новообразований и 85,3 % среди органов дыхания и грудной клетки. В стране с 1990 по 2018 г. было зарегистрировано 124 тыс. 969 случаев заболеваний ЗНБЛ.

По данным IARC ВОЗ, ведущей причиной развития рака легкого является курение табака, поскольку на его долю приходится более двух третей случаев смерти от этой болезни в мире [1]. Воздействие радона считается второй причиной рака легкого в общей популяции: при увеличении содержания радона на 100 Бк/м² риск развития рака легкого возрастает на 8–16 % [2]. Также традиционно признанными причинами развития новообразований бронхов и легкого считаются: загрязнение воздушной среды промышленными и автомобильными выбросами, ионизирующее излучение, асбест, пылевые частицы [3–5]. Имеется ряд публикаций о роли вирусов в развитии рака легкого [6], а также данные, свидетельствующие, что развитию заболевания часто предшествуют хронические воспалительные процессы в бронхах и легких, склеротические и рубцовые изменения после ранее перенесенных воспалительных заболеваний.

Эпидемиологические особенности заболеваний раком бронхов и легкого и данные молекулярно-генетических исследований свидетельствуют о достаточно сложных причинно-следственных связях между традиционно признанными факторами риска и частотой развития злокачественных опухолей. Так, развитие рака легкого модифицируется процессами детоксикации ксенобиотиков, обусловленными генетическими поломками системы защиты от канцерогенов [7]. Таким образом, вопросы, касающиеся изучения роли факторов риска в развитии новообразований легкого и их взаимодействия, остаются актуальными в современной медицине.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования служили данные Белорусского канцер-регистра, который является наиболее полным информационным ресурсом обо всех зарегистрированных случаях злокачественных новообразований на территории страны, использовались принципы сбора, контроля и обработки данных, рекомендуемые МАИР ВОЗ.

Для оценки первичной заболеваемости применялись грубые интенсивные и стандартизованные по возрасту (ASR World) показатели на 100 тыс. среднегодового населения с учетом пола и места постоянного проживания на момент заболевания.

В работе использовались общепринятые методы расчета интенсивных и стандартизованных (прямым методом) показателей, доверительных интервалов (95 % DI) и регрессионный анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ динамики заболеваемости населения Республики Беларусь ЗНБЛ (рис. 1) с 1990 по 2018 г. выявил рост грубых интенсивных показателей заболеваемости. Среднегодовой уровень составил 44,3 на 100 тыс. населения, а ежегодный показатель прироста (тенденции линейной регрессии A1) – +0,24 на 100 тыс. населения.

Однако при анализе стандартизованных показателей была отмечена динамика к снижению заболеваемости населения республики ЗНБЛ. Среднегодовой показатель составил 28,4 на 100 тыс. населения, а ежегодный показатель тенденций (A1) – - 0,11 на 100 тыс.

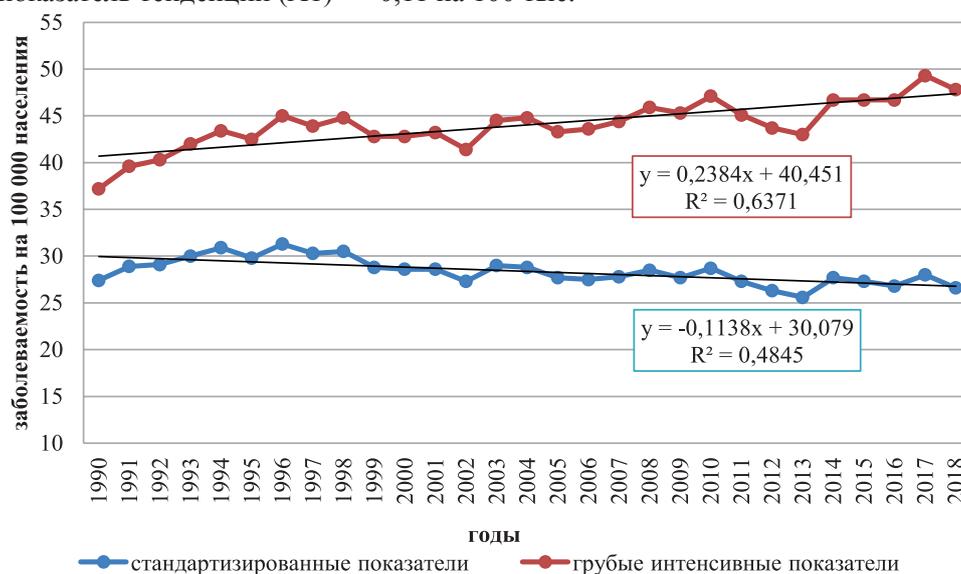


Рис. 1. Динамика заболеваемости населения Республики Беларусь злокачественными новообразованиями бронхов и легкого на 100 тыс. населения, 1990–2018 гг.

Fig. 1. Dynamics of lung and bronchus cancer incidence rates in the Republic of Belarus, per 100 000 population, 1990–2018

Различие в тенденции динамики грубых интенсивных и стандартизованных показателей свидетельствует о значительном влиянии демографических изменений (постарение населения) на рост частоты заболеваний. Так, на протяжении исследуемого периода разрыв в значениях грубых интенсивных и стандартизованных показателей заболеваемости увеличивался. Таким образом, рост грубых интенсивных показателей заболеваемости ЗНБЛ в Беларуси на протяжении 29 лет обусловлен изменением возрастной структуры населения на фоне реального снижения влияния этиологических факторов риска.

При анализе заболеваемости населения Республики Беларусь ЗНБЛ (рис. 2) была отмечена значительная разница в уровнях заболеваемости мужского и женского населения. Так, за период с 1990 по 2018 г. заболеваемость мужского населения была выше, чем женского в среднем в 8,3 раза (по значениям грубых интенсивных показателей) и в 12,2 раза (по значениям стандартизованных показателей).

Анализ заболеваемости мужского населения республики ЗНБЛ выявил динамику роста грубых интенсивных показателей. Среднегодовой показатель составил 82,7 на 100 тыс. мужского населения, а ежегодный показатель тенденций (A1) – +0,35 на 100 тыс. мужского населения.

Вместе с тем при анализе стандартизованных показателей (нивелирующих влияние демографических изменений) отмечено снижение заболеваемости мужского населения республики ЗНБЛ. Среднегодовой показатель составил 63,3 на 100 тыс. мужского населения, а ежегодный показатель тенденций (A1) – - 0,35 на 100 тыс. мужского населения.

В отличие от мужчин, среди женского населения заболеваемость увеличивалась при анализе как грубых интенсивных, так и стандартизованных показателей. Среднегодовой грубый интенсивный показатель составил 10,2 на 100 тыс. женского населения; а ежегодный показатель тенденций (A1) – +0,16 на 100 тыс. женского населения, среднегодовой стандартизованный уровень составил 5,3, а A1 – +0,05 на 100 тыс. женского населения.

Анализ заболеваемости населения республики в зависимости от места жительства (рис. 3) за период 1990–2018 гг. свидетельствует, что ЗНБЛ сельских жителей была выше, чем городских в среднем в 1,7 раза (по значениям грубых интенсивных показателей) и в 1,2 раза (по значениям стандартизованных

показателей). Анализ заболеваемости городского населения республики выявил выраженный рост грубых интенсивных показателей. Среднегодовой показатель составил 36,8 на 100 тыс. городского населения, а ежегодный показатель тенденции (A1) – +0,34 на 100 тыс. городского населения.

Однако при анализе стандартизированных показателей была отмечена динамика к снижению заболеваемости городского населения республики раком бронхов и легкого. Среднегодовой показатель составил 27,6, а ежегодный показатель тенденции (A1) – - 0,24 на 100 тыс. городского населения.

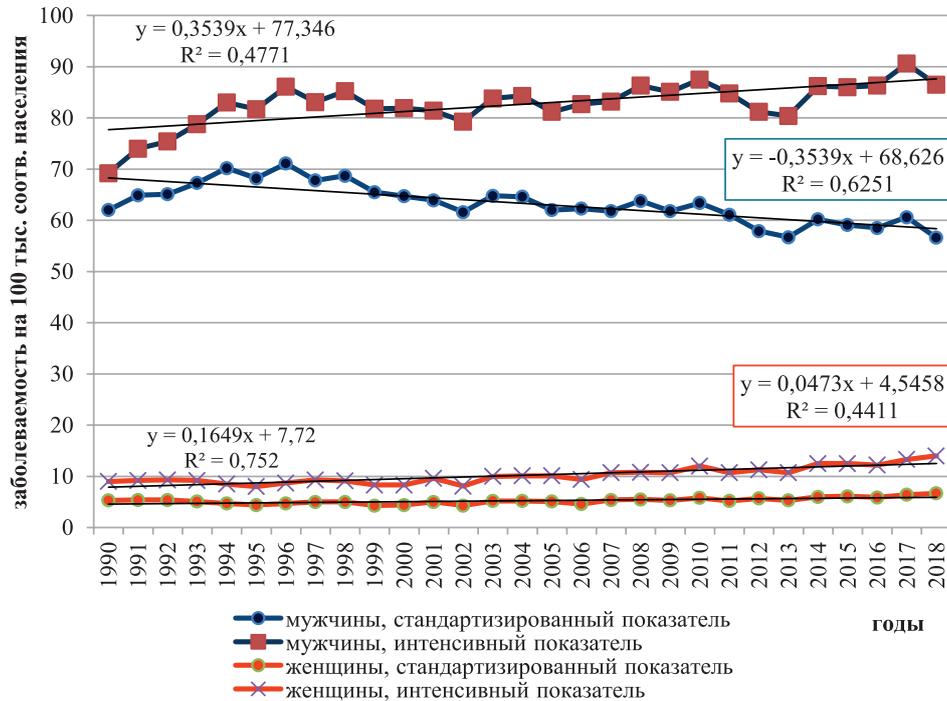


Рис. 2. Динамика заболеваемости мужского и женского населения Республики Беларусь злокачественными новообразованиями бронхов и легкого на 100 тыс. населения, 1990–2018 гг.

Fig. 2. Dynamics of lung and bronchus cancer incidence rates of male and female population of the Republic of Belarus, per 100 000 population, 1990–2018

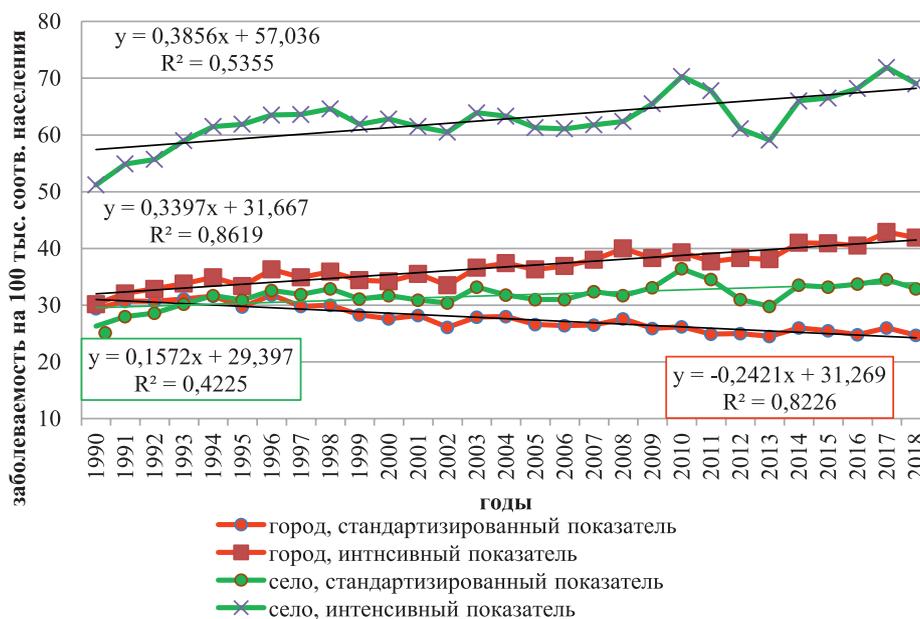


Рис. 3. Динамика заболеваемости городского и сельского населения Республики Беларусь злокачественными новообразованиями бронхов и легкого на 100 тыс. населения, 1990–2018 гг.

Fig. 3. Dynamics of lung and bronchus cancer incidence rates of urban and rural population of the Republic of Belarus, per 100 000 population, 1990–2018

При этом важно отметить, что заболеваемость сельского населения демонстрирует динамику к росту как в грубых интенсивных показателях, так и в стандартизированных. Для грубых интенсивных показателей среднегодовой уровень составил 62,8 на 100 тыс. сельского населения при ежегодной тенденции (A1) – +0,38; для стандартизованных, соответственно, 31,8 и +0,16.

Таким образом, выраженное снижение заболеваемости (стандартизированные показатели) отмечено среди мужчин, проживающих в городах, тогда как среди мужчин, проживающих в селах, заболеваемость за исследуемый период показала заметную тенденцию к росту. Среди женского населения тенденция роста заболеваемости отмечена как в городах, так и в сельской местности. Поскольку курение ассоциируется с высоким риском развития рака легкого, а привычка курения среди женщин более распространена в городах, можно предполагать, что на женщин села (помимо курения) влияют другие неблагоприятные факторы.

Другая особенность, выявленная при исследовании, – это значительное превышение заболеваемости сельского населения над городским, причем различия в уровнях заболеваемости со временем нарастали. Значительное превышение уровня заболеваемости сельских жителей не укладывается в общепринятые представления о негативном влиянии «городских» экологических факторов риска, в частности техногенных загрязнений воздушной среды.

При сравнительном анализе уровней заболеваемости мужского населения (по стандартизированным показателям) за два периода (начало и конец исследования: 1990–1994 гг. и 2015–2018 гг.) по областям были выявлены следующие особенности (рис. 4): отмечено статистически значимое снижение заболеваемости в Витебской, Минской, Могилевской областях и в г. Минске, а также в целом по стране. Напротив, в Гомельской области (в отличие от всех других областей) отмечен статистически значимый рост заболеваемости.

Причина этого остается неустановленной, однако в качестве рабочей гипотезы для последующих исследований целесообразно учитывать радиационное загрязнение территории радионуклидами вследствие аварии на Чернобыльской АЭС.

Статистически значимый рост заболеваемости ЗНБЛ женского населения (рис. 5) был отмечен не только в Витебской, Гомельской областях, но и в целом по стране. Наиболее высокий уровень заболеваемости фиксировался в г. Минске, который почти за 30 лет практически не изменился. Самый высокий прирост заболеваемости по сравнению с исходным уровнем отмечен в Гомельской обл.

Анализ возрастной структуры заболеваемости ЗНБЛ (рис. 6–9) указывает на связь увеличения риска с возрастом. Среди мужчин, проживающих в городах, отмечено уменьшение заболеваемости в 2014–2018 гг., по сравнению с 1990–1994 гг. При этом снижение заболеваемости отмечено во всех возрастных группах, за исключением лиц старше 80 лет. Но в то же время среди сельских жителей уровни заболеваемости увеличились среди всех возрастных групп населения, которое старше 60 лет.

В возрастной заболеваемости женского населения городов отмечено некоторое уменьшение значений в последнем периоде, однако указывается на ее прирост среди более молодых возрастных групп (от 45 до 69 лет). Среди сельских жительниц упомянутых возрастных групп отмечен более выраженный рост заболеваемости, чем в городах. В возрасте 70–79 лет отмечено снижение заболеваемости, а в группе старше 80 лет заболеваемость осталась неизменной. Таким образом, риск заболевания женщин раком легкого сместился на более молодой возраст, что особенно характерно для женщин, проживающих в сельской местности.

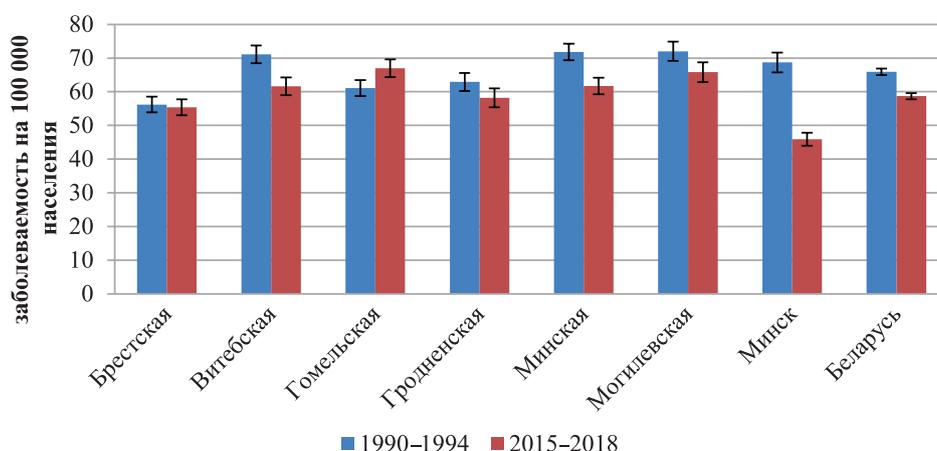


Рис. 4. Заболеваемость мужского населения злокачественными новообразованиями бронхов и легкого по областям Республики Беларусь (среднегодовые стандартизированные World показатели на 100 тыс. населения и 95 % доверительные интервалы), 1990–1994/2015–2018 гг.

Fig. 4. The lung and bronchus cancer incidence rates of male population of the Republic of Belarus by regions (average annual standardized World, per 100,000 population and 95 % confidence intervals), 1990–1994 / 2015–2018

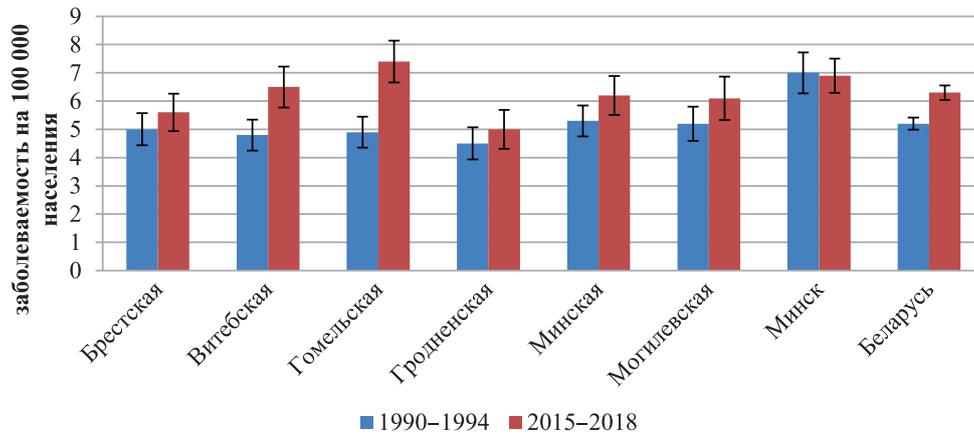


Рис. 5. Заболеваемость женского населения злокачественными новообразованиями бронхов и легкого по областям Республики Беларусь (среднегодовые стандартизованные World показатели на 100 тыс. населения и 95 % доверительные интервалы), 1990–1994/2015–2018 гг.

Fig. 5. The lung and bronchus cancer incidence rates of female population of the Republic of Belarus by regions (average annual standardized World, per 100,000 population and 95 % confidence intervals), 1990–1994 / 2015–2018

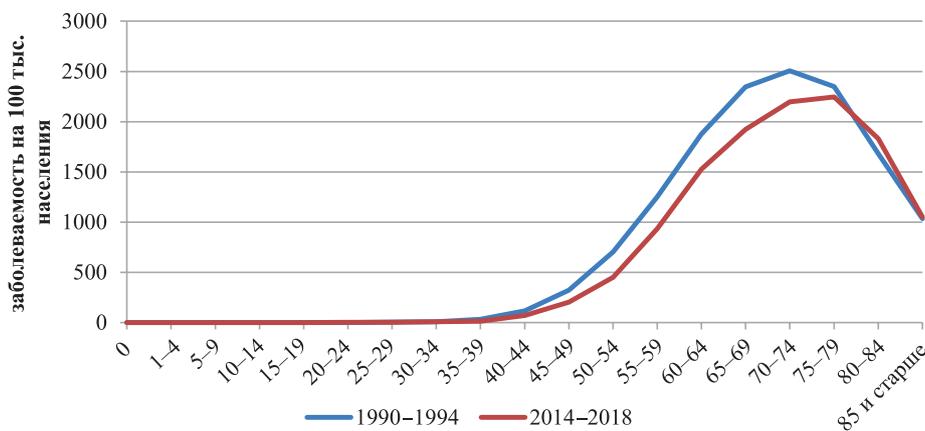


Рис. 6. Возрастные показатели заболеваемости злокачественными новообразованиями бронхов и легкого мужского населения городов Республики Беларусь (средние пятилетние показатели на 100 тыс. населения соответствующего возраста), 1990–1994/2014–2018 гг.

Fig. 6. Age-related incidence rates of lung and bronchus cancer of urban male population of the Republic of Belarus (average five-year indicators per 100,000 population of the corresponding age), 1990–1994/2014–2018

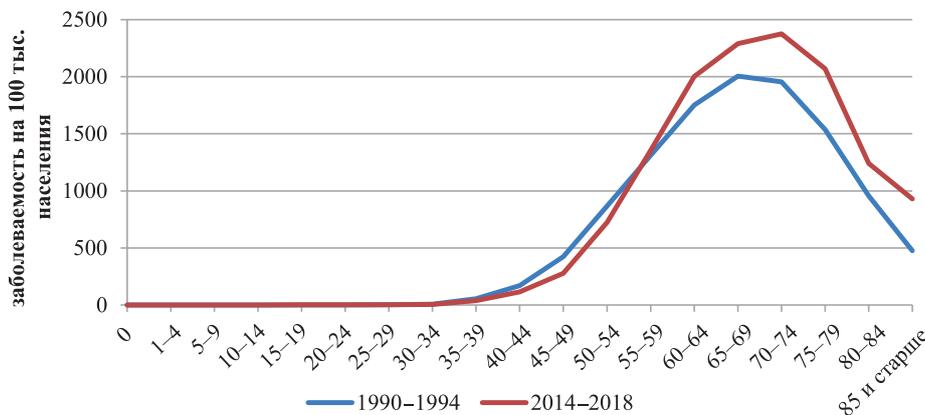


Рис. 7. Возрастные показатели заболеваемости злокачественными новообразованиями бронхов и легкого мужского населения сельской местности Республики Беларусь (средние пятилетние показатели на 100 тыс. населения соответствующего возраста), 1990–1994/2014–2018 гг.

Fig. 7. Age-related incidence rates of lung and bronchus cancer of rural male population of the Republic of Belarus (average five-year indicators per 100,000 population of the corresponding age), 1990–1994/2014–2018

Максимально высокий риск заболевания мужчин, проживающих в городах, наблюдался в возрасте от 65 до 79 лет, с выраженным пиком в 70–74 года в 1990–1994 гг. и 75–79 лет в 2014–2018 гг. Таким образом, при снижении заболеваемости городских жителей отмечено смещение ее пика к старшему возрасту. В сельской местности пик заболеваемости достигал своего предела на 5 лет раньше и смещался с возраста 65–69 лет на 70–74 года на фоне существенного роста заболеваемости лиц старше 60 лет. Среди женщин городов заболеваемость медленно нарастала с возрастом, со смещением пика заболеваемости на группу 80–84 года. В сельской местности пик заболеваемости женщин приходился на 10 лет раньше – в 70–74 года.

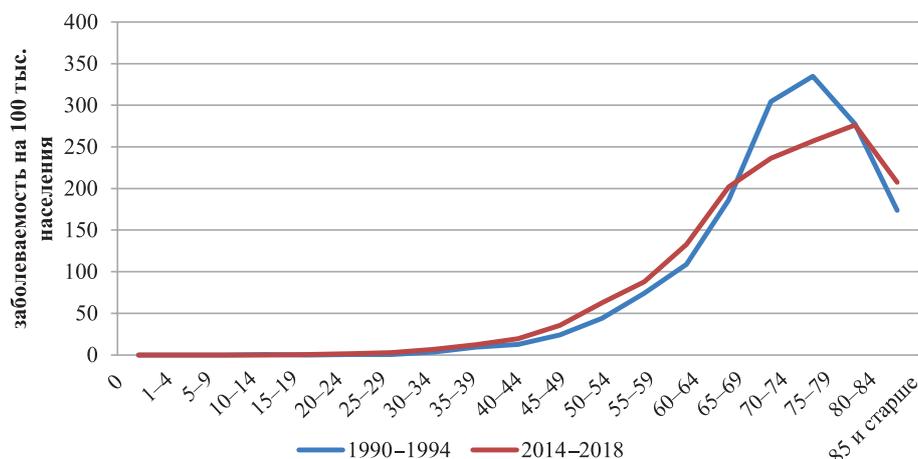


Рис. 8. Возрастные показатели заболеваемости злокачественными новообразованиями бронхов и легкого женского населения городов Республики Беларусь (средние пятилетние показатели на 100 тыс. населения соответствующего возраста), 1990–1994/2014–2018 гг.

Fig. 8. Age-related incidence rates of lung and bronchus cancer of urban female population of the Republic of Belarus (average five-year indicators per 100,000 population of the corresponding age), 1990–1994/2014–2018

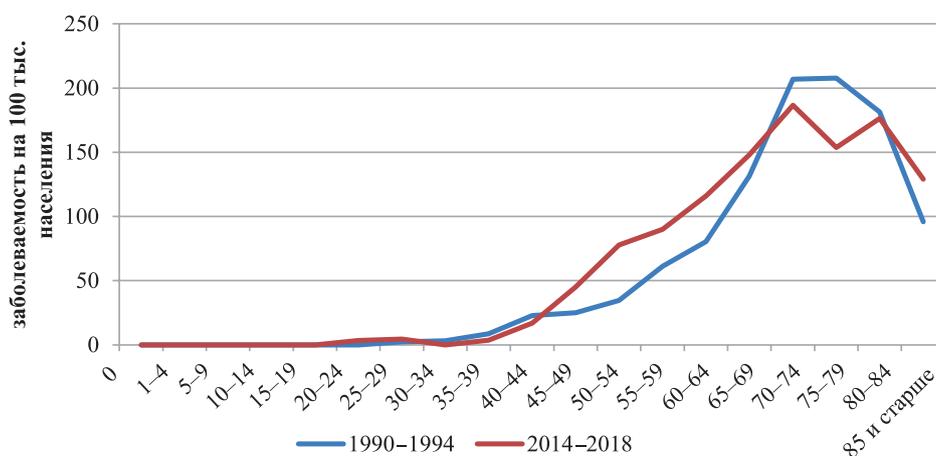


Рис. 9. Возрастные показатели заболеваемости злокачественными новообразованиями бронхов и легкого женского населения сельской местности Республики Беларусь (средние пятилетние показатели на 100 тыс. населения соответствующего возраста), 1990–1994/2014–2018 гг.

Fig. 9. Age-related incidence rates of lung and bronchus cancer of rural female population of the Republic of Belarus (average five-year indicators per 100 000 population of the corresponding age), 1990–1994/2014–2018

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что многие факты популяционных статистических анализов не в полной мере согласуются с признанными этиологическими причинами распространения рака бронхов и легкого среди различного контингента населения, что актуализирует проведение специальных эпидемиологических исследований для оценки возможностей первичной профилактики данного заболевания.

Своевременным является выяснение причин роста уровня заболеваемости раком легкого в сельской местности на фоне ее снижения среди мужчин городского населения, роста частоты заболеваний женского населения, в том числе трудоспособного возраста, а также особенностей территориального распространения заболевания.

Возможными причинами наблюдаемых эпидемиологических различий, исходя из известных факторов риска, может быть работа в условиях повышенной запыленности у работников сельского хозяйства (полевых, механизаторов), особенно в сочетании с курением (крепких сортов табака и сигарет без фильтров), воздействие дыма при печном отоплении, а также отсутствие адекватной терапии хронической воспалительной патологии легких в сельской местности.

Инкорпорация длительно живущих радионуклидов с пылью, по аналогии с радоном, также может повышать риск развития рака легкого, особенно у жителей сельской местности на контаминированных радионуклидами территориях. Хотя, по данным канцер-регистра, уровни заболеваемости сельского населения Гомельской (наиболее загрязненной радионуклидами) и Витебской (наименее загрязненной) областей статистически значимо не различаются. Скорость роста заболеваемости в Гомельской обл. значительно выше (что привело к увеличению уровня заболеваемости по сравнению с другими регионами, где заболеваемость сократилась). Факт отсутствия различий в заболеваемости населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения радионуклидами, частично может быть обусловлен миграционными процессами.

Беларусь входит в группу стран со средними для Европы уровнями заболеваемости новообразованиями бронхов и легкого [8], при этом в лечении этого заболевания за последнее десятилетие наблюдаются положительные сдвиги. Тем не менее, проблема ранней диагностики и лечения новообразований данной локализации остается сложной. В этой связи крайне актуальной представляется первичная профилактика рака бронхов и легкого, проведение которой требует специальных эпидемиологических исследований для определения управляемых факторов риска.

Библиографические ссылки

1. Hecht S. Tobacco carcinogens, their biomarkers and tobacco-induced cancer. *Nature Reviews. Cancer (Nature Publishing Group)*. 2003;3(10):733–744.
2. Schmid K, Kuwert T, Drexler H. Radon in indoor spaces: an underestimated risk factor for lung cancer in environmental medicine. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2010;107(11):181–186.
3. Okeanov AE, Sosnovskaya EY. Incident of malignant tumors among different groups of Belarusian population affected by Cherbobyl accident. In: *20 Jahre Leben mit Tschernobyl Erfahrungen und Lehren für die Zukunft. Internationalen Kongress in Feldkirch, 14–17 September 2006. Feldkirch: Vorarlberg (Osterreich); 2006. p. 283–300.*
4. O'Reilly KM, McLaughlin FM, Brecket WS, Sime PJ. Asbestos-related lung disease. *American Family Physician*. 2007;75(5):683–688.
5. Giululiani L, Jaxmar T, Cfsadio M, Gariglio M, Manna A, et al. Detection of oncogenic role of JC viruses (SV40, BKV, JCV, HCMV, HPV) and p53 codon 72 polymorphism in lung carcinoma. *Lung Cancer*. 2007;57(3):273–281.
6. Cheng YN, Chion HL, Sheu GT. The association of human papillomavirus 16/18 infection with lung cancer among nonsmoking Taiwanese. *Cancer Research (American Association for Cancer Research)*. 2001;61(7):2799–2803.
7. Hou SM, Falt S, Nyberg F. Glutathione S-transferase T1-null genotype interacts synergistically with heavy smoking on lung cancer risk. *Environmental Molecular Mutagenesis*. 2001;38(1):83–86.
8. Океанов АЕ, Моисеев ПИ, Евмененко АА, Левин ЛФ, Суконко ОГ, редактор. *25 лет против рака. Успехи и проблемы противораковой борьбы в Беларуси за 1990–2014 годы*. Минск: РНМБ; 2016. 415 с.

References

1. Hecht S. Tobacco carcinogens, their biomarkers and tobacco-induced cancer. *Nature Reviews. Cancer (Nature Publishing Group)*. 2003;3(10):733–744.
2. Schmid K, Kuwert T, Drexler H. Radon in indoor spaces: an underestimated risk factor for lung cancer in environmental medicine. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2010;107(11):181–186.
3. Okeanov AE, Sosnovskaya EY. Incident of malignant tumors among different groups of Belarusian population affected by Cherbobyl accident. In: *20 Jahre Leben mit Tschernobyl Erfahrungen und Lehren für die Zukunft. Internationalen Kongress in Feldkirch, 2006 September 14–17. Feldkirch: Vorarlberg (Osterreich); 2006. p. 283–300.*
4. O'Reilly KM, McLaughlin FM, Brecket WS, Sime PJ. Asbestos-related lung disease. *American Family Physician*. 2007;75(5):683–688.
5. Giululiani L, McLaughlin FM, Brecket WS, Sime PJ, et al. Detection of oncogenic role of JC viruses (SV40, BKV, JCV, HCMV, HPV) and p53 codon 72 polymorphism in lung carcinoma. *Lung Cancer*. 2007;57(3):273–281.
6. Cheng YN, Chion HL, Sheu GT. The association of human papillomavirus 16/18 infection with lung cancer among nonsmoking Taiwanese. *Cancer Research (American Association for Cancer Research)*. 2001;61(7):2799–2803.
7. Hou SM, Falt S, Nyberg F. Glutathione S-transferase T1-null genotype interacts synergistically with heavy smoking on lung cancer risk. *Environmental Molecular Mutagenesis*. 2001;38(1):83–86.
8. Okeanov AE, Moiseev PI, Evmenenko AA, Levin LF, Sukonko OG, editor. *25 let protiv raka. Uspekhi i problemy protivorakovoy borby v Belarusi za 1990–2017 gody*. [25 years against cancer. Successes and problems of the anti-cancer struggle in Belarus for 1990–2014]. Minsk: Respublikanskiy nauchno-prakticheskiy tsentr; 2016. 415 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 01.07.2020.
Received by editorial board 01.07.2020.

УДК 5:57:577:577.2:577.29

ОЦЕНКА АГРЕССИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА КАРЦИНОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У ПАЦИЕНТОК РАЗЛИЧНОГО РЕПРОДУКТИВНОГО ПЕРИОДА

К. В. ЮРЧЕНКОВА¹⁾, Р. М. СМОЛЯКОВА¹⁾, Е. М. ШПАДАРУК¹⁾, И. Н. АНДРЕЕВА²⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси,
ул. Академическая, 27, 220027, г. Минск, Беларусь

Установлено, что у пациенток, страдающих раком молочной железы, активного репродуктивного периода наблюдалось снижение содержания в крови эстрадиола (37,5 %) и прогестерона (25 %). У женщин постменопаузального периода выявлен гормональный дисбаланс, характеризующийся более выраженным (до 100 %) возрастанием уровня эстрадиола и прогестерона в крови на фоне понижения содержания лютеинизирующего и фолликулостимулирующего гормонов у 50 % и 75 % пациенток соответственно, а также повышения в 64 % случаев концентрации пролактина. В группе пациенток активного репродуктивного периода повышение содержания лютеинизирующего гормона наблюдалось у 37,5 %, фолликулостимулирующего гормона – у 12,5 %, пролактина – в 25 % случаев. Содержание в крови лютеинизирующего гормона находилось в прямой зависимости от концентрации фолликулостимулирующего гормона ($p < 0,05$). Определение содержания данных гормонов представляется важным дополнительным показателем для оценки степени агрессивности опухоли при выборе тактики лечения пациенток, страдающих раком молочной железы.

Ключевые слова: рак молочной железы; гормоны; гормональная регуляция; радиоиммунный метод; менопауза.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № М19М-015), а также сотрудников РНПЦ ОМР им. Н. Н. Александрова.

Образец цитирования:

Юрченкова КВ, Смолякова РМ, Шпадарук ЕМ, Андреева ИН. Оценка агрессивного потенциала карцином молочной железы у пациенток различного репродуктивного периода. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2020;3:82–89.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-82-89>

For citation:

Yurchenkova KV, Smolyakova RM, Spadaruk KM, Andreeva IN. Assessment of aggressive potential of breast carcinoma in patients of different reproductive periods. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2020;3:82–89. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-82-89>

Авторы:

Карина Вячеславовна Юрченкова – студентка 4 курса факультета экологической медицины.

Раиса Михайловна Смолякова – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры общей биологии и генетики.

Екатерина Михайловна Шпадарук – кандидат биологических наук; доцент кафедры общей биологии и генетики.

Ирина Николаевна Андреева – младший научный сотрудник лаборатории экологической генетики и биотехнологии.

Authors:

Karina V. Yurchenkova, 4th year student, faculty of environmental medicine.

karinayurchenkova@gmail.com

Raisa M. Smolyakova, doctor of science (biology), professor; professor at the department of general biology and genetics.

smol60@mail.ru

Katsiaryna M. Shpadaruk, PhD (biology); associate professor at the department of general biology and genetics.

katshp@tut.by

Irina N. Andreeva, junior researcher of the laboratory of environmental genetics and biotechnology.

t.krasnovskaya@otr.by

ASSESSMENT OF AGGRESSIVE POTENTIAL OF BREAST CARCINOMA IN PATIENTS OF DIFFERENT REPRODUCTIVE PERIODS

K. V. YURCHENKOVA^a, R. M. SMOLYAKOVA^a, K. M. SPADARUK^a, I. N. ANDREEVA^b

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

^bInstitute of Genetics and Cytology, National Academy of Sciences of Belarus
27 Akademičnaja Street, Minsk 220072, Belarus
Corresponding author: R. M. Smolyakova (smol60@mail.ru)

The study found that patients with breast cancer during the active reproductive period had a decrease in the blood content of estradiol (37,5 %) and progesterone (25 %). In patients of the postmenopausal period identified hormonal imbalance, characterized by a more pronounced (100 %) increased levels of estradiol and progesterone in the blood on the background of lowering of the content of luteinizing and follicle-stimulating hormone 50 % and 75 % of the patients respectively, and improvement in 64 % of cases the concentrations of prolactin. In the group of patients of the active reproductive period, an increase in the content of luteinizing hormone was observed in 37,5 %, follicle – stimulating hormone – in 12,5 %, and prolactin – in 25 % of cases. The content of luteinizing hormone in the blood was directly dependent on the concentration of follicle-stimulating hormone ($p < 0,05$). Determining the content of these hormones is an important additional indicator for evaluating the degree of tumor aggressiveness when choosing treatment tactics for patients with breast cancer.

Keywords: breast cancer; hormones; hormonal regulation; radioimmunological method; menopause.

Acknowledgements. This work was financially supported by the Belarusian Republican Foundation for Basic Research (grant № M19M-015) as well as employees of the State institution «N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus».

Введение

Заболеваемость злокачественными новообразованиями находится в прямой зависимости от состояния окружающей среды, при этом ухудшение экологической ситуации непосредственно сказывается на возрастании случаев болезни как за рубежом, так и в Республике Беларусь.

Рак молочной железы (РМЖ) занимает ведущие позиции в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями у женщин во всем мире. Из 184 стран, охваченных базой данных GLOBOCAN Международного агентства по изучению рака Всемирной организации здравоохранения, РМЖ является самым распространенным онкологическим заболеванием у женщин в 140 странах (76 %) и самой частой причиной смерти от рака в 101 стране (55 %). В структуре всех злокачественных новообразований среди женского населения Беларуси частота заболеваемости раком молочной железы в 2017 г. составила 22,2 %. Число вновь выявленных случаев заболевания составило 4 тыс. 616 пациентов. Вместе с тем Республика Беларусь входит в группу стран с относительно низким уровнем заболеваемости, мало чем отличаясь по аналогичным показателям от стран Балтии, Польши и России. Показатели смертности от РМЖ к заболеваемости в Беларуси составляют 26,3 % [1].

Заболеваемость раком молочной железы увеличивается с 40-летнего возраста и достигает пика в 60–65 лет. Гормональный фон организма женщины и его репродуктивная функция также влияют на риск возникновения РМЖ. Молочная железа является органом-мишенью и находится в прямой зависимости от функционального состояния гипоталамо-гипофизарной системы. Основная роль в развитии новообразований молочной железы принадлежит нарушению соотношения гормонов гипофиза: лютеинизирующего (ЛГ) и фолликулостимулирующего (ФСГ), секреции эстрогенов, прогестерона и пролактина. У женщин менопаузального и климактерического периодов изменяется продукция половых гормонов, гормонов гипофиза, что в некоторых случаях приводит к развитию фоновых и злокачественных заболеваний [2; 3].

В настоящее время не вызывает сомнения факт о взаимосвязи между развитием гормонального дисбаланса и раком молочной железы. Выявление нарушений гормонального статуса и оценка содержания гормонов, характеризующих репродуктивную функцию организма женщин, является значимым дополнительным диагностическим критерием и маркером оценки агрессивного потенциала карцином молочной железы [4; 5].

Цель исследования – оценка агрессивного потенциала карцином молочной железы на основе определения содержания стероидных и гипофизарных гормонов в периферической крови пациенток различного репродуктивного периода.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили клинические данные и периферическая кровь 40 пациенток в возрасте от 42 до 73 лет, страдающих РМЖ и получавших лечение в ГУ «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова».

У всех включенных в эксперимент женщин получено письменное согласие на выполнение исследования. Пациенткам выполнено клиническое, лабораторное, рентгенологическое и ультразвуковое обследование с обязательным морфологическим подтверждением диагноза, а страдающим раком молочной железы проведено радикальное хирургическое лечение.

Количественное определение в сыворотке крови стероидных гормонов (эстрадиола, прогестерона, лютеинизирующего и фолликулостимулирующего гормонов и пролактина) у пациенток, страдающих РМЖ, проводилось методом радиоиммунного анализа на анализаторе «470–0050 WIZARD», PerkinElmer (США), используя наборы реагентов РИА-ЭСТРАДИОЛ-СТ, РИА-ПРОГЕСТЕРОН-СТ, ИРМА-ФСГ-СТ, ИРМА-ЛГ-СТ и ИРМА-ПРОЛАКТИН-СТ производства Республики Беларусь.

Статистический анализ полученных результатов выполнен с применением компьютерных пакетов статистических программ STATISTICA (версия 10.0, StatSoft, США). Графическое представление результатов проводилось с использованием пакета прикладных программ EXCEL 2019. Достоверность различий показателей между группами пациенток оценивали по критерию Манн–Уитни (U-test). Исследование взаимосвязей между молекулярно-биологическими переменными и клиническими данными пациенток, концентрацией гормонов в периферической крови проводилось с использованием корреляционного анализа по Спирмену. При всех видах статистического анализа различия считали статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Развитие гормонального дисбаланса у женщин в климактерическом и постменопаузальном периоде связано с риском возникновения как фоновых, доброкачественных заболеваний, так и злокачественных новообразований. Изучение и мониторинг гормонального статуса у женщин данных возрастных групп является одной из важных диагностических задач и имеет первостепенное клиническое значение при развитии карцином молочной железы. Проведение сравнительного исследования гормонального статуса у женщин в различном репродуктивном периоде способствует раннему выявлению нарушений в секреции стероидных гормонов при развитии злокачественной опухоли и позволяет оценить степень ее агрессивности [6–8].

Возраст обследуемых пациенток варьировал от 42 до 73 лет (средний возраст – $57,6 \pm 8,9$). Пациентки, страдающие раком молочной железы, в зависимости от возрастной категории, были разделены на группы.

В первую группу наблюдения включено 16 пациенток с клинически установленной сохраненной овариально-менструальной функцией (средний возраст составил $44,43 \pm 2,37$ года). По результатам гистологического исследования у всех пациенток выявлен инвазивный протоковый рак. При анализе распространенности опухолевого процесса установлено, что у пациенток данной группы диагностирована I стадия опухолевого процесса у 25 %, II – у 12,5 %, III – у 37,5 %, IV стадия – в 25 % случаев. В исследуемой группе пациенток преобладала низкая степень дифференцировки (G3) опухоли (62,5 %), умеренная степень (G2) – у 37,5 %.

Во вторую группу исследования включено 24 пациентки с РМЖ в возрасте от 50 до 73 лет (средний возраст составил $61,46 \pm 5,88$ года), находящихся в клинически установленном постменопаузальном периоде. У данных женщин преобладала инвазивная протоковая опухоль в 83 % случаев, инвазивная дольковая карцинома молочной железы выявлена у 13 %, смешанный тип диагностирован в 3 %. По степени распространенности опухолевого процесса установлено, что I стадия детектирована у 25 % пациенток, II – в 58 %, III стадия – у 17 %. Умеренная степень дифференцировки (G2) опухоли диагностирована у 75 %, высокая степень (G1) – у 8 %, низкая степень – в 17 % случаев.

В настоящее время доказано, что эстрадиол стимулирует дифференцировку и развитие эпителия протоков молочной железы, усиливает митотическую активность эпителия, индуцирует формирование ацинусов, усиливает васкуляризацию и увеличивает гидратацию соединительной ткани [9].

Содержание эстрадиола в сыворотке крови у 50 % пациенток, страдающих раком молочной железы, с сохраненной овариально-менструальной функцией находилось в пределах нормы (0,2–0,8 нмоль/л). Повышенное содержание эстрадиола обнаружено в 12,5 % случаев, снижение концентрации – в 37,5 % случаев. Распределение пациенток по содержанию эстрадиола в крови представлено на рис. 1.

Прогестерон стимулирует рост эпителиальных клеток молочной железы [2]. Результаты проведенного исследования свидетельствуют, что и повышенное и пониженное содержание прогестерона в сыворотке крови пациенток с РМЖ сохраняется в равном соотношении – по 25 % случаев соответственно. У 50 % пациенток концентрация прогестерона в периферической крови находилась в пределах нормы (6–45 нмоль/л) (рис. 2).

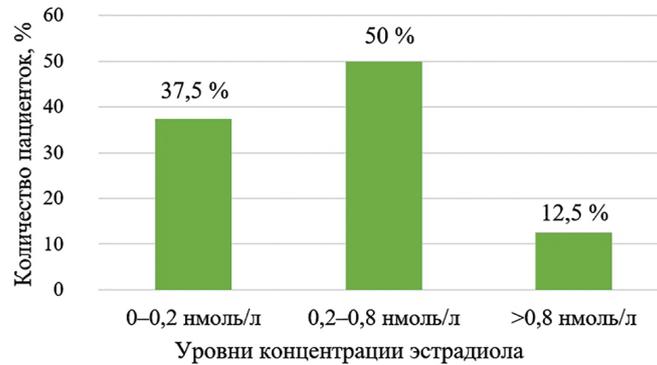


Рис. 1. Распределение пациенток, страдающих РМЖ, с сохраненной овариально-менструальной функцией по содержанию эстрадиола в крови

Fig. 1. Distribution of patients with breast cancer, with preserved ovarian-menstrual function by content estradiol in the blood

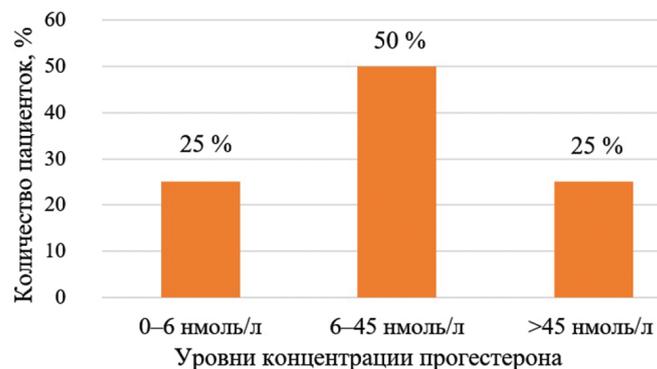


Рис. 2. Распределение пациенток, страдающих РМЖ, с сохраненной овариально-менструальной функцией по содержанию прогестерона в крови

Fig. 2. Distribution of patients with breast cancer, with preserved ovarian-menstrual function by content progesterone in the blood

Сравнительный анализ данных показал, что уменьшение содержания прогестерона отмечалось при одновременном снижении эстрадиола. Это может свидетельствовать о гормональном дисбалансе и дополнительном факторе риска развития РМЖ [7].

В современной мировой литературе [2; 9] отмечается, что при высокой концентрации в крови лютеинизирующего гормона у пациенток, страдающих РМЖ, снижается содержание рецепторов эстрогенов в опухолевой ткани молочной железы. В ходе проведенного исследования выявлено, что повышенная концентрация лютеинизирующего гормона обнаружена в 37,5 % случаев, понижение содержания – в 2,5 %. Нормальный уровень изученного гормона (1–10 МЕ/л) выявлен у 50 % пациенток (рис. 3).

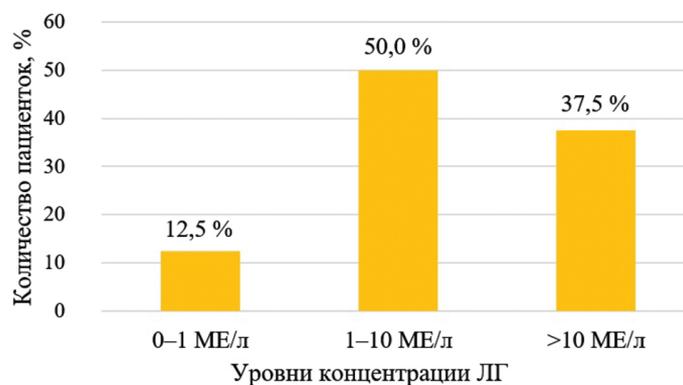


Рис. 3. Распределение пациенток, страдающих РМЖ, с сохраненной овариально-менструальной функцией по содержанию ЛГ в крови

Fig. 3. Distribution of patients with breast cancer, with preserved ovarian-menstrual function according to the content of luteinizing hormone in the blood

Результаты проведенного анализа содержания ФСГ в периферической крови показали его вариабельность в изучаемой группе пациенток, страдающих РМЖ. Пониженное содержание и его повышение у данной категории пациенток констатировано в 12,5 % случаев соответственно. Содержание ФСГ в пределах нормы (1,5–6 МЕ/л) выявлено у 75 % пациенток (рис. 5).

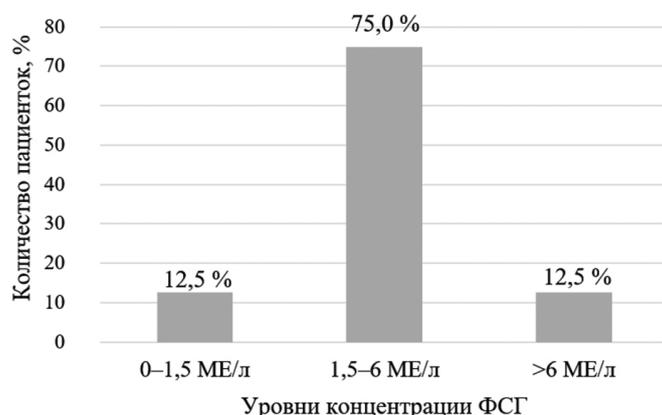


Рис. 4. Распределение пациенток, страдающих РМЖ, с сохраненной овариально-менструальной функцией по содержанию ФСГ в крови

Fig. 4. Distribution of patients with breast cancer, with preserved ovarian-menstrual function according to the content of follicle-stimulating hormone in the blood

Отмечено, что при высокой концентрации пролактина в крови пациенток с РМЖ снижается уровень рецепторов прогестерона в опухоли молочной железы [2; 9]. Анализ проведенного исследования свидетельствует, что в рассматриваемой группе у 25 % пациенток диагностировано повышенное содержание гормона (рис. 5). У 75 % пациенток концентрация пролактина в крови соответствовала норме (3,9–27,7 нг/мл).

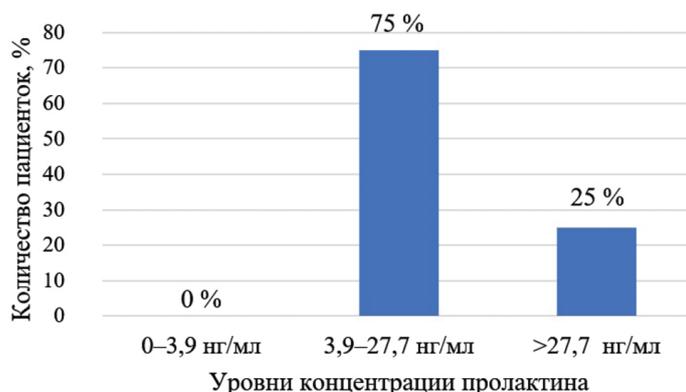


Рис. 5. Распределение пациенток, страдающих РМЖ, с сохраненной овариально-менструальной функцией по содержанию пролактина в крови

Fig. 5. Distribution of patients with breast cancer, with preserved ovarian-menstrual function by content prolactin in the blood

Отдельный анализ концентрации эстрадиола в крови пациенток, находящихся в периоде постменопаузы, показал его повышение в 100 % случаев. Анализ данных литературы свидетельствует, что у данной возрастной категории женщин уровень эстрадиола стабильно низкий, однако у пациенток с РМЖ данный показатель повышен, что определяет патогенное воздействие данного гормона на молочную железу в постменопаузальном периоде [10]. Повышенное содержание прогестерона выявлено у всех изучаемых пациенток.

Сравнительными исследованиями установлено снижение содержания в крови ЛГ у 50 % пациенток. Нормальный уровень ЛГ выявлен у 50 % пациенток (>12 МЕ/л).

Согласно данным литературы [9], уровень ФСГ у пациенток с установленным постменопаузальным периодом повышен значительно, чем ЛГ. В данном временном периоде повышенный уровень ФСГ способен поддерживать относительно регулярный фолликулогенез и овуляцию, но фертильность снижается. В анализируемой группе пациенток отмечено снижение содержания ФСГ у преобладающего количества

(75 % случаев) пациенток с РМЖ, нормальные значения установлены (>30 МЕ/л) у 25 % пациенток в период постменопаузы (рис. 6).

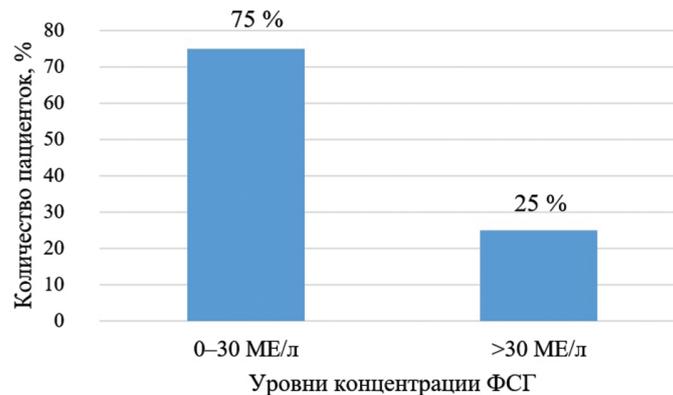


Рис. 6. Распределение пациенток, страдающих РМЖ, в постменопаузальном периоде по содержанию ФСГ в крови

Fig. 6. Distribution of patients with breast cancer in the postmenopausal period on the content by follicle-stimulating hormone in the blood

В сыворотке крови рассматриваемой группы пациенток (рис. 7) диагностировано повышенное содержание пролактина у 64 %, а в 36 % случаев данный показатель соответствовал норме (2,8–12,3 нг/мл).

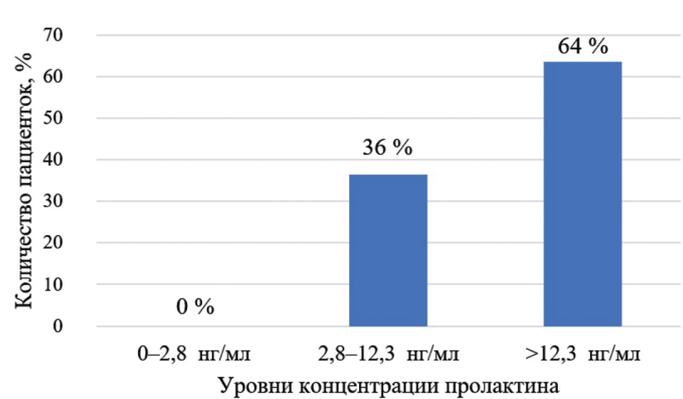


Рис. 7. Распределение пациенток, страдающих РМЖ, в постменопаузальном периоде по содержанию пролактина в крови

Fig. 7. Distribution of patients with breast cancer, in the postmenopausal period by the content of prolactin in the blood

Таким образом, в группе пациенток с сохраненной овариально-менструальной функцией отмечено снижение содержания эстрадиола и прогестерона в крови по сравнению с аналогичными показателями у пациенток в постменопаузальном периоде.

Анализ статистических данных по двум исследуемым группам пациенток свидетельствует, что содержание эстрадиола $0,28 \pm 0,47$ нмоль/л ($p_{\text{(Манн-Уитни)}} = 0,043$) и прогестерона $23,8 \pm 65,68$ нмоль/л ($p_{\text{(Манн-Уитни)}} = 0,037$) статистически значимо ниже у пациенток постменопаузального возраста, чем у пациенток с сохраненной овариально-менструальной функцией ($0,323 \pm 0,24$ нмоль/л и $31,94 \pm 25,5$ нмоль/л соответственно). Следует отметить, что в результате выполненных сравнительных исследований не выявлено статистически значимых различий по уровню пролактина в крови как в группе пациенток с сохраненной овариально-менструальной функцией $14,28 \pm 10,59$ нг/мл, так и в группе пациенток постменопаузального периода $20,86 \pm 18,74$ нг/мл ($p_{\text{(Манн-Уитни)}} > 0,05$), у которых данный показатель в 64 % случаев превышал норму.

Сравнительные исследования показали, что в анализируемых группах пациенток с РМЖ содержание в крови ЛГ (1-я группа – $9,53 \pm 11,40$ МЕ/л, 2-я группа – $16,71 \pm 14,93$ МЕ/л) и ФСГ (1-я группа – $11,79 \pm 23,97$ МЕ/л, 2-я группа – $24,13 \pm 28,51$ МЕ/л) не имело статистически значимых различий ($p_{\text{(Манн-Уитни)}} > 0,05$).

В результате статистического анализа данных проведена оценка корреляционной взаимосвязи между различными показателями:

- содержанием в крови эстрадиола, прогестерона, ЛГ, ФСГ и пролактина при РМЖ;
- гистологической формой рака молочной железы и содержанием стероидных гормонов в сыворотке крови пациенток;

– степенью распространенности опухолевого процесса и содержанием стероидных гормонов в сыворотке крови пациенток;
– степенью дифференцировки опухоли и содержанием гормонов в сыворотке крови;
– гистологической формой рака молочной железы, степенью распространенности опухолевого процесса и степенью дифференцировки опухоли.

Исследование взаимосвязи между указанными данными проводилось с использованием корреляционного анализа по Спирмену. При выполнении математической обработки данных приняты следующие пороговые значения коэффициентов корреляции: $R_s < 0,3$ – слабая связь, от 0,3 до 0,49 – корреляционная связь умеренной силы, от 0,5 до 0,69 – корреляционная связь средней силы, $R_s > 0,7$ – сильная корреляционная зависимость.

Результаты корреляционного анализа по Спирмену отражены в табл. Корреляционный анализ проводился при доверительном интервале $p < 0,05$.

Таблица

Характер корреляционных взаимоотношений содержания стероидных гормонов в сыворотке крови при РМЖ

Table

The nature of correlation relationships of the content of steroid hormones in blood serum in breast cancer

	Количество пациенток	Эстрадиол	Прогестерон	ЛГ	ФСГ	Пролактин	Стадия	Степень дифференцировки	Морфотип
Эстра-диол	32	–	0,290	-0,331	-0,298	-0,039	-0,020	0,003	-0,134
Прогестерон	32	0,290	–	0,039	-0,030	-0,001	-0,185	0,314	-0,142
ЛГ	32	-0,331	0,039	–	0,685	-0,203	0,277	-0,115	-0,089
ФСГ	32	-0,298	-0,030	0,685	–	-0,244	0,211	-0,249	-0,101
Пролактин	32	-0,039	-0,001	-0,203	-0,244	–	-0,057	-0,139	0,171
Стадия	32	-0,020	-0,185	0,277	0,211	-0,057	–	0,089	-0,295
Степень дифференцировки	32	0,003	0,314	-0,115	-0,249	-0,139	0,089	–	-0,416
Морфотип	32	-0,134	-0,142	-0,089	-0,101	0,171	-0,295	-0,416	–

Анализ выполненных исследований свидетельствует, что отмечена прямая связь средней силы между концентрацией в крови лютеинизирующего и фолликулостимулирующего гормонов ($R_s = 0,69$; $p_{(Спирмен)} < 0,05$). Анализируя взаимосвязь между содержанием стероидных гормонов в сыворотке крови пациенток с гистологической формой рака молочной железы, степенью распространенности опухолевого процесса и степенью дифференцировки опухоли, нами статистически значимых связей не выявлено ($p_{(Спирмен)} > 0,05$).

При изучении взаимосвязи с гистологическим типом опухоли, степенью распространенности опухолевого процесса и степенью дифференцировки опухоли наблюдалась статически значимая обратная связь между морфологическим типом и степенью дифференцировки опухоли ($R_s = -0,42$, $p_{(Спирмен)} < 0,05$).

Заключение

1. Рак молочной железы в изучаемых группах пациенток характеризовался нарушением гормонального баланса за счет увеличения содержания в крови пролактина, снижения эстрадиола и прогестерона, уменьшения концентрации лютеинизирующего и фолликулостимулирующего гормонов ($p > 0,05$).

2. Отмечена прямая связь средней силы между содержанием в крови лютеинизирующего и фолликулостимулирующего гормонов, достоверная обратная связь между морфологическим типом и степенью дифференцировки опухоли ($p < 0,05$).

3. Согласно предварительным данным, гормональный статус пациенток, страдающих раком молочной железы, является важным фактором в оценке агрессивного потенциала опухоли.

Библиографические ссылки

1. Океанов АЕ. *Статистика онкологических заболеваний в Республике Беларусь*. Минск. РНПЦ ОМР им. Н. Н. Александрова. 2018. 373 с.
2. Малыгина ТВ. Отдельные физиологические аспекты влияния гормонов на процессы в молочных железах. *Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия*. 2006; 6/2(46):177–188.
3. Герасимович ГИ. Особенности репродуктивной системы в различные возрастные периоды жизни женщины. *Здравоохранение*. 2015;3:18–29.
4. Кононенко ИБ. Важность оценки функции яичников у женщин при назначении эндокринотерапии рака молочной железы. *Медицинский совет*. 2018;10:118–126.
5. Беспалов ВГ. Патогенетическое лечение мастопатии и профилактика рака молочной железы. *Мать и дитя*. 2018;1(2):141–147.
6. Белоненко ГА. Современные аспекты диагностики и лечения дисгормональных воспалительных заболеваний молочных желез. *Таврический медико-биологический вестник*. 2017;20(3):34–38.
7. Громовенко ЕЮ. Дисгормональные состояния молочных желез у женщин с сопутствующими нарушениями менструально-репродуктивной функции. Комплексный подход к обследованию и лечению молочных желез с применением аппликации прогестерона как профилактика рака молочной железы. *Таврический медико-биологический вестник*. 2016;19(2):53–58.
8. Мустафин ЧН. Гормональная регуляция молочных желез и предменструальный синдром. *Лечащий врач*. 2018;3:44–49.
9. Злобнова ОА. Гормональный дисбаланс как один из ведущих патогенетических факторов развития рака молочной железы в климактерическом и постменопаузальном периодах. *Тюменский медицинский журнал*. 2012;2:43–44.
10. Butler L, Santoro N. The reproductive endocrinology of the menopausal transition. *Steroids*. 2011;76(7):627–635.

References

1. Okeanov AE. *Statistika onkologicheskikh zabolevaniy v Respublike Belarus* [Statistics of oncological diseases in the Republic of Belarus]. Minsk: RSPC OMR named after N. N. Alexandrov; 2018. 373 p. Russian.
2. Malykhina TV. Individual physiological aspects of the influence of hormones on processes in the mammary glands. *Vestnik SamGU. Estestvenno-nauchnaya seria* [Bulletin of SamGU. Natural science series]. 2006;6/2(46):177–188. Russian.
3. Gerasimovich GI. Features of the reproductive system in various age periods of a woman's life. *Zdravookhranenie* [Health]. 2015;3:18–29. Russian.
4. Kononenko IB. The importance of evaluating ovarian function in women when prescribing endocrinotherapy for breast cancer. *Meditsinskiy sovet* [Medical Council]. 2018;10:118–126. Russian.
5. Bespalov VG. Pathogenetic treatment of mastopathy and prevention of breast cancer. *Mother and child*. 2018;1(2):141–147. Russian.
6. Belonenko GA. Modern aspects of diagnosis and treatment of dyshormonal inflammatory diseases of the mammary glands. *Tavrisheskiy mediko-biologicheskiy vestnik* [Tavrishesky medico-biological Bulletin]. 2017;20(3):34–38. Russian.
7. Gromovenko EY. Dishormonal conditions of mammary glands in women with concomitant disorders of menstrual and reproductive function. A comprehensive approach to the diagnosis and treatment of mammary glands with the application of progesterone as a prevention of breast cancer. *Tavrisheskiy mediko-biologicheskiy vestnik* [Tavrishesky medico-biological Bulletin]. 2016;19(2):53–58. Russian.
8. Mustafin ChN. Hormonal regulation of the breast and premenstrual syndrome. *Lechashchiy vrach* [Attending physician]. 2018;3:44–49. Russian.
9. Slabnov OA. Hormonal imbalance as one of the leading pathogenetic factors in the development of breast cancer in the climacteric and postmenopausal periods. *Tumenskiy meditsinskiy zhurnal* [Tyumen medical journal]. 2012;2:43–44. Russian.
10. Butler L, Santoro N. The reproductive endocrinology of the menopausal transition. *Steroids*. 2011;76(7):627–635.

Статья поступила в редакцию 13.08.2020.
Received by editorial board 13.08.2020.

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 504.064:330.15

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КУЛЬТУР

О. И. РОДЬКИН¹⁾, Е. В. ЧЕРНЕНОК¹⁾, В. И. ГЛУХОВСКИЙ¹⁾, В. А. РАКОВИЧ²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь

²⁾Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,
ул. Франциска Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь

Образец цитирования:

Родькин ОИ, Черненко ЕВ, Глуховский ВИ, Ракович ВА. Биологическая рекультивация выработанных торфяных месторождений на основе использования энергетических культур. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2020;3:90–99.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-90-99>

For citation:

Rodzkin AI, Charnenok EV, Glukhovskij VI, Rakovich VA. Biological recultivation of post-mining peatlands on the base of energy crops cultivation. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2020;3:90–99. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-90-99>

Авторы:

Родькин Олег Иванович – кандидат биологических наук, доцент; заведующий кафедрой «Инженерная экология».
Черненко Евгения Вячеславовна – аспирант, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Экопром».
Глуховский Виктор Иванович – кандидат технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Экопром».
Ракович Вячеслав Александрович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией биогеохимии и агроэкологии.

Authors:

Aleh I. Rodzkin, PhD (biology), docent; head of the department engineering of ecology.
aleh.rodzkin@rambler.ru
Evgenija V. Charnenok, postgraduate, researcher of the research laboratory «Ecoprom».
e.v.chernenok@gmail.com
Victor I. Glukhovskij, PhD (engineering); head of the research laboratory «Ecoprom».
399147@tut.by
Vjacheslav A. Rakovich, PhD (engineering); head of the research laboratory of biogeochemistry and agroecology.
Mire4@tut.by

Общая площадь выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений (выработанных торфяников) в Беларуси составляет около 209,5 тыс. га. Эти территории относятся к нарушенным землям, рекультивация которых осложняется низким плодородием и разнообразием экологических условий. Проведена оценка эффективности биологической рекультивации выработанных торфяников на основе получения биомассы энергетических культур и производства композитных топливных брикетов с добавлением фрезерного торфа. В качестве культуры для биологической рекультивации использовались растения быстрорастущей ивы, селекционные сорта которой отличаются быстрыми темпами роста. Наши эксперименты показали, что на участках выработанных торфяников с хорошо разложившимся торфяным слоем наблюдались высокие показатели прироста биомассы ивы (7–10 т биомассы 10 %-й влажности в расчете на год), что сопоставимо с показателями, получаемыми на плодородных минеральных почвах. Дополнительным источником биомассы для производства брикетов могут быть растительные остатки (солома), полученные на близлежащих сельскохозяйственных предприятиях. Комплексный анализ основных технологических характеристик (влажность, зольность, теплота сгорания, механическая прочность) экспериментальных образцов композитных брикетов с различным соотношением фрезерного торфа и биомассы (опилки, солома) свидетельствует, что оптимальные технологические показатели выявлены для композитного топлива на основе опилок.

Ключевые слова: биологическая рекультивация; биомасса; энергетические культуры; композитное топливо; брикеты.

BIOLOGICAL RECLIVATION OF POST-MINING PEATLANDS ON THE BASE OF ENERGY CROPS CULTIVATION

A. I. RODZKIN^a, E. V. CHARNENOK^a, V. I. GLUKHOVSKIY^a, V. A. RAKOVICH^b

^aBelarusian National Technical University,

65 Niezaliežnasci Avenua, Minsk 220013, Belarus

^bInstitute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,

10 Frančysk Skaryna Street, Minsk 220076, Belarus

Corresponding author: O. I. Rodzkin (aleh.rodzkin@rambler.ru)

The area of post-mining peatlands in Belarus is 209,5 thousands hectares. These areas belong to degraded lands, and its reclamation is complicated task because of poor fertility and high variability. The goal of our experiments was assessment of effectivity of biological reclamation of post-mining peatlands on the base of biomass of energy crops obtaining and composite briquette production with adding of peat. Fast growing willow trees were chosen for biological reclamation, because they may fustily accumulate biomass (7–10 dry ton per year) on peaty lands with high level of peat decomposition. These rates of biomass accumulation of willow on peaty lands were comparable to willow biomass on mineral soils. The additional source of biomass in the regions which are close to post-mining peatlands is crops residues (straw). The comprehensive assessment of technological characteristics of experimental briquette with different rates of biomass (sawdust and straw) and peat have been done. The optimal characteristics have fuel which was produced from sawdust and peat.

Keywords: biological reclamation; biomass; energy crops; composite fuel; briquette.

Введение

Общая площадь торфяного фонда Беларуси составляет 2,4 млн га с геологическими запасами торфа 4 млрд т. Начиная с 2000-х годов, торфопредприятия разрабатывают 46 торфяных месторождений, площадь которых составляет 37,4 тыс. га, а общая площадь выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений (выработанных торфяников) в стране – около 209,5 тыс. га [1]. Земли, освобождающиеся после выработки торфяной залежи, характеризуются разнообразием экологических условий и не имеют аналогов среди естественных земельных угодий.

Выработанные торфяники образуются на основе трех типов торфяных болот: низинных, переходных и верховых. По классификации В. Н. Сукачева, низинные и переходные болота относятся к группе болот грунтового питания, имеющих плоскую поверхность, а верховые – к группе атмосферного питания с выпуклой поверхностью [2].

Низинные торфяники образуются в понижениях рельефа. На дне болот залегают слои хвощевого, тростникового, осокового, а также смешанных торфов. Эти торфа характеризуются сравнительно высокой степенью разложения (до 40 %), высокой зольностью (10–20 %), следовательно, и высоким потенциальным

плодородием. Соответственно, выработанные площади низинных торфяников должны быть отнесены к объектам первоочередного сельскохозяйственного освоения [3].

Остаточный торфяной слой выработанных торфяников существенно отличается по агрохимическим и биологическим свойствам от торфа верхнего слоя осушенного болота. В нем полностью заторможены необходимые для земледелия биологические процессы и образуется ряд недоокисленных соединений (метан, сероводород, аммиак и др.). Эффективное естественное плодородие остаточного слоя выработанных торфяников низкое. В нем мало легкорастворимых соединений фосфора, еще меньше подвижных соединений калия, недостаточно усвояемых растениями форм азота [4]. Остаточный слой торфа нельзя считать собственно почвой, но скорее органогенной породой из-за отсутствия в нем основных свойств почвы (плодородия и корнеобитаемости) [5]. Подстилающая минеральная порода во многом определяет способ осушения и технологию первичного освоения остаточного слоя торфа, а также характер использования этих земель. Подавляющее большинство выработанных торфяников Беларуси подстилается песками различной крупности и мощности их залегания. Однако встречаются торфомассивы, подстилаемые суглинками, глинами и сапропелями.

Общим для всех типов выработанных торфяников является незначительное содержание P_2O_5 и K_2O , а также азота в усвояемой форме. Следовательно, освоение любых площадей связано с внесением высоких доз минеральных удобрений в первые годы [6]. На вновь осваиваемых выработанных торфяниках в условиях неблагоприятного пищевого режима особое значение имеет применение микроудобрений, особенно борных, медных и молибденовых. Потребность в микроудобрениях устанавливают в каждом конкретном случае по результатам агрохимических анализов. Бедными, требующими внесения микроудобрений, считаются почвы с содержанием бора 0,2–0,3, меди – 0,3–1,5, молибдена – 0,05–0,15, кобальта – 0,2–1,0 мг/кг почвы.

Вариабельность выработанных торфяников по таким показателям, как степень разложения и мощность торфяного горизонта, зольность, содержание питательных элементов, обуславливает ряд проблем для их эффективного сельскохозяйственного использования, особенно при возделывании требовательных к условиям произрастания культур [7]. Кроме типа торфа и мощности его остаточного слоя, при определении хозяйственной ценности выработанных месторождений большое значение имеют особенности водно-минерального питания болота. Характер увлажняющих вод во многом определяет химические свойства торфа, следовательно, и систему агротехнических и организационных мероприятий, необходимую для освоения конкретных выработанных площадей. Общей закономерностью является возрастание объемной массы и плотности в остаточном слое торфа вглубь и резкий скачок всех физических свойств в подстилающей минеральной породе. Чем меньше мощность остаточного слоя торфа, тем ближе к поверхности граница разрыва капиллярной связи и хуже водный режим в пахотном слое выработанного торфяника. Водно-физические свойства на участке с мощным слоем остаточного слоя торфа (до 100 см) изменяются по глубине почвенного профиля постепенно, что создает более выровненный водный режим в верхнем пахотном слое по сравнению с участком, где оставлен мало-мощный остаточный слой.

Одним из важных показателей водно-физических свойств почвы является содержание в ней воздуха, кислород которого определяет степень минерализации органического вещества [8]. Аэрация в остаточном слое торфа выработанных торфяников почти полностью отсутствует (содержание кислорода не превышает 2–6 %), тогда как в верхних слоях невыработанных торфяников уровень содержания кислорода колеблется в пределах 37–62 %. Наибольшее количество нитратов и фосфатов образуется при влажности почвы 55–65 % полевой влагоемкости. При увеличении влажности почвы до 70–80 % содержание нитратов и фосфатов снижается (в 2 раза и более). Объясняется это тем, что ухудшается аэрация почвы и снижается активность деятельности аэробной микрофлоры, которая угнетается при недостатке кислорода.

Проведенные рядом исследователей эксперименты по изучению физиологии растений, позволили предложить мероприятия, способствующие росту их урожайности и успешной адаптации на таких землях [9]. Тем не менее, данный аспект нуждается в дополнительных исследованиях при разработке агротехники выращивания каждой конкретной культуры на выработанных торфяниках. Индикатором, определяющим тип торфяника и экологические условия, включая и водный режим, является растительный покров [10]. По характеру развития растительного покрова на торфовыработках можно ориентировочно судить о путях и приемах их сельскохозяйственного освоения. На выработанных торфяниках низинного типа в условиях сравнительно слабого переувлажнения зарастание начинается с первого года и не проходит стадию сорных растений. Здесь сразу появляются всходы древесных пород, кустарников и травянистых (разнотравно-злаковых) растений.

Помимо природного разнообразия территорий выработанных торфяников, их пестрота еще более увеличивается в связи с тем, что осваиваемые участки могут находиться на разных стадиях зарастания.

В соответствии со стандартом ГОСТ 17.5.1.02-85 «Охрана природы. Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации», выработанные торфяники относятся к нарушенным землям, которые образовались в результате работ по добыче и переработке торфа [11]. Существует несколько основных направлений рекультивации выработанных торфяников: обводнение или повторное заболачивание, сельскохозяйственное использование и лесоразведение [12]. Рекультивация выработанных торфяников, осуществляется последовательно в два этапа: технический этап и биологический этап [13].

На техническом этапе рекультивации нарушенных земель для сельскохозяйственного использования производится сплошное выравнивание и планирование территории, обеспечение и поддержание требуемого гидрологического режима, проведение агротехнических мероприятий (например, выкорчевка кустарников и глубокая вспашка). Так, в последние годы активно используется повторное заболачивание выработанных торфяников. Этот прием позволяет сохранять биоразнообразие на выработанных территориях, использовать их для развития рыбоводства, создания плантаций клюквы, производства биомассы на энергетические цели или других задач [14]. Сельскохозяйственное направление восстановления выработанных торфяников потенциально позволяет обеспечить производство продукции растениеводства. Существует значительное количество исследований, посвященных данной проблеме. Основное направление сельскохозяйственного использования – это залужение территорий для создания сенокосов и пастбищ, либо выращивание многолетних трав на кормовые цели [15]. Однако вариабельность выработанных торфяников по таким показателям, как степень разложения и мощность торфяного горизонта, зольность, содержание питательных элементов обуславливает ряд проблем для их эффективного сельскохозяйственного использования, особенно при возделывании требовательных к условиям произрастания культур. Одним из направлений, которое изучалось достаточно широко, является облесение таких территорий [16]. Искусственное лесоразведение сталкивается с теми же проблемами, что были упомянуты для сельскохозяйственных растений. Решение этих задач возможно после биологического этапа рекультивации, который включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на восстановление процессов почвообразования, улучшение агрофизических, агрохимических, биохимических и других свойств почвы. Сложность биологического этапа заключается в подборе растений, способных произрастать в неблагоприятных для жизнедеятельности экологических условиях. Необходим подбор растений, не требовательных к почвенным условиям, образующих большую вегетативную массу, что позволит со временем улучшить структуру почвы, обеспечить доступность органических соединений, повысить биологическую активность поверхностного слоя. Таким требованиям соответствует ряд видов древесно-кустарниковых и травянистых растений, произрастающих на территории вышедших из эксплуатации торфяных месторождений в естественных условиях. Например, на выработанных торфяниках низинного типа в течение первых 2–5 лет развиваются травянистые ассоциации, затем разрастается ива или ольха, а через 10–12 лет формируются кочкарно-осоковые ивняки.

Эффективная биологическая рекультивация выработанных торфяников возможна только при тщательной предварительной оценке экологических условий и подборе оптимальных для конкретных площадей видов растений с учетом рационального использования полученной продукции (биомассы). В ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности» даны рекомендации, определяющие условия посадки ольхи черной при глубине остаточного слоя торфа после завершения его добычи не менее 0,3 м, а также культивирования ягодных растений при глубине остаточного слоя торфа после завершения его добычи не менее 0,5 м. Один из вариантов – это использование в энергетических целях естественной болотной растительности или плантаций быстрорастущих древесных культур. Быстрорастущие древесные культуры (ива), занимающие определенную территорию, на протяжении 20–25 лет способны закрепить почву корневой системой, при этом уменьшить опасность эрозии и улучшить микроклимат. Они характеризуются быстрым накоплением фитомассы, что имеет важное значение не только с экологической, но и с экономической точки зрения. Дальнейшее использование биомассы возможно для получения тепловой энергии путем прямого сжигания или производства смешанных (композитных) брикетов на основе биотоплива и смешанного торфа. Использование таких брикетов, по сравнению с традиционными брикетами из чистого торфа, имеет ряд преимуществ. Цель исследования – оценка потенциала получения биомассы энергетических культур с территорий выработанных торфяников и производства композитных топливных брикетов на ее основе.

Материалы и методы исследования

Полевые эксперименты с растениями быстрорастущей ивы закладывались на выработанных торфяниках низинного типа в унитарном предприятии «Лидское», Лидского р-на, Гродненской обл.

Объекты исследования: сорт *Jorr Salix viminalis* шведской селекции [17]; перспективные клоны *Salix viminalis*, *Salix dasycalados*, *Salix alba*, приобретенные в селекционном центре Университета г. Ольштын, Польша.

Полевые опыты заложены на территории выработанных торфяников в 4-х вариантах с различной мощностью остаточной торфяной залежи – от 70 см до выхода на дневную поверхность минерального песчаного грунта. Средний уровень залегания грунтовых вод составлял около 40–50 см. Агрохимическая характеристика участков представлена в табл. 1. Преобладающие виды сорных растений – это ромашка аптечная (*Matricaria chamomilla*), горец вьюнковый (*Fallópia convólulus*), куколь обыкновенный (*Agrostemma githágo*), кукурузное просо (*Echinóchloa crus-gállli*), пырей ползучий (*Agropyrum repens*), осот полевой (*Sónchus arvénsis*).

Таблица 1

Агрохимическая характеристика опытных участков в унитарном предприятии «Лидское», Лидского р-на

Table 1

Agrochemical characteristic of experimental plots, Lida Peat Factory.

Варианты опыта	Показатели					
	Зольность торфа, %	Степень разложения торфа, %	NO ₃ мг/кг	P ₂ O ₅ мг/кг	K ₂ O мг/кг	pH
1	9	42	27,81	81,80	207,45	5,35
2	3	13	308,40	17,24	409,11	5,65
3	19	41	79,40	20,25	106,40	5,20
4	51	65	15,53	28,71	34,96	5,85

Экспериментальные образцы композитных брикетов при использовании в качестве компонента отходов деревообработки и соломы сельскохозяйственных культур были получены на прессе марки HOREX. Образцы биомассы и фрезерный торф предварительно подсушивались до равновесной влажности в закрытом помещении, то есть до полного равномерного распределения влаги, когда высыхание образцов в естественных условиях прекращается. Образцы соломы и древесной стружки предварительно измельчали на установке ИМ 10. Измельченная биомасса и торф просеивались через сита с размером ячейки 3 мм и смешивались в соотношении: 25 % (биомасса) на 75 % (торф); 50 % (биомасса) на 50 % (торф) и 75 % (биомасса) на 25 % (торф). Для сравнительного испытания были получены брикеты из чистого торфа.

Влажность и зольность торфа определяли по СТБ 2042-2010. «Торф, Методы определения влаги и зольности»; влажность биотоплива – по ГОСТ EN 14774-1-2013. «Биотопливо твердое. Определение содержания влаги»; зольность биотоплива – по ГОСТ 32988-2014. «Биотопливо твердое. Определение зольности»; теплоту сгорания топлива – по ГОСТ 147-2013; определение прочности брикетов проводили по ГОСТ 21289-75-ГОСТ 21291-75. «Брикеты угольные. Методы физических испытаний».

Результаты исследования и их обсуждение

С 70-х гг. XX в. проводятся активные исследования по оценке эффективности использования древесины быстрорастущих культур в качестве биотоплива для возобновляемой энергетики. В настоящее время изучение потенциала быстрорастущих подвидов и гибридов ивы, тополя, осины и других растений активно проводится в ряде зарубежных стран (Швеция, Финляндия, США, Канада, Польша и др.). Для таких плантаций в западной научной литературе существует специальный термин – SRC (short rotation coppice) – короткоцикловые посадки. Они обеспечивают максимально эффективный выход биотоплива на 3–4-ый год с начала закладки производственной плантации. Быстрые темпы роста возможны при селекции и использовании специальных быстрорастущих сортов или клонов. Короткоцикловые посадки древесных культур для получения возобновляемого биотоплива имеются практически во всех странах ЕС, а также в США и Канаде. На 2010 г. площади энергетических плантаций составляли, например, в Швеции – около 13 тыс. га, в Германии – около 4 тыс. га, в Польше – около 9 тыс. га [18–21]. Из всех быстрорастущих древесных культур, наиболее значительные площади заняты ивой, что объясняется следующими причинами:

Во-первых, более высокими темпами роста и, соответственно, низкой себестоимостью единицы энергии, полученной из фитомассы ивы, по сравнению с другими энергетическими культурами.

Во-вторых, ива как растение способна произрастать в условиях повышенной увлажненности на разных типах почв, характеризующихся различным уровнем плодородия.

В-третьих, она является достаточно зимостойкой, что очень важно для условий Беларуси.

Выход надземной биомассы с энергетических плантаций ивы может достигать 10–15 т сухого вещества в год (ежегодный прирост 1,5–2 м) [22]. В то же время прирост древесины черной ольхи, которая может произрастать на выработанных торфяниках, не превышает 5–6 т сухой биомассы с одного гектара в год (ежегодный прирост до 50 см) [23].

Разные виды ивняка предпочитают определенные типы почв и соответствующие экологические условия. Высокопродуктивные клоны и гибриды ивы, предлагаемые для энергетических целей и характеризующиеся быстрыми темпами нарастания биомассы, получены в основном от трех видов: ивы корзиночной (*Salix viminalis*), ивы шерстистопобеговой (*Salix dasyclados*) и ивы Шверина (*Salix schwerinii*). Все они относятся к группе евроазиатских бореальных географических элементов флоры. Согласно классификации, эти виды ивы относятся к кустарниковым типам. Вместе с тем высокими темпами роста отличается, например, такой вид, как ива белая (*Salix alba*), который относится к древесному типу и имеет ряд других ценных хозяйственно-полезных характеристик [24]. Показатели прироста древесины ивы на выработанных торфяниках по многолетним данным представлены в табл. 2.

Наиболее высокие показатели прироста наблюдались на участках выработанных торфяников с хорошо разложившимся торфяным слоем. Прирост древесины в 1-м варианте составил 9,9 т с гектара и в 3-м – 7,6 т с гектара в пересчете на год и на 10 % влажности [25]. Низкий прирост древесины характерен для 2-го и 4-го вариантов, 5 и 3,9 т соответственно. Второй вариант представлен выработанным торфяником с очень низкой степенью разложения торфа и, соответственно, плохой доступностью основных элементов питания растений. Четвертый вариант – это выработанный торфяник деградированного типа, с выходом подстилающей песчаной породы на поверхность и при этом с низким содержанием элементов питания (табл. 1). Таким образом, наши эксперименты свидетельствуют, что не любой тип выработанных торфяников пригоден для выращивания плантаций быстрорастущей ивы. Тем не менее, на участках с высокой степенью разложения торфа (остаточный слой не менее 30 см) продуктивность культуры была сопоставима с продуктивностью ивы на минеральных почвах, что свидетельствует о перспективности такого направления биологической рекультивации.

Таблица 2

Прирост древесины ивы сорта *Jorr Salix viminalis* на выработанных торфяниках

Table 2

Yield of willow biomass of variety *Jorr Salix viminalis* on post-mining peatlands

Вариант	Запасы древесины за три года, т/га		Прирост древесины в расчете на год, т/га	
	Влажность древесины			
	45 %	10 %	45 %	10 %
1	35,1	22,8	11,6	7,6
2	23,5	15,2	7,8	5,0
3	45,1	29,3	15,0	9,9
4	18,1	11,7	6,0	3,9
НСР ₀₅	6,8	4,4	2,2	1,5

Одна из задач нашего исследования – это оценка возможности получения композитных брикетов из торфа и возобновляемой биомассы. Производство композитного топлива позволит снизить нагрузку на окружающую среду, опираясь на следующие факторы:

- рациональное использование и постепенная биологическая рекультивация выработанных торфяников;
- снижение выбросов парниковых газов, оксидов серы и объемов образования золы за счет использования возобновляемой биомассы;
- уменьшение экологического воздействия на компоненты ландшафта вследствие оптимизации территориального планирования и создания искусственных фитоценозов.

Для получения композитного топлива можно использовать отходы деревообработки (опилки, щепа, стружка и др.), а также остатки сельскохозяйственного производства (сено, солома, шелуха семян подсолнечни-

ка, риса, гречки и др.). На территориях выработанных торфяников целесообразно получать биомассу естественной болотной растительности или создавать искусственные плантации из древесных пород, устойчивых к неблагоприятным условиям произрастания [26]. Дополнительным источником биотоплива являются прилегающие к территории выработанных торфяников сельскохозяйственные и деревообрабатывающие предприятия.

Экспериментальные образцы композитных топливных брикетов из смеси торфа и биомассы в различном соотношении были получены прессованием при давлении 70 Мпа, что сопоставимо с давлением промышленных прессов на торфобрикетных предприятиях. К основным технологическим характеристикам топливных брикетов, имеющим значение для качества топлива, относятся прочность, влажность, зольность и удельная теплота сгорания. Результаты измерения рабочей зольности, влажности и теплоты при сгорании экспериментальных образцов топливных композитных брикетов представлены в табл. 3.

Как следует из полученных результатов, наиболее высокая влажность, близкая к равновесной, была у брикетов из чистого фрезерного торфа. Добавление биомассы в состав композитного топлива обуславливало снижение влажности у всех экспериментальных образцов. Наиболее низкая влажность установлена для композитных брикетов из фрезерного торфа и опилок в соотношении 25 на 75 %.

По результатам исследований также установлено, что рабочая зольность брикетов с добавлением соломы увеличивается с ростом ее количества по отношению к торфу. Это связано с более высокими показателями зольности сухого вещества соломы, которая в наших экспериментах варьировала от 1 до 8 %. Удельная зольность сухого вещества опилок имела более низкие показатели, что обусловило снижение рабочей зольности при росте соотношения доли опилок в композитном топливном брикете по отношению к торфу. Низшая теплота сгорания брикетов с увеличением доли соломы снижается. В тоже время у всех экспериментальных образцов композитных брикетов с добавлением опилок показатели низшей удельной теплоты сгорания были сопоставимы с показателями чистого фрезерного торфа. Возможно, это объясняется более низкой зольностью опилок и более высоким содержанием углерода в биомассе.

Оценку механической прочности композитных топливных брикетов проводили с использованием электромеханической машины УТС 110М-100. Одним из конструктивных элементов машины является пресс высокого давления. Брикет помещали между цилиндрическими вставками прессы так, чтобы они упирались в центры его параллельной поверхности и доводили его до разрушения.

Испытание на прочность проводили в 4-кратной повторности. Результаты испытания на разрушающую нагрузку представлены в табл. 4.

Таблица 3

Показатели влажности, рабочей зольности и теплоты при сгорании экспериментальных образцов композитных топливных брикетов

Table 3

Parameters of humidity, ash contents and calorific value of experimental samples of fuel briquettes.

Вариант/состав топлива	Характеристики			
	Влажность, %	Зольность, %	Теплота сгорания, кДж/кг	Теплота сгорания, Ккал/кг
Торф (100 %)	21,70	2,55	16610	3965
Торф/солома (75/25)	16,01	2,77	16490	3940
Торф/солома (50/50)	14,13	2,90	16260	3880
Торф/солома (25/75)	12,20	3,95	16170	3860
Торф/опилки (75/25)	15,57	1,95	16421	3919
Торф/опилки (50/50)	13,07	1,92	16828	4017
Торф/опилки (25/75)	11,15	1,27	16875	4028

Как следует из полученных результатов, механическая прочность композитных брикетов с добавлением биомассы возрастала по сравнению с брикетами из чистого фрезерного торфа. Более высокая механическая прочность была у композитных брикетов состава: торф – опилки, 25 на 75 %.

Результаты испытания механической прочности экспериментальных образцов композитных топливных брикетов

Table 4

The results of testing of mechanical firmness of experimental samples of composite fuel briquettes.

Вариант/состав топлива	Разрушающая нагрузка, Н
Торф (100 %)	241±14
Торф/солома. (75/25)	265±12
Торф/солома (50/50)	271±17
Торф/солома (25/75)	320±22
Торф/опилки (75/25)	285±15
Торф/опилки (50/50)	298±19
Торф/опилки (25/75)	364±25

Таким образом, по результатам комплексной оценки, оптимальные технологические показатели выявлены для композитного топлива на основе опилок и торфа, для которого характерны более низкие показатели влажности и зольности, а также более высокие показатели удельной теплоты при сгорании.

Заключение

Результаты наших исследований свидетельствуют, что получение возобновляемой биомассы с территории вышедших из эксплуатации торфяных месторождений (выработанных торфяников) является эффективным направлением биологической рекультивации. Необходимым требованием для культур, используемых для биологической рекультивации, отвечают быстрорастущие древесные растения, которые обеспечивают высокие темпы прироста биомассы. В соответствии с данными литературных источников, наиболее быстрый прирост характерен для быстрорастущей ивы, однако проблемным вопросом является способность культуры адаптироваться к сложным экологическим условиям, характерным для выработанных торфяников. Тем не менее, наши эксперименты показали, что на участках выработанных торфяников с хорошо разложившимся торфяным слоем наблюдались высокие показатели прироста биомассы ивы (7–10 т в расчете на год), что сопоставимо с показателями, получаемыми на плодородных минеральных почвах. Следует отметить, что продуктивность черной ольхи, рекомендуемой в качестве культуры для биологической рекультивации выработанных торфяников, по литературным источникам, в 2–3 раза ниже полученных для ивы показателей.

Полученную биомассу целесообразно использовать для производства композитных брикетов из биомассы и фрезерного торфа на торфодобывающих предприятиях, расположенных вблизи выработанных торфяников. При этом дополнительным источником биомассы могут быть растительные остатки (солома), доставленные из прилегающих сельскохозяйственных предприятий. Получены также экспериментальные образцы композитных брикетов с различным соотношением фрезерного торфа и биомассы (опилки, солома). Комплексный анализ основных технологических характеристик (влажность, зольность, теплота сгорания, механическая прочность) свидетельствует, что оптимальные показатели выявлены для композитного топлива на основе опилок. При этом с возрастанием доли опилок в составе композитных брикетов качество топлива улучшается.

Библиографические ссылки

1. Бамбалов НН, Смирнова ВВ, Тановицкий ИГ, Беленький СГ, Ракович ВА. Современное состояние и перспективы использования торфяного фонда Беларуси. *Природные ресурсы*. 2000;3:5–15.
2. Сукачев ВН. *Избранные труды. В трех томах. Том 2. Проблемы болотоведения, палеоботаники и палеогеографии*. Ленинград: Наука; 1973. 352 с.
3. Костенко НЯ. К вопросу сельскохозяйственного использования выработанных торфяников низинного типа. В: *Мелиорация и водное хозяйство. Республиканский межведомственный тематический научно-технический сборник*. Киев: УкрНИИГиМ; 1971. Выпуск 16. с. 47–50.
4. Дмитриева ОМ. *Освоение под сельскохозяйственные культуры остаточного слоя торфа низинных болот северо-западной зоны при их комплексном использовании*: [диссертация]. Ленинград:[б. н.];1971. 172 с.

5. Трутнев АГ. *Возделывание сельскохозяйственных растений на выработанных торфяниках*. Москва; Ленинград: Сельхозиздат; 1963. 200 с.
6. Галкина АА. *Выработанные торфяники западных районов УССР, их свойства, окультуривание и повышение эффективного плодородия*: [автореферат диссертации]. Ровно:[б. н.] 1974. 29 с.
7. Лихацевич АП, Мееровский АС, Белковский ВН. Проблемы болотоведения, палеоботаники и палеогеографии. Состояние и перспективы сельскохозяйственного использования торфяных почв. *Природные ресурсы*. 1997;2:31–40.
8. Усенко ЛФ. *Исследование оптимальных условий водно-воздушного режима мелкозалежных торфяных почв для многолетних трав*: [автореферат диссертации]. Минск:[б. н.]; 1970. 25 с.
9. Легенченко БИ, Романовский ЧА. *Микроклимат и урожай*. Минск: Наука и техника; 1986. 71 с.
10. Нищенко АА. Растительность выработанных торфяников как индикатор их сельскохозяйственной ценности. В: Симаков ВН, редактор. *Аэропочвенные и геоботанические исследования Северо-Запада СССР*. Ленинград: ЛГУ; 1965. с. 18–33.
11. Охрана природы. Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации: ГОСТ 17.5.1.02-85. Взамен ГОСТ 17.5.1.02-78. Введен 01.01.86. Москва: Издательство стандартов; 1985. 16 с.
12. Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения: ГОСТ 17.5.1.01-83. Взамен ГОСТ 17.5.1.01-78. Введен 01.07.84. Москва: Издательство стандартов; 1984. 15 с.
13. ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности. [Интернет]. [Прочитано 20 июля 2020]. Доступно по: <https://enp.by/ehkonip-17-01-06-001-2017>.
14. Wichtmann W, Sivagrakau A, Haberl A, Tanovitskaya N, Rakovich V, Rodzkin A. Using biomass as substitute for peat. Example for wet peatland management (Paludiculture) in . In: Peatlands in balance. The 14th International peat congress Peatlands in balance, Stockholm, Sweden, 2012 June 3–8. Stockholm:[publisher unknown]; 2012. Abstract 284.
15. Стрелков ВГ. К вопросу создания культурных сенокосов на выработанных торфяниках. В: *Почва, удобрение и урожай*. Сборник научных трудов. Минск: БСХА; 1966. Том 41. с. 137–144.
16. Поджаров ВК. *Лесохозяйственное освоение торфяных выработок*. Минск: Ураджай; 1974. 200 с.
17. Caslin B, Finnan J, McCracken A, editors. Willow varietal identification guide. Oak Park: Teagasc; 2012. 64 p.
18. Mola-Yudego B. Regional potential yields of short rotation willow plantations on agricultural land in Northern Europe. *Silva Fennica*. 2010;44(1):63–76.
19. Mola-Yudego B, et al. Reviewing wood biomass potentials for energy in Europe: the role of forests and fast growing plantations. *Biofuels*. 2017;8(4):401–410.
20. Schweier J, Becker G. Harvesting of short rotation coppice – harvesting trials with a cut and storage system in Germany. *Silva Fennica*. 2012;46(2):287–299.
21. Mosie J, Karczmarczyk A, Wyporska K, Rodzkin A. Biomass production in energy forests – short rotation plantations. In: Karlsson I, Rydén L, editors. Rural development and land use. Uppsala: [publisher unknown]; 2012. p. 196–202. (Ecosystem Health and Sustainable Agriculture; 3).
22. Родькин ОИ, Волк Т. Биоэнергетические плантации ивы: опыт США для Беларуси. *Наука и инновации*. 2017;11(177):64–68.
23. *Ольха черная*. [Интернет]. [Прочитано 20 июля 2020]. Доступно по: <http://russianpermaculture.ru/rastenia/olha-chernaya-alnus-glutinosa/>.
24. Парфенов ВИ, Мазан ИФ. *Ивы (Salix L.) Белоруссии: таксономия, фитоценология, ресурсы* Минск: Наука и техника; 1986. 167 с.
25. Родькин ОИ. Опыт создания искусственных короткоциклового плантаций ивы на выработанных торфяниках. *Сибирский лесной журнал*. 2018;3:83–92.
26. Афонин АА. *Ивы Брянского лесного массива: проблема повышения продуктивности и устойчивости насаждений и пути ее решения*. Депонент в ВИНТИ 15.09.2005, № 1227-В2005. Брянск: Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского. 2005. 172 с.

References

1. Bambalov NN, Smirnova VV, Tanovitskiy IG, Belenkiy SG, Rakovich VA. *Sovremennoe sostojanie i perspektivy ispol'zovanija torfjanogo fonda Belarusi* [Current state and prospects of using the peat fund in Belarus]. *Природные ресурсы*. 2000;3:5–15. Russian.
2. Sukachev VN. *Izbrannye Trudy. V 3 tomakh. Tom 2. Problemy bolotovedenija, paleobotaniki i paleogeografii* [Selected works. In 3 parts. Part 2. Problems of bog science, paleobotany and paleogeography]. Leningrad: Nauka; 1973. 352 p. Russian.
3. Kostenko NJa. *K voprosu selskohozjajstvennogo ispolzovanija vyrabotannyh torfjanikov nizinnogo tipa. V: Melioracija i vodnoe hozjajstvo. Respublikanskiy mezhdovodstvennyy tematičeskij nauchno-tehnicheskij sbornik* [On the issue of agricultural use of low-lying peat bogs. In: Melioration and water management]. Kiev:UNIIGiM; 1971. Issue 16. p. 47–50. Russian.
4. Dmitrieva OM. *Osvoenie pod selskohozjajstvennyye kultury ostatochnogo sloja torfa nizinyh bolot severo-zapadnoj zony pri ih kompleksnom ispolzovanii* [Development for agricultural crops of the residual layer of peat in low-lying bogs in the north-western zone with their complex use]: [dissertation]. Leningrad: [publisher unknown]; 1971. 172 p. Russian.
5. Trutnev AG. *Vozdeljvanie selskohozjajstvennyh rastenij na vyrabotannyh torfjanikah* [Cultivation of agricultural plants on worked-out peatlands] Moscow; Leningrad: Selhozizdat; 1963. 200 p. Russian.
6. Galkina AA. *Vyrabotannye torfjaniki zapadnyh rajonov USSR, ih svojstva, okulturivanie i povyshenie jeffektivnogo plodorodija* [Developed peat bogs in the western regions of the Ukrainian SSR, their properties, cultivation and increasing effective fertility]: [PhD thesis]. Rovno: [publisher unknown]; 1974. 29 p. Russian.
7. Lihacevich AP, Meerovskiy AC, Belkovskiy VN. *Sostojanie i perspektivy selskohozjajstvennogo ispolzovanija torfjanij pochv* [State and prospects of agricultural use of peat soils]. *Природные ресурсы*. 1997;2:31–40. Russian.
8. Usenko LF. *Issledovanie optimalnyh uslovij vodno-vozdushnogo rezhima melkozaleznyh torfjanij pochv dlja mnogoletnih trav* [Study of the optimal conditions for the water-air regime of shallow peat soils for perennial grasses]: [PhD thesis]. Минск: [publisher unknown]; 1970. 25 p. Russian.
9. Legenchenko BI, Romanovskij ChA. *Mikroklimat i urozhaj* [Microclimate and harvest]. Минск: Наука и техника, 1986. 71 p. Russian.

10. Nicenko AA. *Rastitelnost vyrabotannyh torfjanikov kak indikator ih selskhozajstvennoj cennosti. V: Simakov VN, redactor. Agropochvennye i geobotanicheskie issledovanija Severo-Zapada SSSR: sbornik statej* [Vegetation of worked-out peatlands as an indicator of their agricultural value. In: Sivakov VN, editor. Agrosoil and geobotanical studies of the North-West of the USSR]. Leningrad: LGU;1965. p. 18–33. Russian.
11. *Okhrana prirody. Zemli. Klassifikacija narushennyh zemel' dlja rekul'tivacii : GOST 17.5.1.02-85. Vzamen GOST 17.5.1.02-78. Vvedeno 01.01.86* [Nature protection. Earth. Classification of disturbed lands for reclamation: GOST 17.5.1.02-85. Instead of GOST 17.5.1.02-78. Introduction 1986 January 01]. Moscow : Izdatelstvo standartov, 1985. 16 p. Russian.
12. *Okhrana prirody. Rekultivacija zemel. Terminy i opredelenija : GOST 17.5.1.01-83. Vzamen GOST 17.5.1.01-78 ; Vvedeno 01.07.84.* [Nature protection. Land reclamation. Terms and definitions: GOST 17.5.1.01-83. Instead of GOST 17.5.1.01-78. Introduction 1984 January 07]. Moscow: Izdatelstvo standartov, 1984. 15 p. Russian.
13. *EkoNiP 17.01.06-001-2017 Ohrana okruzhajushhej sredy i prirodnopolzovanie. Trebovanija jekologicheskoj bezopasnosti* [EkoNiP 17.01.06-001-2017 Environmental protection and nature management. Environmental safety requirements]. [Internet]. [Cited 2020 July 20]. Available from: <https://enp.by/ehkonip-17-01-06-001-2017>. Russian.
14. Wichtmann W, Sivagrakau A, Habert A, Tanovitskaya N, Rakovich V, Rodzkin A. Using biomass as substitute for peat. Example for wet peatland management (Paludiculture). In: *Peatlands in balance. The 14th International peat congress Peatlands in balance, Stockholm, Sweden, 2012 June 3–8*. Stockholm:[publisher unknown]; 2012. Abstract 284.
15. Strelkov VG. *K voprosu sozdaniya kulturnyh senokosov na vyrabotannyh torfjanikah. V: Pochva, udobrenie i urozhaj. Sbornik nauchekh trudov* [On the issue of creating cultural hayfields on worked-out peatlands. In: Soil, fertilization and harvest]. Minsk: BSKHA; 1966. Part 41. p. 137–144. Russian.
16. Podzharov VK. *Lesohozajstvennoe osvoenie torfjanyh vyrabotok* [Forestry development of peat workings]. Minsk :Uradzhaj, 1974. 200 p. Russian.
17. Caslin B, Finnan J, McCracken A, editors. Willow varietal identification guide. Oak Park: Teagasc; 2012. 64 p.
18. Mola-Yudego B. Regional potential yields of short rotation willow plantations on agricultural land in Northern Europe. *Silva Fennica*. 2010;44(1):63–76.
19. Mola-Yudego B, et al. Reviewing wood biomass potentials for energy in Europe: the role of forests and fast growing plantations. *Biofuels*. 2017;8(4):401–410.
20. Schweier J, Becker G. Harvesting of short rotation coppice – harvesting trials with a cut and storage system in Germany. *Silva Fennica*. 2012;46(2):287–299.
21. Mosie J, Karczmarczyk A, Wyporska K, Rodzkin A. Biomass production in energy forests – short rotation plantations. In: Karlsson I, Rydén L, editors. Rural development and land use. Uppsala: [publisher unknown]; 2012. p. 196–202. (Ecosystem Health and Sustainable Agriculture; 3).
22. Rodzkin OI, Volk T. *Bioenergeticheskie plantacii ivy: opyt SShA dlja Belarusi* [Bioenergetic willow plantations: the US experience for Belarus]. *Nauka i innovacii*. 2017;11(177):64–68. Russian.
23. *Olha chernaja* [Black alder]. [Internet]. [Cited 2020 July 20]. Available from: <http://russianpermaculture.ru/rastenia/olha-chernaya-alnus-glutinosa/>. Russian.
24. Parfenov VI, Mazan IF. *Ivy (Salix L.) Belorussii: taksonomija, fitocenologija, resursy* [Willows (*Salix L.*) of Belarus: taxonomy, phytocenology, resources]. Minsk: Nauka i tehnika; 1986. 167 p. Russian.
25. Rodzkin, OI. *Opyt sozdaniya iskusstvennyh korotkociklovyh plantacij ivy na vyrabotannyh torfjanikah* [Experience of creating artificial short-cycle willow plantations on worked-out peatlands]. *Sibirskiy lesnoj zhurnal*. 2018;3:83–92. Russian.
26. Afonin AA. *Ivy Brjanskogo lesnogo massiva: problema povyshenija produktivnosti i ustojchivosti nasazhdenij i puti ee reshenija* [Willows of the Bryansk forest area: the problem of increasing the productivity and sustainability of plantations and ways to solve it]. Deponent v VINITI 2005 September 15, No 1227-V2005. Brjansk: Brjanskiy gosudarstvennyy universitet imeni akademika I. G. Petrovskogo; 2005. 172 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 18.08.2020.
Received by editorial board 18.08.2020.

УДК 634.737:581.5:581.522.4(476)

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ КЛЮКВЫ КРУПНОПЛОДНОЙ (*OXYCOCCUS MACROCARPUS* AIT. PERS.) НА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКАХ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ И СЕВЕРНОЙ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ БЕЛАРУСИ

Ж. А. РУПАСОВА¹⁾, Т. И. ВАСИЛЕВСКАЯ¹⁾, Н. Б. КРИВИЦКАЯ¹⁾,
В. С. ЗАДАЛЯ¹⁾, Э. И. КОЛОМИЕЦ²⁾, З. М. АЛЕЩЕНКОВА²⁾, Т. М. КАРБАНОВИЧ³⁾

¹⁾Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси,
ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь,

²⁾Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси,
ул. академика В. Ф. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Беларусь,

³⁾Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь,
ул. Кирова, 15, 220030, г. Минск, Беларусь

Приведены результаты сравнительного исследования в опытной культуре на выработанных торфяниках верхового типа в Смолевичском р-не Минской обл. и в расположенном на 250 км севернее Докшицком р-не Витебской обл. биохимического состава плодов сортов клюквы крупноплодной (*Oxycoccus macrocarpus* Ait. Pers.) – раннеспелого *Ben Lear* и позднеспелого *Stevens*. При внесении минерального удобрения Vasacot Plus 6 и микробного препарата МаКлоР в 5- и 10 %-ной концентрациях, а также некорневых обработок Экогум-комплексом выявлены основные тенденции

Образец цитирования:

Рупасова ЖА, Василевская ТИ, Кривицкая НБ, Задаля ВС, Коломиец ЭИ, Алещенкова ЗМ, Карбанович ТМ. Влияние удобрений на биохимический состав плодов клюквы крупноплодной (*Oxycoccus macrocarpus* Ait. Pers.) на выработанных торфяниках в центральной и северной агроклиматических зонах Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2020;3:100–109.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-100-109>

For citation:

Rupasova ZhA, Vasilevskaya TI, Krynitskaya NB, Zadalya VS, Kolomiets EI, Aleschenkova ZM, Karbanovich TM. The effect of fertilizers on the biochemical composition of *Oxycoccus macrocarpus* Ait. Pers. fruits on cutover peatlands in the central and northern agroclimatic zones of the Republic. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2020;3:100–109. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-3-100-109>

Авторы:

Жанна Александровна Рупасова – доктор биологических наук, профессор; член-корреспондент НАН Беларуси; заведующий лабораторией химии растений.

Тамара Ивановна Василевская – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории химии растений.

Наталья Болеславовна Кривицкая – научный сотрудник лаборатории химии растений.

Виктория Сергеевна Задаля – научный сотрудник лаборатории химии растений.

Эмилия Ивановна Коломиец – доктор биологических наук, профессор; член-корреспондент НАН Беларуси; директор Института микробиологии; заведующий лабораторией средств биологического контроля.

Зинаида Михайловна Алещенкова – доктор биологических наук; главный научный сотрудник лаборатории взаимоотношений микроорганизмов почвы и высших растений.

Татьяна Михайловна Карбанович – заместитель начальника главного управления растениеводства.

Authors:

Zhanna A. Rupasova, doctor of science (biology), professor; corresponding member of National Academy of Sciences of Belarus; head of laboratory of chemistry of plants.

j.rupasova@cbg.org.by

Tamara I. Vasilevskaya, PhD (biology); senior researcher of the laboratory of chemistry of plants.

t.vasilevskaya@cbg.org.by

Natalia B. Krynitskaya, researcher of the laboratory of chemistry of plants.

n.krynitskaya@cbg.org.by

Victoria S. Zadalya, researcher of the laboratory of chemistry of plants.

zada.93@mail.ru

Emilia I. Kolomiets, doctor of science (biology); corresponding member of National Academy of Sciences of Belarus; director of the Institute of microbiology of the of National Academy of Sciences of Belarus; head of the laboratory of biological control means.

kolomiets@mbio.bas-net.by

Zinaida M. Aleschenkova, doctor of science (biology); head of the laboratory of interrelations between microorganisms of soil and higher plants of the Institute of microbiology.

aleschenkova@mbio.bas-net.by

Tatiana M. Karbanovich, deputy head of the main plant industry directorate.

veget@mshp.gov.by

в изменении содержания органических соединений в плодах клюквы при продвижении на север. В обоих районах исследований использование удобрений способствовало преимущественному обогащению на 5–41 % плодов обоих сортов клюквы антоциановыми пигментами, растворимыми сахарами, дубильными и пектиновыми веществами и повышению сахарокислотного индекса на фоне их обеднения на 7–46 % катехинами, флавонолами и гидроксикоричными кислотами.

Показано, что в Смолевичском р-не все испытываемые агроприемы способствовали увеличению интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов клюквы по совокупности 14 показателей в 3–12 раз у сорта *Ben Lear* и 4–8 раз у сорта *Stevens* при наибольшей результативности Basacot Plus 6. Отмечено, что наряду с высокой эффективностью, применявшиеся для раннеспелого сорта Экогум-комплекс, а для позднеспелого – микробный препарат МаКлоР, уступали по результативности минеральному удобрению в 1,7–1,9 раза. В Докшицком р-не на фоне внесения Basacot Plus 6 установлено снижение интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов позднеспелого сорта в 2,4 раза по сравнению с контролем, тогда как использование органических удобрений обеспечило его повышение в 3,5–8 раз при наибольшей результативности 10 %-ного МаКлоРа.

Ключевые слова: полное минеральное удобрение; микробные препараты; клюква; сорта; плоды; углеводы; органические кислоты; фенольные соединения.

THE EFFECT OF FERTILIZERS ON THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF *OXYCOCCUS MACROCARPUS* AIT. PERS. FRUITS ON CUTOVER PEATLANDS IN THE CENTRAL AND NORTHERN AGROCLIMATIC ZONES OF THE REPUBLIC

ZH. A. RUPASOVA^a, T. I. VASILEVSKAYA^a, N. B. KRYNITSKAYA^a,
V. S. ZADALYA^a, E. I. KOLOMIETS^b, Z. M. ALESCHENKOVA^b, T. M. KARBANOVICH^c

^aCentral Botanical Garden, National Academy of Sciences of Belarus,
2v Sarganava Street, Minsk 220012, Belarus

^bInstitute of Microbiology, National Academy of Sciences of Belarus,
2 Academician V. F. Kuprevich Street, Minsk 220141, Belarus

^cMinistry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus,
15 Kirava Street, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: E. I. Kolomiets (kolomiets@mbio.bas-net.by)

Under pilot-plant conditions on the excavated peat deposits in Smolevichsky (Minsk region) and Dokshitsky (Vitebsk region) areas results of relative research of influence mineral (Basacot Plus 6) and organic (Ekogum-complex, 5 and 10 %-s' MaKloR) fertilizings on the biochemical composition of fruits American cranberry plants early-ripe *Ben Lear* and late-ripening *Stevens* cultivars. It was shown that moving northward, cranberry fruits were depleted of 5–89 % ascorbic acid and free organic acids, soluble sugars, anthocyanins and leucoanthocyanines themselves with a decrease in the sugar acid index and the absence of changes in the content of pectin substances, against the background of activation by 7–74 % accumulation hydroxycinnamic acids, tannins, catechins and flavonols. In both research areas, the use of fertilizers contributed to the predominant enrichment of 5–41 % of the fruits of both cranberry varieties with anthocyanin pigments, soluble sugars, tannins and pectins and an increase in the sugar acid index against the background of their depletion by 7–46 % catechins, flavonols and hydroxycinnamic acids.

It was shown that in the Smolevichi district, all tested agro-receptions contributed to an increase in the integral level of nutritional and vitamin value of cranberry fruits in the aggregate of 14 indicators 3–12 times in the *Ben Lear* cultivar and 4–8 times in the *Stevens* cultivar with the highest Basacot Plus 6 efficiency, along with the Ekohum complex was characterized by high efficiency for the early-ripening cultivar, and the microbial preparation MaKloR for the late-ripening variety, inferior in effectiveness to mineral fertilizer by 1.7–1.9 times. In the Dokshitsy district, with the introduction of Basacot Plus 6, a decrease in the integral level of the nutritional and vitamin value of late-ripening fruits was found to be 2.4 times lower than the control, while the use of organic fertilizers, on the contrary, ensured its increase by 3.5–8 times with the highest 10 % MaKloR performance.

Keywords: NPK-compound; microbial preparations; American cranberry; cultivars; biochemical composition; organic acids; soluble sugar; phenolic compounds.

Введение

Выбирая оптимальный режим минерального питания клюквы крупноплодной (*Oxycoccus macrocarpus* Ait. Pers.) при выращивании ее на рекультивируемых площадях, выбывших из промышленной

эксплуатации торфяных месторождений Беларуси, целесообразно дать сравнительную оценку эффективности минеральных и органических удобрений. В сопоставительный анализ входят такие параметры, как снижение химической нагрузки на субстрат за счет биологических механизмов стимуляции процессов развития и метаболизма данного интродуцента, которые способствуют получению экологически чистой, высоковитаминной ягодной продукции, отвечающей требованиям органического земледелия. Данные подходы в проведении исследований соответствуют принятому в ноябре 2018 г. в Республике Беларусь Закону «О производстве и обращении органической продукции».

Для реализации этой цели было осуществлено испытание на сортах клюквы разных сроков созревания новых видов удобрений – минерального гранулированного удобрения пролонгированного действия Basacote Plus 6M ($N_{15}P_8K_{12}$ кг/га д. в.) производства компании СОМРО (Германия), а также двух видов органических удобрений нового поколения – Экогум-комплекс и соответствующего биологической природе вересковых микробного препарата МаКлоР. Экогум-комплекс производства УП «Белуниверсалпродукт» (Республика Беларусь) – полностью натуральное гуминовое органическое удобрение с повышенной физиологической активностью, созданное на основе вытяжки из торфа с добавлением макро- и микроэлементов. Входящие в состав препарата гуминовые и фульвокислоты оказывают непосредственное влияние на клеточные мембраны, повышая их проницаемость и обеспечивая транспорт минеральных соединений в активные метаболические зоны растений.

Микробный препарат МаКлоР создан в Институте микробиологии НАН Беларуси специально для обработки почвы и корневой системы микрোকлубных и вегетирующих растений рода *Vaccinium*, являющихся, как и *Oxycoccus macrocarpus*, представителями сем. Ericaceae. Его основой являются азотфиксирующие бактерии и арбускулярно-микоризные грибы, входящие в состав препарата, которые размножаются на поверхности корневой системы и способствуют накоплению биологического азота и фосфора, стимулирующего у растений развитие ризосферы и ростовую функцию [1; 2].

Научный и практический интерес в этой работе представляет исследование ответной реакции на испытываемые агроприемы плодоносящих растений клюквы, уже вступивших в устойчивый генеративный период развития. На двух рекультивируемых участках торфяных месторождений верхового типа, расположенных в центральной и северной частях Беларуси, в 2018–2019 гг. проводилось сравнительное исследование влияния названных видов удобрений на содержание в плодах клюквы крупноплодной органических кислот, а также углеводов и фенольных соединений.

Материалы и методы исследования

Исследование влияния испытываемых видов удобрений на биохимический состав плодов пятилетних растений двух модельных сортов *O. macrocarpus* – *Ben Lear* (из раннеспелых) и *Stevens* (из позднеспелых) было осуществлено в двух районах страны – Смолевичском (Минская обл.) и Докшицком (Витебская обл.), расположенных друг от друга на расстоянии 250 км. Схема однотипных полевых экспериментов включала 5 вариантов при 3-кратной повторности опытов: **1)** контроль, без внесения удобрений; **2)** припосадочное (в мае) луночное внесение удобрения Basacot Plus 6 из расчета 1,5 г под растение; **3)** некорневая обработка вегетирующих растений раствором удобрения Экогум-комплекс в концентрации 15 мл на 3 л воды из расчета 75 мл на растение; **4)** припосадочное (в мае) луночное внесение 5 %-ного раствора препарата МаКлоР из расчета 0,2 л под растение; **5)** припосадочное (в мае) луночное внесение 10 %-ного раствора препарата МаКлоР из расчета 0,2 л под растение. В каждом варианте было высажено по 15 растений каждого сорта клюквы крупноплодной.

Для получения информации о биохимическом составе плодов опытных растений в период их съемной зрелости в каждом варианте определяли содержание сухих веществ по ГОСТ 28561-90 [3]; аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом [4]; титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом [4]; гидроксикоричных кислот (в пересчете на хлорогеновую) – спектрофотометрическим методом [5.]; растворимых сахаров – ускоренным полумикрометодом по Дюбойсу [6]; пектиновых веществ – кальциево-пектатным методом [4]; суммы антоциановых пигментов – по методу T. Swain, W. E. Hillis [7], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан [8]; собственно антоцианов и суммы катехинов (с использованием ванилинового реактива) – фотоэлектроколориметрическим методом [9; 10]; суммы флавонолов (в пересчете на рутин) – спектрофотометрическим методом [4]; дубильных веществ – титриметрическим методом Левенталя [11]. Аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

Выявление наиболее эффективных агроприемов осуществляли на основе защищенного патентом авторского способа ранжирования объектов исследований по совокупности анализируемых признаков [12].

Результаты исследования и их обсуждение

По нашим оценкам, плоды сортов *Ben Lear* и *Stevens* в Смолевичском р-не Минской обл. и сорта *Stevens* в Докшицком р-не Витебской обл. характеризовались довольно близкими между собой диапазонами варьирования в рамках эксперимента усредненных в двухлетнем цикле исследований количественных характеристик биохимического состава, составляющих для содержания сухих веществ: 12,5–14,1 %, 12,0–15,4 и 11,3–13,2 % при содержании в сухой массе свободных органических кислот – 16,5–21,6 %, 15,5–21,2 и 18,3–22,6 %; аскорбиновой кислоты – 374–468 мг/100 г, 383–467 и 365–540 мг/100 г; гидроксикоричных кислот – 658–739 мг/100 г, 643–670 и 489–757 мг/100 г; растворимых сахаров – 22,0–31,0 %, 21,3–31,0 и 21,5–25,5 %; пектиновых веществ – 5,5–7,3 %, 5,9–7,1 и 5,7–7,2 %; биофлавоноидов (Р-витаминов) – 12715–15348 мг/100 г, 13563–15848 и 11737–17546 мг/100 г, в том числе антоциановых пигментов 8424–11401 мг/100 г, 8580–11648 и 7033–10231 мг/100 г (из них собственно антоцианов 2050–2945 мг/100 г, 1400–3240 и 350–1180 мг/100 г, лейкоантоцианов 6234–8456 мг/100 г, 6701–8408 и 6074–9191 мг/100 г), катехинов 2015–2639 мг/100 г, 23400–3328 и 3224–4719 мг/100 г, флавонолов 1657–1978 мг/100 г, 1736–2201 и 1480–2908 мг/100 г и дубильных веществ 3,04–3,70 %, 3,33–4,03 и 4,74–5,36 % соответственно. Содержание в плодах опытных таксонов клюквы довольно значимого преобладания титруемых кислот в сочетании со сравнительно невысоким количеством растворимых сахаров обусловило низкие значения их сахарокислотного индекса, определяемого соотношением данных показателей и характеризующего вкусовые свойства ягодной продукции. При этом диапазоны его варьирования в рамках эксперимента составляли 1,10–1,75, 1,06–1,60 и 1,05–1,36 соответственно.

При относительном сходстве приведенных диапазонов варьирования обозначенных признаков в плодах опытных растений все же нельзя не обратить внимания на примере сорта *Stevens* на их весьма выразительные межрегиональные различия, о степени которых можно судить по данным табл. 1.

Таблица 1

Межрегиональные различия (Докшицкий р-н / Смолевичский р-н) биохимических характеристик плодов *O. macrocarpus* сорта *Stevens* в вариантах полевого опыта, %

Table 1

Interregional differences (Dokshitsky district / Smolevichi district) of biochemical composition of *O. macrocarpus* fruits cv. *Stevens* in variants of field experience, %

Показатель	Варианты опыта				
	Контроль	Basacot Plus 6	Экогум-комплекс	5 % МаКлоР	10 % МаКлоР
Сухие вещества	-14,3	-20,4	+10,0	+6,6	–
Свободн. органич. кислоты	+18,1	+20,2	-11,3	-9,9	-8,9
Аскорбиновая кислота	-4,8	+14,1	-11,6	+20,0	-15,3
Гидроксикоричн. кислоты	+17,8	-27,1	+11,4	+7,3	+13,1
Растворимые сахара	–	-21,0	-17,7	-13,4	–
Сахарокислотный индекс	-14,6	-34,4	-7,5	-3,7	+10,4
Пектиновые вещества	–	–	–	+5,5	–
Собственно антоцианы	-15,7	-89,2	-61,4	-56,9	-56,5
Лейкоантоцианы	-15,4	-20,5	-5,1	+15,3	+20,4
Сумма антоц. пигментов	-15,5	-39,6	-20,4	–	–
Катехины	+69,6	+37,8	+74,4	+69,9	+32,4
Флавонолы	+25,0	-20,4	+58,1	+20,5	+49,5
Сумма биофлавоноидов	+8,6	-25,9	+8,1	+14,2	+14,7
Дубильные вещества	+43,8	+33,0	+44,7	+37,4	+24,6
Суммарный показатель	+102,6	-193,4	+71,7	+112,8	+84,4

Примечание. Прочерк (–) означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий при $p < 0,05$

Заметим, что направленность данных различий и их относительные размеры определялись видом используемых удобрений и химической природой исследуемых соединений. Так, на сравнительно небольшом расстоянии между опытными стационарами в Докшицком р-не плоды этого сорта в большинстве вариантов опыта оказались в меньшей степени насыщенными, чем экспериментальные аналоги в Смолевичском р-не, на 9–11 % свободными органическими кислотами, 5–15 % аскорбиновой кислотой, на 13–21 % растворимыми сахарами при меньших на 4–34 % значениях сахарокислотного индекса, свидетельствующих

об их более кислом вкусе, но при относительной сопоставимости параметров накопления пектиновых веществ. При этом они характеризовались на 16–40 % меньшим содержанием антоциановых пигментов, в том числе на 16–89 % собственно антоцианов и на 5–21 % лейкоантоцианов, тогда как для катехинов и флавонолов было показано на 32–74 и 21–58 % более высокое содержание, способствовавшее увеличению на 8–15 % общего количества Р-витаминов. Наряду с этим в северном регионе наблюдалась заметная активизация, по сравнению с центральным, накопления в плодах сорта *Stevens* и других соединений фенольной природы, в частности, гидроксикоричных кислот на 7–18 % и дубильных веществ (танинов) на 25–45 %.

Поскольку обозначенные выше доминирующие тенденции в характере межрегиональных различий в биохимическом составе плодов прослеживались не во всех вариантах опыта, а параметры накопления исследуемых соединений характеризовались заметной вариабельностью в рамках эксперимента, то для выявления вариантов опыта с наибольшим и наименьшим проявлением данных различий, была определена суммарная величина последних, с учетом их направленности (табл. 1). Как видим, в условиях северного района в контроле и в вариантах опыта с применением органических удобрений имело место увеличение на 72–113 % суммарного эффекта в изменении качества плодов сорта *Stevens* по совокупности 14 характеристик биохимического состава. По сравнению с центральным районом оно наиболее значительное при использовании 5 %-ного МаКлоРа, тогда как внесение минерального удобрения способствовало его снижению почти на 200 %.

Вместе с тем на фоне испытываемых агроприемов была установлена существенная трансформация биохимического состава плодов, степень которой, как и в межрегиональных различиях, определялась не только химической природой действующих веществ, но и генотипом опытных растений. Так, в Смолевичском р-не проводили исследования с двумя сортами клюквы, при этом у сорта *Ben Lear* не было выявлено значимого влияния минерального удобрения и 5 %-ного МаКлоРа на содержание в них сухих веществ. Однако при использовании Экогум-комплекса и 10 %-ного МаКлоРа наблюдалось его увеличение не более чем на 5–9 % по сравнению с контролем, тогда как у сорта *Stevens* во всех вариантах опыта с внесением удобрений отмечено снижение данного показателя на 8–22 %, а наиболее значительное при применении Экогум-комплекса и 5 %-ного МаКлоРа (табл. 2). При этом у раннеспелого и позднеспелого сортов клюквы установлены прямо противоположные тенденции в изменении содержания свободных органических и аскорбиновой кислот относительно контроля. Так, если у первого таксона использование всех видов удобрений в основном ингибировало биосинтез данных соединений на 7–18 и 6–20 % соответственно, то у второго наблюдалась активизация их накопления на 21–37 и 8–22 %, наименее выраженная при внесении Basacot Plus 6. Заметим, что и в условиях северного Докшицкого р-на у сорта *Stevens* прослеживались сходные тенденции в изменении содержания сухих веществ, титруемых аскорбиновой кислотой в вариантах опыта с использованием удобрений, но с иной степенью выразительности.

В двух районах, где проводилось исследование, внесение всех видов удобрений способствовало заметной активизации накопления в плодах клюквы пектиновых веществ – на 12–33 % у сорта *Ben Lear* и на 12–27 % у сорта *Stevens* при наибольшей ее выразительности на фоне применения Экогум-комплекса и особенно 10 %-ного МаКлоРа. Аналогичное стимулирующее действие применяемые агроприемы оказывали и на биосинтез растворимых сахаров. При этом у сорта *Ben Lear* увеличение их содержания на 17–41 % по сравнению с контролем отмечено во всех вариантах опыта, особенно при использовании Экогум-комплекса. Подобный эффект был установлен и у сорта *Stevens* при наибольшем его проявлении в Смолевичском р-не, в котором увеличение содержания растворимых сахаров составило 33–46 %, тогда как 10–19 % – в Докшицком р-не. Однако в обоих районах исследований наиболее значительным усилением их накопления, как и у сорта *Ben Lear*, был отмечен вариант опыта с обработками Экогум-комплексом при отсутствии значимых изменений на фоне применения 10 %-ного МаКлоРа (табл. 2).

Вместе с тем показанное выше существенное обеднение плодов сорта *Ben Lear* свободными органическими кислотами вместе с обогащением их растворимыми сахарами оказало позитивное влияние на их вкусовые качества, что подтверждалось увеличением показателя сахарокислотного индекса на 8–59 % относительно контроля, при наибольшем использовании Экогум-комплекса и наименьшем – на фоне внесения минерального удобрения. Улучшение вкуса плодов сорта *Stevens* в районах исследований проявилось менее выразительно, причем лишь в отдельных вариантах опыта, что было обусловлено активизацией накопления в них титруемых кислот, наиболее существенной в Смолевичском р-не. При этом увеличение сахарокислотного индекса плодов по сравнению с контролем в обоих районах не превышало 7–17 %. Более того, внесение 10 %-ного МаКлоРа в Смолевичском и Basacot Plus 6 в Докшицком р-не обусловило его снижение на 23 и 10 % соответственно, что свидетельствовало об ухудшении вкуса плодов.

Относительные различия вариантов полевого опыта с контролем
по биохимическим характеристикам плодов *Oxycoccus macrocarpus* в районах исследований, %

Table 2

Relative differences in the biochemical composition of *Oxycoccus macrocarpus*
fruits in field experiments in the areas of research, % of control

Показатель	Варианты опыта			
	Basacot Plus 6	Экогум-комплекс	5 % МаклоР	10 % МаклоР
Смолевичский р-н Минской обл.				
Сорт <i>Ben Lear</i>				
Сухие вещества	–	+5,4	–	+9,3
Свободн. органич. кислоты	+7,5	-11,9	-6,5	-17,9
Аскорбиновая кислота	-6,6	-18,5	-20,2	-16,2
Гидроксикоричн. кислоты	–	+6,6	-5,1	–
Растворимые сахара	+16,8	+40,9	+28,6	+16,8
Сахарокислотный индекс	+8,2	+59,1	+37,3	+41,8
Пектиновые вещества	+12,1	+26,2	+20,7	+33,2
Собственно антоцианы	-4,1	+34,5	+28,3	-6,4
Лейкоантоцианы	+22,1	+35,6	+15,7	+24,1
Сумма антоц. пигментов	+15,3	+35,3	+19,0	+16,2
Катехины	+9,1	-15,1	–	-16,7
Флавонолы	–	–	-11,5	+5,6
Сумма биофлавоноидов	+12,3	+20,7	+11,6	+8,4
Дубильные вещества	+21,7	+16,4	+5,3	+8,2
Сорт <i>Stevens</i>				
Сухие вещества	-7,8	-22,1	-21,4	-15,6
Свободн. органич. кислоты	+21,3	+36,8	+36,8	+30,3
Аскорбиновая кислота	+7,7	+18,6	+17,4	+22,0
Гидроксикоричн. кислоты	+4,3	–	–	–
Растворимые сахара	+40,8	+45,5	+32,9	–
Сахарокислотный индекс	+16,8	+7,3	–	-22,6
Пектиновые вещества	+11,9	+19,6	+11,6	+21,7
Собственно антоцианы	+131,4	+77,9	+65,7	+70,7
Лейкоантоцианы	+17,1	-6,7	+8,4	+6,3
Сумма антоц. пигментов	+35,8	+7,1	+17,7	+16,8
Катехины	-15,9	-5,1	-7,0	+19,6
Флавонолы	-15,5	-21,1	-12,8	-11,6
Сумма биофлавоноидов	+16,9	–	+7,7	+12,8
Дубильные вещества	+16,8	–	–	+13,3
Докшицкий р-н Витебской обл.				
Сорт <i>Stevens</i>				
Сухие вещества	-14,4	–	–	–
Свободн. органич. кислоты	+23,5	–	+4,4	–
Аскорбиновая кислота	+29,2	+10,1	+48,0	+8,6
Гидроксикоричн. кислоты	-35,4	-3,4	-8,6	–
Растворимые сахара	+10,2	+18,6	+14,0	–
Сахарокислотный индекс	-10,3	+16,2	+10,3	–
Пектиновые вещества	+12,7	+26,9	+21,9	+24,2
Собственно антоцианы	-70,3	-18,6	-15,3	-11,9
Лейкоантоцианы	+10,0	+4,7	+47,7	+51,3
Сумма антоц. пигментов	–	–	+37,5	+41,0
Катехины	-31,7	–	-6,9	-6,6
Флавонолы	-46,2	–	-16,0	+5,7
Сумма биофлавоноидов	-20,3	–	+13,3	+19,2
Дубильные вещества	+8,1	–	-4,4	–

Примечание. Прочерк (–) означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с контролем при $p < 0,05$

Усиление минерального питания клюквы крупноплодной способствовало заметной активизации накопления в плодах дубильных веществ, главным образом у раннеспелого сорта, что подтверждалось увеличением их содержания на фоне всех испытываемых агроприемов на 5–22 %, а наибольшем при внесении Basacot Plus 6 и наименьшем в вариантах с применением МаКлоРа. У позднеспелого сорта клюквы стимулирующий эффект от использования удобрений в этом плане проявился только при внесении Basacot Plus 6 и 10 %-ного МаКлоРа, причем в Докшицком р-не он подтвердился лишь при применении минерального удобрения, тогда как в остальных случаях значимых различий с контролем выявлено не было.

Особый научный и практический интерес в данных исследованиях представляет ответная реакция биофлавоноидного (Р-витаминного) комплекса плодов клюквы на испытываемые агроприемы. Как следует из табл. 2, их применение способствовало обогащению ягодной продукции данными соединениями по сравнению с контролем на 8–21 % у сорта *Ben Lear* и на 8–17 % у сорта *Stevens*. При этом для первого таксона наиболее результативными были обработки Экогум-комплексом, для второго – внесение Basacot Plus 6. В северном Докшицком р-не также наблюдалось усиление накопления полифенолов в плодах сорта *Stevens* на 13–19 %, но только в вариантах опыта с использованием микробного препарата МаКлоР, тогда как внесение полного минерального удобрения обусловило снижение их содержания на 20 % относительно контроля. При этом в обоих районах исследований применение Экогум-комплекса на растениях данного сорта оказалось абсолютно неэффективным.

В составе Р-витаминного комплекса плодов клюквы крупноплодной доминирующая роль принадлежит антоциановым пигментам, являющимися основными источниками антиоксидантной активности. Следует отметить, что в изменении их содержания на фоне испытываемых агроприемов нашли отражение основные закономерности, установленные для общего количества биофлавоноидов. При этом для обоих таксонов клюквы в Смолевичском р-не были показаны сходные диапазоны варьирования отклонений от контроля общего количества антоциановых пигментов в пределах 15–35 % у раннеспелого и 7–36 % у позднеспелого сорта при наибольшем эффекте в первом случае при обработках Экогум-комплексом, во втором – при внесении Basacot Plus 6. Вместе с тем для сорта *Stevens* была показана более выраженная активизация в плодах биосинтеза собственно антоцианов, тогда как для сорта *Ben Lear* – лейкоантоцианов. Так, если увеличение содержания первых у раннеспелого сорта отмечено только при использовании 5 %-ного МаКлоРа и Экогум-комплекса и не превышало 28–35 % относительно контроля, то у позднеспелого сорта подобное увеличение имело место во всех без исключения вариантах опыта с применением удобрений и достигало 66–131 %. При этом для лейкоантоцианов была показана обратная картина – более выраженное усиление накопления у сорта *Ben Lear* – на 16–36 % против 6–17 % у сорта *Stevens*. В Докшицком р-не в характере изменений содержания антоциановых пигментов в плодах этого сорта относительно контроля также проявилось выраженное сходство с установленным для общего количества биофлавоноидов. На это указывало усиление их накопления на 38–41 % только на фоне внесения препарата МаКлоР при отсутствии влияния на данный показатель остальных агроприемов. Но в отличие от Смолевичского р-на, здесь наблюдалось обогащение плодов лейкоантоцианами на 5–51 % на фоне их обеднения на 12–70 % собственно антоцианами (табл. 2).

Что касается катехинов и флавонолов, то у сорта *Ben Lear* при использовании органических удобрений (Экогум-комплекса и 10 %-ного МаКлоРа) наблюдалось ингибирование биосинтеза первых на 15–17 % и отсутствие достоверного влияния на их содержание 5 %-ного МаКлоРа, тогда как внесение минерального удобрения стимулировало их накопление на 9 % относительно контроля. При этом противоположные по знаку достоверные изменения в содержании флавонолов в пределах 6–12 % были выявлены только в вариантах опыта с применением МаКлоРа. В отличие от раннеспелого, для позднеспелого сорта на фоне испытываемых агроприемов было показано преимущественное снижение содержания и катехинов, и флавонолов (на 5–16 и 12–21 %) относительно контроля, и лишь внесение 10 %-ного МаКлоРа обусловило активизацию накопления первых почти на 20 % (см. табл. 2). Аналогичные, но более выраженные негативные изменения в содержании данных групп полифенолов в плодах сорта *Stevens* были установлены и в более северном Докшицком р-не. На это указывало преимущественное ослабление их биосинтеза на 7–32 и 16–46 % по сравнению с контролем, причем обработки Экогум-комплексом не оказали значимого влияния на накопление всех компонентов биофлавоноидного комплекса плодов данного сорта.

Таким образом, применение испытываемых видов удобрений способствовало существенной трансформации биохимического состава плодов модельных сортов клюквы крупноплодной, на что указывали весьма выразительные различия соответствующих вариантов опыта с контролем в содержании исследуемых соединений, которые в отдельных случаях не получили статистического подтверждения. С целью выявления агроприема с наиболее заметным позитивным влиянием на биохимический состав плодов, было проведено ранжирование вариантов опыта в порядке снижения интегрального уровня их питательной и витаминной ценности по совокупности показателей, приведенных в табл. 2 [12]. По величине амплитуды положительных и отрицательных различий вариантов по сравнению с контролем 14 исследуемых характе-

ристик биохимического состава плодов, приведенной в табл. 3, мы можем предполагать о степени влияния каждого испытываемого агроприема на качество плодов опытных растений, тогда как на основании кратного размера соотношения позитивных и негативных сдвигов можно было оценить степень изменений интегрального уровня питательной и витаминной ценности ягодной продукции в ту или иную сторону, приняв за 1 контрольный вариант опыта.

Таблица 3

Относительные различия вариантов полевого опыта с контролем по биохимическому составу плодов *Oxycoccus macrocarpus*, %

Table 3

Relative differences in the biochemical composition of *Oxycoccus macrocarpus* fruits in field experiments, % of control

Вариант опыта	Положительный	Отрицательный	Амплитуда	Положительный/отрицательный	Совокупный эффект
Смолевичский р-н Минской обл.					
Сорт <i>Ben Lear</i>					
2	125,1	10,7	135,8	11,7	+14,4
3	280,7	45,5	326,2	6,2	+235,2
4	166,5	43,3	209,8	3,8	+123,2
5	163,6	57,2	220,8	2,9	+106,4
Сорт <i>Stevens</i>					
2	320,8	39,2	360,0	8,2	+281,6
3	212,8	55,0	267,8	3,9	+157,8
4	198,2	41,2	239,4	4,8	+157,0
5	213,5	49,8	263,3	4,3	+163,7
Докшицкий р-н Витебской обл.					
Сорт <i>Stevens</i>					
2	93,7	228,6	322,3	0,4	-134,9
3	76,5	22,0	98,5	3,5	+54,5
4	197,1	51,2	248,3	3,9	+145,9
5	150,0	18,5	168,5	8,1	+131,5

Так, в Смолевичском р-не на фоне внесения минерального и микробного удобрений для сорта *Ben Lear* характеризовались меньшей амплитудой выявленных сдвигов, по сравнению с сортом *Stevens*, что свидетельствовало о меньшей восприимчивости биохимического состава его плодов к их действию, тогда как при обработках Экогум-комплексом наблюдалась обратная картина. Отметим, что для обоих таксонов клюквы во всех вариантах опыта было показано доминирование положительных сдвигов относительно контроля, свидетельствующем о заметном повышении интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов в 3–12 раз у сорта *Ben Lear* и 4–8 раз у сорта *Stevens*. Это подтверждалось также положительными значениями совокупного эффекта от 106 до 235 % в первом случае и от 157 до 282 % – во втором.

В соответствии со снижением кратного размера соотношения положительных и отрицательных сдвигов в биохимическом составе плодов под действием испытываемых агроприемов варианты полевого опыта были расположены следующим образом: у раннеспелого сорта – 2 > 3 > 4 > 5; у позднеспелого сорта – 2 > 4 > 5 > 3, при расхождении в этих рядах крайних позиций по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов в 4,0 и 2,1 раза соответственно. По нашему мнению, в обоих случаях наиболее результативным в улучшении качественного состава плодов по совокупности определяемых признаков относительно контроля было внесение минерального удобрения Basacot Plus 6, наряду с которым довольно успешными в этом плане следовало признать, в первом случае, обработки Экогум-комплексом, во втором – использование микробного удобрения МаКлоР, уступавшие по эффективности лидирующему агроприему в 1,7–1,9 раза.

Вместе с тем в условиях более северного Докшицкого р-на в большинстве вариантов опыта, особенно с использованием Экогум-комплекса, амплитуда выявленных сдвигов в биохимическом составе плодов

сорта *Stevens* относительно контроля соответствовала области более низких, чем в Смолевичском р-не, значений, что указывало на меньшее воздействие на него испытываемых агроприемов. Более того, на фоне внесения минерального удобрения Basacot Plus 6, признанного наиболее результативным в центральном районе, здесь было установлено доминирование отрицательных сдвигов в качественном составе плодов, свидетельствующее о его явном ухудшении по сравнению с контролем, обусловленное снижением интегрального уровня их питательной и витаминной ценности в 2,4 раза. На это же указывало и отрицательное значение совокупного эффекта, позволяющего охарактеризовать данный агроприем совершенно неприемлемым в этом плане. Отметим, что эффективность Экогум-комплекса и 5 %-ного МаклоРа лишь незначительно уступала установленной в Смолевичском р-не, однако наиболее результативным все же следовало признать применение 10 %-ного МаклоРа, обусловившего повышение качества плодов в 8,1 раза по сравнению с контролем. В этом случае последовательность вариантов опыта в порядке снижения эффективности испытываемых агроприемов была таковой: $5 > 4 = 3 > 1 > 2$ при расхождении крайних позиций по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов в 20 раз.

Заключение

В результате исследования, используя метод сравнения, на рекультивируемых участках, выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений верхового типа, в Смолевичском р-не Минской обл. и в расположенном на 250 км севернее Докшицком р-не Витебской обл., биохимического состава плодов сортов *O. macrocarpus* разных сроков созревания – раннеспелого *Ben Lear* и позднеспелого *Stevens* на фоне внесения минерального удобрения Basacot Plus 6 и микробного препарата МаклоР в 5- и 10 %-ной концентрациях, а также некорневых обработок Экогум-комплексом, установлено следующее:

– Межрегиональные различия в биохимическом составе плодов позднеспелого сорта определялись видом используемых удобрений и химической природой органических соединений. Показано, что с продвижением на север происходило их обеднение на 9–11 % свободными органическими кислотами, на 5–15 % аскорбиновой кислотой, на 13–21 % растворимыми сахарами, на 16–40 % антоциановыми пигментами, в том числе на 16–89 % собственно антоцианами, на 5–21 % лейкоантоцианами при снижении на 4–34 % показателя сахарокислотного индекса и относительной сопоставимости параметров накопления пектиновых веществ, на фоне активизации накопления гидроксикоричных кислот на 7–18 %, дубильных веществ на 25–45 %, катехинов и флавонолов соответственно на 32–74 и 21–58 %, что способствовало увеличению на 8–15 % общего выхода Р-витаминов.

– В двух районах исследований применение минеральных и органических удобрений способствовало существенной трансформации биохимического состава плодов клюквы крупноплодной, в которой на фоне межрегиональных, межвариантных и генотипических различий показано доминирование накопительных тенденций в содержании большинства органических соединений.

– Установлена преимущественная активизация накопления дубильных и пектиновых веществ на 12–33 и 5–22 %, растворимых сахаров на 17–41 % на фоне противоположных тенденций в изменении содержания титруемых и аскорбиновой кислот у сортов *Ben Lear* и *Stevens*: снижении на 6–20 % у первого таксона и увеличении на 8–37 % – у второго, обусловивших более выраженное увеличение сахарокислотного индекса плодов у раннеспелого сорта в пределах 8–59 % против 7–17 % у позднеспелого, наибольшее – при обработках Экогум-комплексом.

– Усиление минерального питания способствовало обогащению ягодной продукции обоих сортов клюквы Р-витаминами на 8–21 %, что способствовало наибольшей результативности для сорта *Ben Lear*, характеризовавшегося более выраженной активизацией биосинтеза лейкоантоцианов, применения Экогум-комплекса, тогда как для сорта *Stevens*, отмеченного более активным накоплением собственно антоцианов, – внесение Basacot Plus 6 в Смолевичском и микробного препарата МаклоР в Докшицком р-не. На фоне испытываемых агроприемов показано обеднение плодов на 7–46 % катехинами и флавонолами, наиболее значительное в северном регионе, особенно при внесении минерального удобрения, ингибировавшего также накопление в них гидроксикоричных кислот.

– В Смолевичском р-не все испытываемые агроприемы способствовали повышению интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов по совокупности 14 показателей в 3–12 раз у сорта *Ben Lear* и в 4–8 раз – у сорта *Stevens* при наибольшей результативности минерального удобрения, а также уступавших ему в этом плане в 1,7–1,9 раза Экогум-комплекса (в первом случае) и микробного удобрения МаклоР (во втором случае). В более северном Докшицком р-не внесение минерального удобрения обусловило снижение интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов позднеспелого сорта в 2,4 раза по сравнению с контролем, тогда как использование органических удобрений обеспечило его повышение в 3,5–8 раз (при наибольшей результативности 10 %-ного МаклоРа).

Библиографические ссылки

1. Алещенкова ЗМ. Микробные удобрения для стимуляции роста и развития растений. *Наука и инновации*. 2015;8(150):66–67.
2. Соловьева ЕА, Савчиц ТЛ, Алещенкова ЗМ, Буштевич ВН. Микробный препарат АгроМик для стимуляции роста и развития тритикале. В: Коломиец ЭИ, Лобанок АГ, редакторы. *Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. Сборник научных трудов*. Минск: Беларуская навука; 2013. с. 331–342.
3. *Методы определения сухих веществ*. ГОСТ 8756.2-82. Введен 01.01.1983. Москва: Издательство стандартов; 1982. 5 с.
4. Ермакова АИ, редактор. *Методы биохимического исследования растений. 3-е издание, переработанное и дополненное*. Ленинград: [б. н.]; 1987. 430 с.
5. Марсов НГ. *Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники* [диссертация]. Пермь: [б. н.]; 2006. с. 99–101.
6. Кусакина МГ, Суворов ВИ, Чуудинова ЛА, составители. *Большой практикум «Биохимия»*. Пермь: ПГНИУ; 2012. 148 с.
7. Swain T, Hillis W. The phenolic constituents of *Prunus Domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal Science Food Agriculture*. 1959;10(1):63–68.
8. Скорикова ЮГ, Шафтан ЭА. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах. В: *Труды III Всесоюзного семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод*. Свердловск: [б. н.]; 1968. с. 451–461.
9. Андреев ВЮ, Калинин ГИ, Коломиец НЭ, Исаякина ТВ. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной. *Фармация*. 2013;3:19–21.
10. Чупахина ГН, Масленников ПВ. *Методы анализа витаминов*. Калининград: Балтийский федеральный университет имени И. Канта; 2004. 35 с.
11. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье. В: *Государственная фармакопея СССР. Выпуск 1. Общие методы анализа*. Москва: Медицина; 1987. с. 286–287.
12. Рупасова ЖА, Решетников ВН, Яковлев АП. *Способ ранжирования таксонов растения*. Патент ВУ 17648. Дата публикации 30.10.2013 года.

References

1. Aleshchenkova ZM. *Mikrobnnye udobreniya dlya stimulyacii rosta i razvitiya rastenij* [Microbial fertilizers for stimulation of plant growth and development]. *Nauka i innovacii* [Science and Innovation]. 2015;8(150):66–67. Russian.
2. Solov'eva EA, Savchits TL, Aleschenkova ZM, Chudinova VN. *Mikrobnnyj preparat AgroMik dlya stimulyacii rosta i razvitiya tritikal'e* [Microbial fertilizers for stimulation of growth and development of plants]. In: Kolomiec IE, Lobanok AG, editors. *Mikrobnnye biotekhnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty. Sbornik nauchnykh trudov* [Microbial biotechnology: fundamental and applied aspects]. Minsk: Belaruskaya navuka; 2013. p. 331–342. Russian.
3. *Metody opredeleniya suhih veshchestv* [Methods for determination of solids] : GOST 8756.2-82. Introduction 1983 January 01. Moscow: Izdatelstvo standartov; 1982. 5 p. Russian.
4. Yermakova AI, editor. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy* [Methods of biochemical research of plants]. 3-e izdanie, pererabotannoe. i dopolnennoe. Leningrad: [publisher unknown]; 1987. 430 p. Russian.
5. Marsov NG. *Fitokhimicheskoe izluchenie i biologicheskaja aktivnost brusniki, kljukvy i cherniki* [Phytochemical study and biological activity of lingonberries, cranberries and blueberries] [dissertation]. Perm: [publisher unknown]; 2006. p. 99–101. Russian.
6. Kusakina MG, Suvorov VI, Chudinova LA, compile. *Bolshoy praktikum «Biokhemija»* [Large practical course «Biochemistry»]. Perm: Perm state national research University; 2012. 148 p. Russian.
7. Swain T, Hillis W. The phenolic constituents of *Prunus Domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal Science Food Agriculture*. 1959;10(1):63–68.
8. Skorikova YuG, Shaftan EA. *Metodika opredelenia antotsianov v plodakh i jagodakh* [Method for Determining Anthocyanins in Fruits and Berries]. *Trudy III Vsesojuznogo seminar po aktivnym (lechebnym) veshchestvam jagod i plodov* [Proceedings of the 3rd Workshop on Biologically Active (Medicinal) Substances of Fruits and Berries]. Sverdlovsk: [publisher unknown]; 1968. p. 451–461. Russian.
9. Andreyev VYu, Kalinkina GI, Kolomiyets NE, Isaykina NV. *Metodika opredeleniya antotsianov v plodakh aronii chernoplodnoy* [Method for the determination of anthocyanins in the fruit of chokeberry aronia]. *Farmatsiya*. 2013;3:19–21. Russian.
10. Chupakhina GN, Maslennikov PV. *Metody analiza vitaminov* [Methods for analyzing vitamins]. Kaliningrad: I. Kant Baltic Federal University; 2004. 35 p. Russian.
11. *Opredeleniye soderzhaniya dubilnykh veshchestv v lekarstvennom rastitel'nom syr'e* [Determination of the content of tannins in medicinal plant raw materials] In: *Gosudarstvennaya farmakopeya SSSR. Vypusk 1. Obshchiye metody analiza*. Moscow: Meditsina; 1987. p. 286–287. Russian.
12. Rupasova ZhA, Reshetnikov VN, Yakovlev AP. *Sposob ranzhirovaniya taksonov rastenija* [Method of ranking plant taxa]. *Patent ВУ № 17648*. Data publikatsiyi 30.10.2013 goda. Russian.

СОДЕРЖАНИЕ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

<i>Дубенок С. А., Кулаков А. Ю.</i> Методические подходы к формированию показателей по использованию и охране водных ресурсов для реализации целей устойчивого развития в Республике Беларусь.....	4
--	---

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

<i>Синчук О. В., Буга С. В.</i> Повреждаемость листовых пластинок липы мелколистной личинками липовой моли-пестрянки в насаждениях Центрального ботанического сада НАН Беларуси в 2015–2019 гг.....	16
<i>Виноградов А. Ю., Обязов В. А., Лазарева Т. А.</i> Экологические проблемы молевого сплава....	24
<i>Герменчук М. Г., Журавков В. В., Конончук Т. П., Шидловская Т. А., Головатый С. Е., Тонконогов Б. А.</i> Концептуальные подходы к разработке информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района».....	30
<i>Позднякова А. И.</i> Тяжелые металлы в системе «донные отложения – водная растительность» речных экосистем в зоне наблюдения Белорусской атомной станции.....	41

РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Жукова О. М., Кляус В. В., Николаенко Е. В.</i> Параметры смыва радионуклидов с водосбора р. Виляя в начальный период потенциальной аварии на Белорусской АЭС.....	53
<i>Гулак А. В., Дроздов Д. Н., Иванцов Д. Н.</i> Мощность дозы внутреннего облучения от инкорпорированных ¹³⁷ CS и ⁹⁰ SR ихтиофауны водоемов, расположенных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.....	60

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Власенко Е. К., Ювс Г. В., Рыбина Т. Н., Климович О. М., Бердина Е. Л., Стельмах В. А., Сыса А. Г., Гапанович В. Н.</i> Токсикологическая оценка биологически активной добавки на основе хлоридов эрбия и европия при внутрижелудочном введении белым крысам.....	68
<i>Дубина М. А., Океанов А. Е., Евмененко А. А., Машевский А. А.</i> Анализ заболеваемости населения Республики Беларусь злокачественными новообразованиями бронхов и легкого.....	74
<i>Юрченкова К. В., Смолякова Р. М., Шпадарук Е. М., Андреева И. Н.</i> Оценка агрессивного потенциала карцином молочной железы у пациенток различного репродуктивного периода ...	82

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Родькин О. И., Черненко Е. В., Глуховский В. И., Ракович В. А.</i> Биологическая рекультивация выработанных торфяных месторождений на основе использования энергетических культур.....	90
<i>Рупасова Ж. А., Василевская Т. И., Кривицкая Н. Б., Задаля В. С., Коломиец Э. И., Алещенкова З. М., Карбанович Т. М.</i> Влияние удобрений на биохимический состав плодов клюквы крупноплодной (<i>Oxycoccus macrocarpus</i> Ait. Pers.) на выработанных торфяниках в центральной и северной агроклиматических зонах Беларуси.....	100

CONTENTS

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

<i>Dubianok S. A., Kulakou A. Ju.</i> Methodical approaches to the development of indicators for the use and protection of water resources for the implementation of sustainable development goals in the Republic of Belarus.....	4
--	---

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

<i>Sinchuk A. V., Buga S. V.</i> Damage to sheet blades of small-leaved lime of larvae of the lime leaf miner in the green stands of the Central Botanical Garden National Academy of Sciences of Belarus in 2015–2019.....	16
<i>Vinogradov A. Yu., Obyazov V. A., Lazareva T. A.</i> Environmental problems of timber rafting	24
<i>Germenchuk M. G., Zhuravkov V. V., Kononchuk T. P., Shidlovskaya T. A., Golovatyi S. E., Tonkonogov B. A.</i> Conceptual approaches for creating an information resource «Online monitoring system of the condition of the environment Orshi and Orshan district».....	30
<i>Pozdniakova A. I.</i> Heavy metals in the system «bottom sediments – water vegetation» river ecosystems in the supervised area of the Belarusian nuclear power plant.....	41

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

<i>Zhukova O. M., Kliaus V. V., Nikalaenka A. U.</i> Parameters of radionuclide washout from the catchment area of the Viliya river after the accident at the Belarusian NPP.....	53
<i>Gulakov A. V., Drazdou D. N., Ivantsou D. M.</i> Dose performance of internal irradiation from incorporated ¹³⁷ CS and ⁹⁰ SR of ichthiofauna of reservoirs located in the territory of the Polesky State Radiation-Ecological Reserve.....	60

MEDICAL ECOLOGY

<i>Vlasenko E. K., Yuvs G. V., Rybina T. N., Klivovich O. M., Berdina E. L., Stelmakh V. A., Sysa A. G., Gapanovich V. N.</i> Toxicological assessment of a dietary supplement based on erbium and europium chlorides by intragastric administration to white rats.....	68
<i>Dubina M. A., Okeanov A. E., Yaumenenka A. A., Mashevski A. A.</i> Analysis of lung and bronchus cancer incidence in the Republic of Belarus	74
<i>Yurchenkova K. V., Smolyakova R. M., Spadaruk K. M., Andreeva I. N.</i> Assessment of aggressive potential of breast carcinoma in patients of different reproductive periods.....	82

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

<i>Rodzkin A. I., Charnenok E. V., Glukhovskij V. I., Rakovich V. A.</i> Biological recultivation of post-mining peatlands on the base of energy crops cultivation	90
<i>Rupasova Zh. A., Vasilevskaya T. I., Krynitskaya N. B., Zadalya V. S., Kolomiets E. I., Aleschenkova Z. M., Karbanovich T. M.</i> The effect of fertilizers on the biochemical composition of <i>Oxycoccus macrocarpus</i> Ait. Pers. fruits on cutover peatlands in the central and northern agroclimatic zones of the Republic	100

Журнал включен Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по биологическим, сельскохозяйственным и техническим (экология) наукам.

Журнал включен в библиографическую базу данных научных публикаций «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

**Журнал Белорусского
государственного университета. Экология.
№ 3. 2020**

Учредитель:
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,
220030, Минск.

Почтовый адрес: ул. Долгобродская, 23/1,
220070, Минск.

Тел. 398-89-34, 398-93-44.

E-mail: jecology@bsu.by

«Журнал Белорусского государственного
университета. Экология» издается с сентября 2017 г.
До августа 2017 г. выходил под названием
«Экологический вестник»
(ISSN 1994-2087).

Редактор *Л. М. Корневская*
Технический редактор *М. Ю. Мошкова*
Корректор *М. Ю. Мошкова*

Подписано в печать 25.09.2020.
Тираж 100 экз. **Заказ**.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь»
ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014.
Ул. Кальварийская, 17, 220004, Минск.

© БГУ, 2020

**Journal
of the Belarusian State University. Ecology.
No. 3. 2020**

Founder:
Belarusian State University

Registered address: 4 Niezaliežnasci Ave.,
220030, Minsk.

Correspondence address: 23/1 Dajhabrodskaja Str.,
220070, Minsk.

Tel. 398-89-34, 398-93-44.

E-mail: jecology@bsu.by

«Journal of the Belarusian State University. Ecology»
published since September, 2017.
Until August, 2017 named «*Ekologičeskii vestnik*»
(ISSN 1994-2087).

Editor *L. M. Korenevskaya*
Technical editor *M. Yu. Moshkova*
Proofreader *M. Yu. Moshkova*

Signed print 25.09.2020.
Edition 100 copies. **Order number**.

RUE «Information Computing Center of the Ministry
of Finance of the Republic of Belarus».
License for publishing No. 02330/89, 3 March, 2014.
17 Kalvaryjskaya Str., 220004, Minsk.

© BSU, 2020