



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

Published since September, 2017  
(until 2017 – «Ecologicheskij Vestnik»)  
Issued once a quarter

---

**3**

**2018**

---

МИНСК  
БГУ

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Главный редактор** **МАСКЕВИЧ С. А.** – доктор физико-математических наук, профессор; Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.  
E-mail: direktor@iseu.by
- Заместитель главного редактора** **ПОЗНЯК С. С.** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.  
E-mail: pazniak@iseu.by
- Ответственный секретарь** **ЛЫСУХО Н. А.** – кандидат технических наук, доцент; Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.  
E-mail: nlysukha@mail.ru
- Батян А. Н.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Герменчук М. Г.** ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности» МЧС Республики Беларусь, Минск, Беларусь.
- Голубев А. П.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Головатый С. Е.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Гричик В. В.** Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Дардынская И. В.** Центр всемирного здоровья «Великие озера», Чикаго, США.
- Зафранская М. М.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, 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.
- Шишко Я.** Варшавский университет сельского хозяйства, Варшава, Польша.

## EDITORIAL BOARD

- Editor-in-chief** **MASKEVICH S. A.**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor; Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.  
E-mail: direktor@iseu.by
- Deputy editor-in-chief** **POZNYAK S. S.**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor; Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.  
E-mail: pazniak@iseu.by
- Executive secretary** **LYSUKHA N. A.**, PhD (engineering), Associate Professor; Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.  
E-mail: nlysukha@mail.ru
- 
- Batyan A. N.* Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
- Hermenchuk M. G.* State Scientific and Technical Institution «Center for Nuclear and Radiation Safety» of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus.
- Golubev A. P.* Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
- Golovaty S. E.* Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, 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.* Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, 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.
- Szyszko J.* Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

---

---

# СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

---

## SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

---

---

УДК 001.8:57:574

### ЭКОЛОГИЗАЦИЯ НАУКИ: ОСНОВНЫЕ ВЕКТОРЫ ПРОБЛЕМЫ

*Н. Д. ЛЕПСКАЯ<sup>1)</sup>*

<sup>1)</sup>*Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь*

Рассматриваются вопросы экологизации науки. Осознание причиненного вреда, наносимого окружающей среде деятельностью человека, а также угрозы его существованию привело к постижению роли и смысла экологических знаний.

**Ключевые слова:** экологизация науки; окружающая среда; биосфера; экологическая система; экологическое сознание; экологическое образование; экологическая культура; экологическая деятельность.

**Благодарность.** Исследование выполнено при финансовой поддержке БРФФИ в рамках проекта проведения научных исследований («Философско-методологические и естественно-научные основания современных биологических и экологических концепций»), проект № Г16Р-038.

---

**Образец цитирования:**

Лепская Н. Д. Экологизация науки: основные векторы проблемы // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 4–8.

**For citation:**

Lepskaya N. D. Greening of science: main vectors of the problem. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 4–8 (in Russ.).

---

**Автор:**

**Нелли Дмитриевна Лепская** – кандидат философских наук, доцент; доцент кафедры социально-гуманитарных наук и устойчивого развития.

**Author:**

**Nelly D. Lepskaya**, PhD (philosophy), associate professor; associate professor of the department of social-humanitarian sciences and sustainable development.  
*lepskaya14@gmail.com*

---

## GREENING OF SCIENCE: MAIN VECTORS OF THE PROBLEM

N. D. LEPSKAYA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

Understanding the harm done to the environment by human activities, threats to human existence led to the realization of the role of ecological knowledge and the inevitable greening of science.

**Key words:** greening the science; environment; biosphere; ecological system; ecological consciousness; ecological education; ecological culture; ecological activity.

**Acknowledgment.** The research was carried out with the financial support of the BRFFR within the framework of the research project («Philosophical-methodological and natural-scientific foundations of modern biological and ecological concept» project No. T16P-038.

### Введение

В XXI в. человечество оказалось перед выбором: если сохранить существующий способ взаимодействия с окружающей средой, то увеличивающиеся экологические проблемы приведут к экологической катастрофе; если изменить сложившийся тип деятельности человеческого общества, то можно сохранить, пригодную для жизни окружающую среду. Условием последнего является коренная перестройка образования в соответствии с перспективными направлениями развития общества и общезначимыми приоритетами, переориентация в мировоззрении людей, переоценка ценностей в области как материальной, так и духовной культуры, а также формирование новой *экологической* культуры.

Овладение каждым человеком основополагающими экологическими знаниями предусматривает:

- понимание происходящих в природе процессов (особенно тех, которые возникают из-за антропогенной деятельности) и последующих действий человека с точки зрения экологической целесообразности;
- формирование представлений о поддержании гомеостаза в природе, окружающей среде, о сохранении физического и психического здоровья человека;
- устойчивое развитие природы и общества.

Процесс экологизации науки, начавшийся в конце XX в., был связан с осознанием важности экологических знаний и того, что антропогенная деятельность не только наносит вред окружающей среде, но и в ряде случаев, воздействуя на нее отрицательно, способствует изменению условий жизни людей, угрожает существованию человечества. Создание специальной интегративной системы экологического образования, базирующейся на экологии, экологической психологии и экологической педагогике, экологизация науки и культуры будет способствовать решению многих назревших проблем современного общества, сохранению природы, окружающей среды и здоровья человека.

### Материалы и методы исследования

Для того, чтобы выжить, человеческое общество должно провести социально-экологические преобразования. Ученые и политики предлагают долгосрочные стратегии взаимоотношения человека и биосферы, теоретическую основу которых составляют идеи В. И. Вернадского, а также программный документ «Повестка дня на XXI век», принятый на Международной конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992).

Идеи В. И. Вернадского о биосфере нашли свое отражение в национальных стратегиях устойчивого развития и составляют теоретическую основу ряда современных областей научного знания. На них основывается и развивается как естественно-научная дисциплина – современная экология, так и гуманитарная – социальная экология, задачей которой является постижение общих законов взаимодействия общества с природой и определение путей гармонизации их отношений на основе естественно-научных и философских представлений ученого о биосфере и ноосфере.

Выводы В. И. Вернадского относительно природы биогеохимических циклов химических элементов между живыми и неживыми компонентами биосферы неоднократно подтверждались исследователями. Опираясь на рассуждения ученого, Дж. Хатчинсон выявил негативные последствия для биосферы от вмешательства людей в естественные биохимические циклы. Они связаны с тем, что человек использует практически все химические элементы, имеющиеся в природе. К тому же он вносит в нее и такие соединения, которых в ней нет [1]. Это обстоятельство стало существенно влиять на характер

биогеохимических циклов в биосфере, следовательно, характер взаимодействия с природой должен определяться экологическим императивом: позволительно только то, что не разрушает экологическое равновесие.

Интенсивность процесса экологизации науки в некоторой степени зависит от степени мировоззрения субъектов науки, а также формирования и развития экологических знаний. В самосознании человека должно отражаться понимание непреложности, обязательности для каждого (и всех) экологических законов. Природоохранная деятельность должна быть обусловлена необходимостью беречь природу не только ради благополучия человека, но и ради нее самой; процесс развития природы и человека должен осознаваться как процесс коэволюции. Таким образом, данному пониманию может способствовать формирование эксцентрического типа экологического сознания как системы представлений о мире, для которой характерны:

- ориентация на экологическую необходимость;
- отсутствие противопоставления человека и природы;
- восприятие природных объектов как равноправных субъектов;
- равновесие в прагматическом и непрагматическом взаимодействии с природой.

Специальная интегративная система экологического образования, базирующаяся на экологии, экологической психологии и экологической педагогике позволит воплотить необходимое условие для осуществления рационального взаимодействия человека с биосферой – осознание ценности каждого из существующих видов живого.

Взаимодействие человека с природой охватывает не только материальные аспекты, но и психофизиологические, психотерапевтические, реабилитационные, эстетические, когнитивные, коммуникативные, действенные и самореализующие функции (аспекты).

В сфере формирования экологических представлений содержание экологического образования должно основываться на знании:

- 1) сложности системы внутренних взаимосвязей в природе;
- 2) энергетического обмена между техносферой и биосферой;
- 3) мира природы как духовной ценности;
- 4) взаимосвязи природных условий и развития общества.

Следовательно, формирование экологических представлений должно быть направлено на стимуляцию психологической включенности личности в мир природы.

При формировании субъективного отношения к природе содержание экологического образования должно заключаться в развитии этого отношения: в формировании субъективной модальности отношения к природе.

В сфере формирования стратегий и технологий экологической деятельности содержание экологического образования должно заключаться в овладении умениями и навыками:

- 1) эстетического освоения природных объектов;
- 2) получения научной информации о мире природы;
- 3) взаимодействия с природными объектами в условиях антропогенной среды;
- 4) природопользования в естественной среде;
- 5) природоохранной деятельности.

Учет экологической и экономической сторон при решении задач охраны и использования живых ресурсов биосферы позволит сформировать гармоничное отношение человека и общества к миру живой и неживой природы. Это отношение может сложиться при рациональном использовании ее ресурсов. Следует отметить, что в этом случае человек получит необходимые для своего существования материальные и другие блага, однако при условии поддержания существующего разнообразия живого и повышения его продуктивности.

Важность осуществления такой формы использования живых ресурсов биосферы подчеркивал В. И. Вернадский. В работе «Несколько слов о ноосфере» (1944 г.) он отмечал, что в XX в. усиливается воздействие человека на природу. Все это приводит к тому, что «резко стали меняться (химически и биологически) прибрежные моря и части океана» [2, с. 312]. В таких условиях человек «должен принимать все большие и большие меры к тому, чтобы сохранить для будущих поколений никому не принадлежащие морские богатства» [2, с. 314]. Таким образом, формулируется основной принцип рационального природопользования – сохранение существующего разнообразия живого, что в настоящее время становится предметом внимания биологов и экологов.

Основные принципы экологии должны стать теоретической основой всех форм взаимодействия человека с природой. Тем самым природопользование, опирающееся на них, будет сохранять устойчивость биосферы, воспроизводить и сохранять все существующее разнообразие живого.

Представления экологии о биосферной ценности каждого из ныне существующего вида живого и стратегии его сохранения должны стать эталоном и для других наук, ориентирующихся на решение проблем рационализации природопользования. Обеспечение такой формы использования природных ресурсов можно считать экологическим идеалом всей науки, однако его реализация будет зависеть от степени проникновения идей экологии в сознание человека. Осознание ценности каждого из существующих видов живого – это необходимое условие для осуществления рационального взаимодействия человека с биосферой [3].

Основополагающие экологические знания о закономерностях функционирования биосферы, экономических и иных связях в системе «общество–природа» могут быть получены в процессе эколого-экономических исследований, результаты которых должны стать достоянием общества. Следовательно, можно будет сознательно регулировать и контролировать процессы коэволюции человека и биосферы, определять разумную стратегию отношения людей к ее ресурсам и осуществлять их рациональное использование.

На этом пути должна решаться задача преодоления «экологической неустойчивости» современного природного и социального мира. Именно знания об экологической и экономической ценности живых ресурсов биосферы могут быть фактором, который станет стимулировать преодоление сложившейся тенденции современного человечества жить «не по средствам», а в разумной гармонии с биосферой и ее живыми ресурсами. В этом отношении существенную роль может выполнять зарождающийся экологический идеал науки, призванный ориентировать научное знание на обеспечение рациональных форм потребления ресурсов биосферы.

Для создания системы эффективного целенаправленного формирования экологической культуры, используя для этого все возможные инструменты и институты, необходимо решить следующие задачи:

- формировать у людей потребность в активной личной поддержке идей устойчивого развития и сохранения здоровья среды;
- освоить экологически безопасные способы природопользования;
- овладеть системой представлений об основных положениях стратегии устойчивого развития, проблемах поддержания здоровья среды, о ценности природных ресурсов и т. д.;
- воспитывать гуманное отношение к природе, обеспечивающего психологическое включение животных и растений в сферу действия этических норм;
- научить людей осознанно использовать уникальный потенциал, который заключен в духовном общении с миром природы, для собственного личностного развития.

В процессе обучения необходимо формировать прагматические стратегии экологической деятельности. Следует учитывать в процессе экологизации наук основной методологический принцип экологической психологии и педагогики, который заключается в строгом соответствии педагогического процесса экологического образования психологическому формированию экологического сознания [4]. Классификация методологических принципов в экологической психологии и экологической педагогике базируется на теории возможностей Дж. Гибсона. В ней выделяют две группы принципов:

- 1) организация стимулов;
- 2) организация экологической деятельности.

Организация стимулов включает принципы:

- комплексности стимульного воздействия;
- ориентации на актуализирующий потенциал стимулов;
- ориентации на чувствительность к стимулам.

К группе принципов организации экологической деятельности относятся:

- гетерогенность;
- формирующая направленность;
- индивидуальная психологическая адекватность.

Общим является принцип *гетерогенности объектов*.

Формирование экологического сознания основывается на:

- 1) принципе создания мысленных образов, который регулирует использование методов, направленных на развитие системы экологических представлений;
  - 2) принципе субъективизации, регулирующего использование методов, направленных на формирование субъективного отношения к природным объектам;
  - 3) принципе коактивности с миром природы – стратегий и технологий экологической деятельности.
- Формирование экологических представлений осуществляется с привлечением методов:
- экологической лабилизации;
  - экологических ассоциаций;

- художественной репрезентации природных объектов и т. д.

Формирование субъективного отношения достигается благодаря экологической идентификации, экологической эмпатии, экологической рефлексии и т. д.

Формирование стратегий и технологий взаимодействия с природой обеспечивается методами:

- экологических экспектаций;
- ритуализации экологической деятельности;
- экологической заботы и т. д.

Процесс формирования экологического сознания личности проходит три этапа:

- 1) лабилизации;
- 2) освоение адекватных экологических технологий;
- 3) субъектификации природных объектов.

### Заключение

Таким образом, следует иметь в виду, что жизнь и деятельность человека обусловлена не только социальными и культурными факторами, но и сложными биофизическими, психологическими, экологическими связями, которые определенным образом ограничивают его действия. Понимание вреда, наносимого окружающей среде, осознание угрозы существованию человека, непреложности экологических законов должно лечь в основу процесса формирования и развития самосознания современного человека, привести общество к неизбежной экологизации науки и усвоению экологических знаний.

### Библиографические ссылки

1. Хатчинсон Дж. Биосфера. М., 1972.
2. Вернадский В. И. Научная мысль как планетарное явление. М., 1991.
3. Лепская Н. Д. Учение В. И. Вернадского в контексте устойчивого // Экологический вестник. Минск, 2013. № 2 (24). С. 64–73.
4. Панов В. И. Экологическая психология. Опыт построения методологии. М., 2016.

### References

1. Hutchinson J. [Biosphere]. Moscow, 1972 (in Russ.).
2. Vernadsky V. I. [Scientific thought as a planetary phenomenon]. Moscow, 1991 (in Russ.).
3. Lepskaya N. D. [V. I. Vernadsky's teaching in the context of sustainable development]. *Ecological Bulletin*. Minsk, 2013. No. 2 (24). P. 64–73 (in Russ.).
4. Panov V. I. [Ecological psychology. Experience of methodology construction]. Moscow, 2016 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 26.06.2018  
Received by editorial board 26.06.2018

УДК 30:504.03:620.9

## К ВОПРОСУ РЕАЛИЗАЦИИ ПОВЕСТКИ ДНЯ 2030 В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

С. С. ПОЗНЯК<sup>1)</sup>, Ю. ШЕНК<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь

Представлены теоретические исследования авторов в области формирования представлений об устойчивом развитии, вкладе и достижениях Республики Беларусь в сфере разработки и реализации стратегии устойчивого социально-экономического развития, о создании в государстве архитектуры управления процессом достижения его целей.

**Ключевые слова:** Повестка дня 2030; устойчивое развитие; цели устойчивого развития; архитектура управления; изменение климата; возобновляемые источники энергии.

## TO REALIZE THE 2030 AGENDA IN THE REPUBLIC OF BELARUS

S. S. PAZNIAK<sup>a</sup>, Ju. SCHENK<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

The article presents theoretical research of authors in the field of formation of ideas on sustainable development, on the contribution and achievements of the Republic of Belarus in the development and implementation of a strategy for sustainable social and economic development, the creation of an architecture for managing the process of achieving sustainable development in the Republic of Belarus.

**Key words:** Agenda 2030; sustainable development; sustainable development goals; management architecture; climate change; renewable energy sources.

### Введение

На форумах и саммитах, на всех уровнях (государственном, региональном) и в самых разнообразных формах обсуждается в настоящее время проблема устойчивого развития. Этот термин вобрал в себя цели и задачи, внедрился сегодня в нашу реальность. Мы постоянно сталкиваемся с ним рассматривая и анализируя вопросы политики, науки, образования и повседневной жизни. По мнению некоторых исследователей, «... ни одно другое слово не было так жестоко потрепано, изменено, по-своему интерпретировано. Быстрый взлет, сильное падение?»

---

#### Образец цитирования:

Позняк С. С., Шенк Ю. К вопросу реализации Повестки дня 2030 в Республике Беларусь // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 9–20.

#### For citation:

Pazniak S. S., Schenk Yu. To realize the 2030 agenda in the Republic of Belarus. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 9–20 (in Russ.).

---

#### Авторы:

**Сергей Степанович Позняк** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заместитель директора по научной работе.

**Юрген Шенк** – интегрированный специалист Центра международной миграции и развития.

#### Authors:

**Siarhei S. Pazniak**, doctor of science (agriculture), professor; deputy director for research.

*pazniak@iseu.by*

**Juergen Schenk**, integrated expert of Centre for international migration and development.

*Juergen.schenk@cimonline.de*

---

Является ли этот термин уже исчерпанным? Сгорел? Теперь, когда нам это нужно знать больше, чем когда-либо ...» [1].

Уже в начале XVIII в. социально-экономическая ситуация в Германии способствовала рассмотрению вопросов устойчивого развития. В то время древесина была одним из важнейших сырьевых материалов со статусом, похожим на нефть или уголь, поскольку являлась строительным материалом, а также использовалась для отопления и приготовления пищи. Значительные лесные площади были вырублены, многие из них не восстанавливались. В те времена культивирование лесов не практиковалось. В этой связи возникли предпосылки для незамедлительного решения данного вопроса. Горный инженер из Саксонии Ханс Карл фон Карловиц (1645–1714) указал на то, что необходимо потреблять столько древесины, сколько ее прирастает. Впервые в опубликованной в Германии в 1713 г. книге «*Sylvicultura oeconomica*» он публично потребовал устойчивого развития лесной промышленности и бережного отношения к природным ресурсам.

После первого появления термин «устойчивое развитие» постоянно претерпевает трансформацию в процессе общественного развития, являясь отражением гражданских, экономических, социальных и культурных отношений. Однако это всегда связано с людьми, природными ресурсами и тем, как мы обращаемся с ними и можем более эффективно их использовать. При этом акцентируется внимание на обеспеченности ресурсами и их сохранении для будущих поколений.

Устойчивое мышление на протяжении своей истории претерпевает трансформацию, охватывая все сферы общественной жизни. Возросшие из-за нехватки ресурсов «Лимиты роста» (Римский клуб 1972 г.), отчет Брундтланда (1987 г.) «Наше общее будущее» и Конференция (1992 г.) в Рио-де-Жанейро стали важными, с точки зрения устойчивого развития, аспектами сохранения окружающей среды и развития (глобальная справедливость и справедливость в отношениях между поколениями).

В резолюции 2015 г. «Трансформация нашего мира: Повестка дня 2030 для устойчивого развития» как равные рассматриваются все аспекты устойчивости – социальные, экономические и экологические. «... Впервые в Повестке дня 2030 года для устойчивого развития взаимосвязаны экономические, социальные и экологические цели развития и декларирована борьба с сокращением бедности и за устойчивость...» [2].

1 января 2016 г. Повестка дня 2030 официально вступила в силу. Предполагается, что правительства подписавших государств разрабатывают и осуществляют национальные механизмы для реализации целей, задач, ответственности и мониторинга. Юридических обязательств при этом нет. Поэтому успех реализации Повестки дня 2030 во многом зависит от того, какие стратегии и программы планируют реализовать в отдельных странах. В 1795 г. Иоганн Вольфганг фон Гете писал, что «... искусство вечно, жизнь коротка, испеченный хлеб вкусный и удовлетворяет голод на один день; но муку нельзя посеять, и семена нельзя измельчить. ... Самое важное можно передать словами. Разум, с помощью которого мы принимаем решение, самое главное ...» [3]. Важным является не единолично принятое решение, а процесс обсуждения и согласования действий.

## Результаты исследования и их обсуждение

**Комплексная задача Повестки дня 2030.** Устойчивость в Республике Беларусь начинается не с Повестки дня 2030. Следует отметить, что до 2015 г. принимались многочисленные постановления, законы, правила, которые прямо или косвенно касались этого аспекта, являющегося аналогом термина «развитие», поскольку сам термин и его применение разработаны во всем мире. Однако соответствующие точки зрения, приоритеты всегда отражались и будут формулироваться в документах, программах и реализовываются через людей.

В этой связи необходимо обратить особо внимание на «Национальную стратегию устойчивого социально-экономического развития в Республике Беларусь на период до 2030 года». Итак, 11 декабря 2013 г. Совет Министров Республики Беларусь принял решение о создании рабочей группы для формирования Национальной стратегии устойчивого экономического роста, подготовки соответствующих методических рекомендаций для стратегического документа. Министерству экономики поручалась координация выполнения задачи [4]. Стратегический документ был представлен в конце 2014 г. и опубликован в апреле 2015 г. Новое качество оценки устойчивого развития во всех социальных сферах жизни также уточняется в Беларуси как на национальном, так и на международном уровнях.

С принятием в сентябре 2015 г. резолюции «Трансформация нашего мира: Повестка дня для устойчивого развития 2030» государствами-членами Организации Объединенных Наций были сформулированы важнейшие задачи для дальнейшего развития человечества. Уже в преамбуле ключевые приоритеты представлены на тех областях, которые в своих экономических, социальных и экологических аспектах будут определять наши действия на будущее – человек, планета, благосостояние, мир, партнерство [4].

Республика Беларусь одна из сторон, подписавших Повестку дня 2030. Документ содержит 17 целей устойчивого развития, 169 подцелей и 232 индикатора, которые являются доказательством сложного подхода к нашему устойчивому будущему развитию и выражают нашу текущую и многообразную реальность (рис. 1).

Новое качество документа справедливо подчеркивается при формулировании задач устойчивости. Таким образом, Повестка дня 2030 объединяет две отдельные задачи – цели в области развития, сформулированные в Декларации тысячелетия, и повестку дня в области устойчивого развития, отражающие их взаимозависимость. Они являются универсальными и должны реализовываться повсеместно и каждым отдельным государством, всегда проверяться на предмет достижимости целей на национальном, региональном и глобальном уровнях. Сложность целей также требует комплексного решения задач международного сообщества и использования большого национального опыта.

Андрей Дапкюнас, заместитель Министра иностранных дел Республики Беларусь, подчеркнул: «...Это уникальная для человечества ситуация. Можно сказать, что это наиболее яркое положительное проявление глобализации, о которой часто говорят в отрицательном контексте. Действительно, от усилий отдельных стран зависит благополучие всех государств и наоборот. В этой связи национальное устойчивое развитие перестает быть замкнутым внутренним делом: то, чем мы занимаемся в рамках архитектуры целей устойчивого развития (ЦУР) в Беларуси – это одновременно и внешняя политика, непосредственная международная деятельность в ее максимально творческом воплощении. Мы исходим из того, что Беларусь может быть больше, чем просто одним из рядовых участников этого процесса [5].



Рис. 1. Цели в области устойчивого развития

Fig. 1. Goals in the field of sustainable development

**Аспекты стратегии устойчивого развития 2030 в Республике Беларусь.** Достижение целей основано на реализации национальных стратегий и конкретных национальных задач. До сегодняшнего времени сделано большое количество шагов для подготовки и реализации Повестки дня 2030 в Национальной стратегии устойчивого развития (НСУР-2030).

Национальный координатор по достижению Целей устойчивого развития, заместитель председателя Совета Республики Национального Собрания Республики Беларусь, Марианна Щёткина отметила на сессии Регионального форума национальных координаторов (21–22 февраля 2018 г.): «...Беларусь – индустриальная страна: 20 % экономики формируется обрабатывающей промышленностью. Во многом это обусловило основные приоритеты развития, определенные в нашей стране на среднесрочный период. И они соответствуют целям Повестки-2030. Это инвестиции, занятость, экспорт, информатизация и молодежь. А главная цель – повышение качества и уровня жизни населения...» [6].

Для реализации целей устойчивого развития в Республике Беларусь был подготовлен и принят ряд национальных документов:

- Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 года;
- Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года;

- Постановление Совета Министров от 21.12.2016 «Об утверждении Национального плана действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь до 2020 года»;
- Указ Президента Республики Беларусь от 25 мая 2017 г. № 181 «О Национальном координаторе по достижению Целей устойчивого развития»;
- Дорожная карта по разработке статистики по Целям устойчивого развития, подготовленная Национальным статистическим комитетом Республики (Белстат);
- Положение о Национальном координаторе по достижению Целей устойчивого развития. Созданы новые комитеты и организации, возникли или углубились партнерские отношения:
- Совет по устойчивому развитию и ряд секторальных групп по сквозным вопросам / Координаторы партнерской группы устойчивого развития при Совете по устойчивому развитию;
- Парламентская группа по Целям устойчивого развития;
- Взаимодействие с Постоянным координатором ООН в Беларуси / Постоянный Представитель Программы развития ООН в Беларуси;
- Общественный совет по формированию и оценке стратегий устойчивого развития.

Во всех областях и городе Минске созданы Региональные рабочие группы по устойчивому развитию. Складывается система мониторинга реализации НСУР–2030 и вовлечения в этот процесс заинтересованных игроков. Национальный статистический комитет совместно с органами государственного управления и иными организациями сформировал национальный перечень показателей для мониторинга достижения Целей устойчивого развития. «... Белстат выступает в качестве Национального координационного центра для мониторинга достижения ЦУР и играет центральную роль в создании механизмов сотрудничества как на национальном, так и на международном уровне...» [7].

Для реализации стратегии возникли социальные инициативы и активизировалось сотрудничество. Таким образом, белорусская сторона стремится использовать многонациональные и международные традиции и вступить в интенсивный обмен опытом с другими странами международного сообщества:

на национальном уровне:

- 1 декабря 2017 г. состоялся круглый стол с участием членов Совета по устойчивому развитию, а также представителей консультационно-экспертной миссии ООН по оценке процесса достижения ЦУР (MAPS-миссии);

- Совет Республики Национального собрания Республики Беларусь провел 19 декабря 2017 г. открытые парламентские слушания «Партнерство ветвей власти как необходимое условие успешного достижения ЦУР» и принял рекомендации государственным органам, а также заинтересованным организациям и объединениям;

на международном уровне:

- Визит белорусской делегации в Германию (с 28 января по 1 февраля 2018 г.) «... Визит проводится для налаживания взаимодействия между Республикой Беларусь и ФРГ, обмена опытом в сфере достижения Целей устойчивого развития и расширения парламентских контактов при содействии Программы развития ООН и Программы поддержки Беларуси ФРГ...» [8];

- Региональный форум координаторов по ЦУР: построение партнерства в поддержку национальных усилий в области устойчивого развития. Состоялся в Минске 21–22 февраля 2018 г. (организован Министерством иностранных дел Республики Беларусь и Национальным координатором по достижению ЦУР при поддержке Представительства Организации Объединенных Наций в нашей стране) [9];

- Участие в Региональном форуме ЕЭК ООН по устойчивому развитию (1–2 марта 2018 г.) в г. Женеве [10];

- Конференция по устойчивому развитию «Стратегии и партнерство для достижения Целей устойчивого развития» в Минском международном образовательном центре имени Йоханнеса Рау (6–7 июня 2018 г.) [11].

Кроме того, возникли такие общественные инициативы, как:

- Миссия международного общественного объединения «Гендерные перспективы»;
- Ассоциация «Образование для устойчивого развития», Гродненский государственный университет и СШ № 12 г. Гродно;
- «Интеллектуальная мастерская устойчивых перемен», ресурсный центр онлайн поддержки практики образования в интересах устойчивого развития.

На рекламных щитах на улицах и домах, в транспортных средствах повсеместно упоминается Повестка дня 2030. Следовательно, возникло движение, которое имеет отношение как к человеку в частности, так и обществу в целом.

Между Миссией ООН в Беларуси и Германией существует особое, интенсивное сотрудничество. Совместно проводимые многочисленные мероприятия свидетельствуют о стремлении ознакомиться

с опытом Германии и работать вместе над реализацией Повестки дня 2030. Важное место в этом отношении занимает Минский международный образовательный центр имени Йоханнеса Рау, который организует различные встречи, конференции и обмен опытом для достижения целей устойчивого развития на международном, национальном, региональном и местном уровнях.

В Республике Беларусь была создана сложная система управления и организации устойчивого развития для выполнения Повестки дня 2030, в которой отражена серьезность и ответственность за ее осуществление (рис. 2) [7].

«... Сегодня в Беларуси четко выстроена архитектура достижения ЦУР, – отмечает Национальный координатор по достижению ЦУР, заместитель председателя Совета Республики Национального собрания Марианна Щёткина. Отправной точкой наших действий стало утверждение Правительством в 2015 г. Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития (НСУР), определившей основные ориентиры, которые предполагается достичь к 2030 г. *Основная задача НСУР* – трансформация модели национальной экономики от административного к индикативному планированию, достижение баланса вклада государственной и частной собственности в формирование валового внутреннего продукта и развитие национальной экономики, внедрение принципов «зеленой экономики» в производство, инновационное развитие и социальную поддержку наиболее нуждающихся и создание условий для реализации личностного потенциала каждого человека. При этом важна гармонизация Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития с Целями устойчивого развития. Хочу подчеркнуть, стратегическая цель и главный показатель достижения ЦУР – не цифры и индикаторы, а благополучие людей и дальнейшее развитие страны ...» [5].



Рис. 2. Архитектура управления процессом достижения ЦУР в Республике Беларусь

Fig. 2. The architecture of management of the SDG process in the Republic of Belarus

Республика Беларусь занимает высокое 21-е место в рейтинге стран по достижению Повестки дня 2030. Об этом сообщается в «Отчетах SDG Index and Dashboards Report 2017 Global Responsibilities International» (рис. 3).

## BELARUS

Eastern Europe and Central Asia

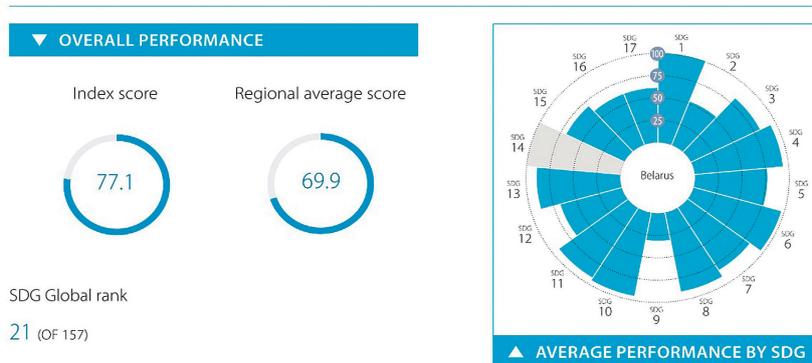


Рис. 3. Республика Беларусь в рейтинге стран по достижению ЦУР [12]

Fig. 3. Republic of Belarus in the SDG Global Rank [12]

Дальнейшее осуществление Повестки дня 2030 также требует уточнения и корректировки реализации национальных задач для всех подчиненных секторов. При этом важно включить в процесс всю государственную административную сферу, экономику, науку и образование, а также все силы гражданского общества. В 2017 г. началась ревизия и формулирование национальных задач, вытекающих из Повестки дня 2030. По текущим экспертным оценкам, существует около 20 государственных планов или документов (с задачами до 2020 г. и далее), которые требуют согласования [13].

Особое значение при этом имеют:

- Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года.

- Программа социально-экономического развития на 2016–2020 гг.

Их общая задача заключается в следующем:

- Оценка всех целей, подцелей и показателей и их адаптации к условиям Республики Беларусь.
- Реализация национальных целей и показателей путем включения их во все основные стратегические документы.

- Перенос имеющегося контента на новую «Национальную стратегию устойчивого развития 2035».

Марианна Щёткина определила важность национализации Целей устойчивого развития. Белстат с помощью международных партнеров проделал огромную работу по формированию показателей и индикаторов достижения ЦУР в Беларуси, подготовлена концепция национальной платформы для сбора и хранения данных. К концу 2018 г. она уже будет готова. Следующий шаг – имплементация всех национальных индикаторов в отраслевые программы. «Что очень важно – мы разделили Цели устойчивого развития по темам и определили ответственных: какое министерство по каким направлениям играет стратегическую роль», – отметила национальный координатор [14].

Важным документом является «Дорожная карта», разработанная для реализации и контроля за Повесткой дня 2030 в национальных целях. Она определяет меры, которые связаны с предоставлением информации для мониторинга соответствующих показателей с целью достижения соответствующих целей устойчивости, что нужно сделать, кто должен делать то, что, когда, какие группы интересов есть и с кем нам следует сотрудничать. «... Дорожная карта не является статичным документом... Дорожная карта обеспечивает структурированную информацию о текущих событиях и будет способствовать тому, чтобы ответственные государственные органы и иные организации могли вносить активный вклад в эти процессы...» [15].

Однако хорошая стратегия и задача не являются гарантией успешного выполнения задач. Вовлечение всех и последовательное стремление к выполнению цели является определяющим. Каждый должен выполнять поставленную задачу и на все должно быть достаточно финансовых ресурсов. Для этого необходимо разработать соответствующую концепцию. Докладывая Президенту Республики Беларусь А. Г. Лукашенко 17 июля 2018 г., Мариана Щёткина предложила провести в январе 2019 г. национальный форум для обсуждения результатов достижения национальных целей в области устойчивого развития [15]. Планируется, что в мероприятии примут участие представители власти, гражданского общества, бизнеса и академических кругов. Главным вопросом для обсуждения станет Национальная

стратегия устойчивого развития до 2035 года, которая разрабатывается в Беларуси межведомственной группой [16].

**Взаимосвязь устойчивости, изменения климата и использования возобновляемых источников энергии.** В цели 7.2. Повестки дня 2030 предполагается: «... К 2030 году значительно увеличить долю энергии из возобновляемых источников в мировом энергетическом балансе...». Это связано с тем, что возобновляемые источники энергии (ветровая, солнечная, гидроэнергетика, морская, геотермальная, биомасса и биотопливо) являются альтернативой ископаемым видам топлива, помогая сократить выбросы парниковых газов, диверсифицировать поставки энергии и уменьшить зависимость от ненадежных и нестабильных рынков ископаемого топлива, в частности, сырой нефти и природного газа [17]. Использование возобновляемых источников энергии в качестве устойчивого использования энергии играет особый потенциал сохранения климата. Поэтому 2015 г. ознаменовался еще одним важным событием для устойчивого развития.

С подписанием Парижского соглашения об изменении климата в декабре 2015 г. защита климата вновь была названа центральной проблемой устойчивого развития: «...Парижская конвенция является исторической вехой в борьбе с изменением климата. В сочетании с Повесткой дня для устойчивого развития 2030 она обеспечивает мир жизненной силой и, таким образом, является последним шансом более здоровой планеты, более справедливого общества и более процветающей экономики для будущих поколений. Это открывает миру глобальный переход к чистой энергии...» [18].

Это первое универсальное юридически обязывающее соглашение, которое ставит антропогенное (искусственное) изменение климата в соответствии с международным правом. «...Универсальный характер Парижского соглашения требует подходящего баланса между целями для всех и рассмотрения различных уровней развития стран. Цели самих государств не являются частью соглашения и поэтому не могут быть международно обязательными. Но все государства обязаны разрабатывать свои цели, сообщать о них и развивать их на постоянной основе...» [19].

Следует упомянуть три важнейшие цели Парижского соглашения:

- а) ограничение роста глобального потепления значительно ниже 2 °С, если возможно, до 1,5 °С;
- б) укрепление потенциала для адаптации к изменению климата (содействие устойчивости климата и снижение выбросов парниковых газов);
- в) перенаправление потока финансовых средств в сторону развития, способствующего сокращению выбросов парниковых газов и более устойчивому климату [20].

Устойчивость также означает использование экологически чистой энергии и увеличение замещения ископаемого топлива – «декарбонизация». На энергетический сектор приходится две трети выбросов CO<sub>2</sub> во всем мире. Возобновляемые источники энергии и энергоэффективность могут сэкономить до 90 % выбросов CO<sub>2</sub> к 2050 г. [21].

Для Республики Беларусь также существуют определенные возможности экономии (рис. 4).

**Потенциал сокращения выбросов парниковых газов по секторам, тыс. тонн CO<sub>2</sub>-экв.**

Наименование сектора	Потенциал к 2030 году
Электроэнергетика и теплоэнергетика	6102
Промышленность	6688
Жилые и общественные здания	8044
Транспорт	4564
Прочие отрасли экономики	1404
<b>Итого</b>	<b>26 802</b>

Рис. 4. Потенциал сокращения выбросов парниковых газов по секторам, тыс. т CO<sub>2</sub>-экв. [22]

Fig. 4. Potential for reduction of greenhouse gas emissions by sectors of economics, thousand tons of CO<sub>2</sub>-eq

Таким образом, энергетическая политика становится климатической. В контексте устойчивости и изменения климата неограниченное и расширенное использование возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь следует рассматривать и понимать как прекрасную возможность на будущее. С новыми механизмами и стимулами, которые должны быть найдены, исследования и практическая политика должны быть направлены на то, чтобы сделать их использование более рентабельным. Подробное рассмотрение развития нетрадиционных источников энергии для будущего изображено на рис. 5:

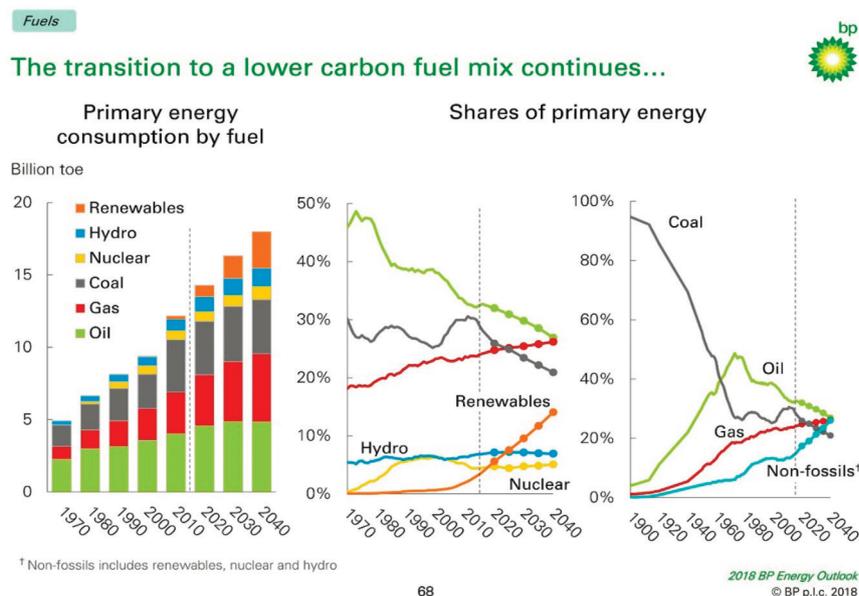


Рис. 5. Сценарий развития ВИЭ с учетом потребления первичной энергии [23]

Fig. 5. The scenario of renewable energy development considering the consumption of primary energy

На долю возобновляемых источников энергии в общем количестве мировой энергии приходится самый быстрый рост. При вышеописанном сценарии в 2040 г. на долю нефти, газа, угля и других ископаемых источников энергии будет приходиться по 25 % (рис. 6).

	Consumption (Mtoe)		Shares (%)		Change (Mtoe)		Change (%)		Change (% per annum)	
	2016	2040	2016	2040	1990-2016	2016-2040	1990-2016	2016-2040	1990-2016	2016-2040
<b>Primary energy</b>	13276	17983	100%	100%	5134	4707	63%	35%	1.9%	1.3%
<i>By fuel:</i>										
Oil	4336	4836	33%	27%	1183	500	38%	12%	1.2%	0.5%
Gas	3204	4707	24%	26%	1437	1502	81%	47%	2.3%	1.6%
Coal	3732	3762	28%	21%	1486	30	66%	1%	2.0%	0.0%
Nuclear	592	912	4%	5%	139	320	31%	54%	1.0%	1.8%
Hydro	910	1241	7%	7%	423	331	87%	36%	2.4%	1.3%
Renewables	502	2527	4%	14%	467	2025	1333%	404%	10.8%	7.0%

Рис. 6. Структура потребления первичной энергии [23]

Fig. 6. Structure of primary energy consumption

Этот пример свидетельствует о том, что «декарбонизация» производства происходит главным образом за счет экономии энергии, энергоэффективности и расширения возобновляемых источников энергии. Данные аспекты являются важнейшими элементами борьбы с изменением климата и сокращением выбросов парниковых газов. Возобновляемая энергия, таким образом, является ключевым компонентом национальных детерминированных взносов (НДЦ) – центрального инструмента осуществления договоренностей для стран в рамках Парижского соглашения [21]. Следовательно, ключевым фактором в реализации Парижского соглашения об изменении климата является разработка и осуществление Национально детерминированных взносов для достижения долгосрочных целей, которые воплощают усилия

каждой страны по сокращению национальных выбросов парниковых газов и адаптации к последствиям изменения климата. Парижское соглашение (п. 2 ст. 4) требует, чтобы каждая Сторона готовила, сообщала и поддерживала последовательные национальные взносы (НДЦ), которые она намеревается достичь. Стороны проводят внутренние смягчающие меры с целью достижения целей таких взносов [24]. Уже в преддверии Парижской климатической конференции государствам-членам было предложено определить национальные целевые задачи в области климата и представить их в секретариат Рамочной конвенции по изменению климата ООН [24].

Так было и в нашей стране, которая представила 25.09.2015 документ «Предполагаемые национально-обоснованные вклады Республики Беларусь», в котором республика обязалась сократить выбросы парниковых газов на 28 % к 2030 г. по сравнению с уровнем 1990 г. [9].

Поскольку для НДЦ не было единых требований, то в представленных документах встречалось различие. Это затруднило сравнение и оценку всей совокупности сокращений выбросов парниковых газов, к которым стремятся страны. Поэтому в Париже было достигнуто соглашение о разработке единообразных руководящих принципов «Книги правил», которые затем должны быть приняты на Конференции по изменению климата в Катовице (3–14 декабря 2018 г.).

Национально детерминированные взносы пересматриваются каждые пять лет в соответствии с Парижским соглашением об обязательствах в области изменения климата – каждые пять лет должны быть сформулированы новые цели, которые не противоречат предыдущим (рис. 7).

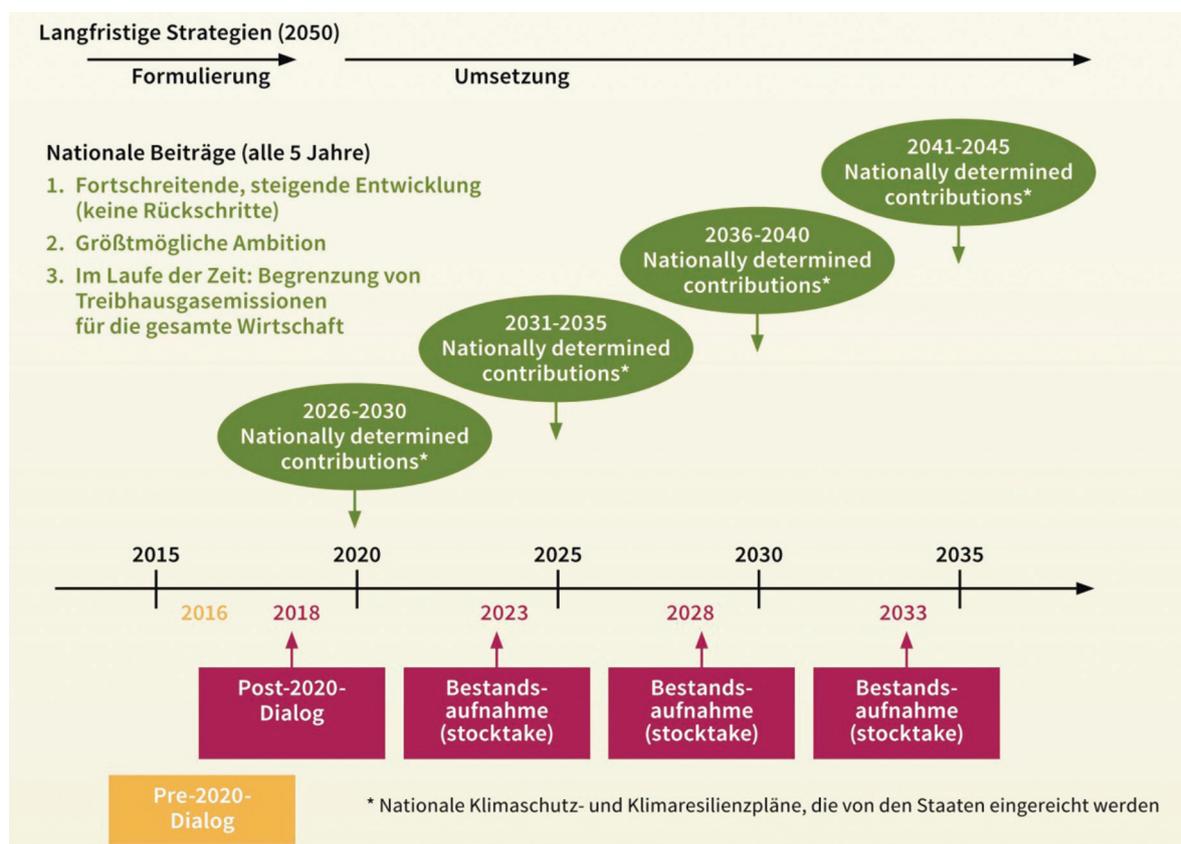


Рис. 7. Схема пересмотра национальных взносов [19]

Fig. 7. Scheme for the revision of national contributions

## Заключение

Таким образом, 3 февраля 2017 г. заместителем Премьер-министра М. И. Русым утвержден План мероприятий по реализации положений Парижского соглашения к Рамочной конвенции по изменению климата (Указ Президента Республики Беларусь от 20 сентября 2016 г. № 345). В нем определены задачи по осуществлению Парижского климатического соглашения: долгосрочные стратегические планы, мониторинг и рассмотрение / изменение законов и правил. В контексте с ранее сказанным, Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь должен быть подготов-

лен и внесен в установленном порядке проект нормативного правового акта об утверждении Стратегии долгосрочного развития Республики Беларусь с низким уровнем выбросов парниковых газов на период до 2050 г. [26].

Этот документ будет представлен в третьем квартале 2018 г. и должен быть подготовлен в соответствии с заявленными НДЦ, отвечать национальным целям Повестки дня 2030. «...Теперь проблема становится одной из задач. Парижское соглашение опирается на 1621 национально определенный вклад, предназначенный для отражения национальной климатической политики и действий 189 стран. В то же время стратегия устойчивого развития включает 17 целей и 169 подцелей, которые должны быть переведены на национальные и субнациональные планы. Это создает беспрецедентный момент для претворения в жизнь этих двух программ таким образом, чтобы они могли принести значительную взаимную выгоду и выйти за рамки того, что эти повестки дня способствуют достижению целей трансформации, которые они разделяют...» [27].

### Библиографические ссылки

1. Grober, Ulrich (2013): Die Entdeckung der Nachhaltigkeit. Aus dem Wald in die Welt – Carlowitz und die Karriere eines Begriffs. In: pro Wald (Januar 2013), S. 9–12.
2. GIZ: Agenda 2030. URL: [https://www.giz.de/de/ueber\\_die\\_giz/40669.html](https://www.giz.de/de/ueber_die_giz/40669.html) (дата обращения: 04.07.2018).
3. Von Goethe, Johann Wolfgang (1795): Wilhelm Meisters Lehrjahre: DigBib.Org: Die digitale Bibliothek. URL: [http://www.digbib.org/Johann\\_Wolfgang\\_von\\_Goethe\\_1749/Wilhelm\\_Meisters\\_Lehrjahre\\_pdf](http://www.digbib.org/Johann_Wolfgang_von_Goethe_1749/Wilhelm_Meisters_Lehrjahre_pdf) (дата обращения: 16.07.2018).
4. Совет Министров Республики Беларусь: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 11 декабря 2013 г. № 1066 «О проекте Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года». URL: <http://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21301066&p1=1&p5=0> (дата обращения: 30.07.2018).
5. Организация Объединенных Наций в БЕЛАРУСИ (2018): Беларусь: Повестка дня – 2030. Будущее планеты в наших руках. URL: <http://un.by/novosti-oon/v-belarusi/3365-belarus-povestka-dnya-2030-budushchee-planety-v-nashikh-rukakh> (дата обращения: 17.07.2018).
6. Трыбуна працы (2018): В Минске прошел Региональный форум национальных координаторов по достижению Целей устойчивого развития. URL: <http://www.tribunapracy.by/2018/02/v-minske-proshel-regionalnyj-forum-nacionalnyx-koordinatov-po-dostizheniyu-celej-ustojchivogo-razvitiya/> (дата обращения: 16.07.2018).
7. Национальный статистический комитет Республики Беларусь (2018): Дорожная карта Национального статистического комитета Республики Беларусь по разработке статистики по Целям устойчивого развития. Минск. URL: [http://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/SDG/Road\\_map\\_ru.pdf](http://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/SDG/Road_map_ru.pdf) (дата обращения: 05.07.2018).
8. БЕЛТА (30.01.18): Беларусь придаст большое значение укреплению контактов с Германией – Щёткина. БЕЛТА. URL: <http://www.belta.by/printv/politics/view/belarus-pridaet-bolshoe-znachenie-ukrepleniju-kontaktov-s-germaniej-schetkina-287131-2018/> (дата обращения: 05.07.2018).
9. Министерство иностранных дел Республики Беларусь (2018): Региональный форум координаторов по целям устойчивого развития: построение партнерства в поддержку национальных усилий в области устойчивого развития. Минск, Беларусь, 21–22 февраля 2018 г. URL: [http://sdgs.by/kcfinder/upload/files/Forum\\_SDGS.pdf](http://sdgs.by/kcfinder/upload/files/Forum_SDGS.pdf) (дата обращения: 17.07.2018).
10. Постоянное представительство Республики Беларусь при Отделении ООН и других международных организациях в Женеве (2018): Об участии белорусской делегации в Региональном форуме ЕЭК ООН по устойчивому развитию в г. Женеве. URL: <http://geneva.mfa.gov.by/ru/embassy/news/deb78acb47fb6846.html> (дата обращения: 16.07.2018).
11. IBB Minsk (2018): Nachhaltigkeitskonferenz in Minsk zeigt 270 Gästen deutliche erfolge auf. URL: <https://ibb-d.de/nachhaltigkeitskonferenz-in-minsk-zeigt-270-gaesten-deutliche-erfolge-auf> (дата обращения: 17.06.2018).
12. Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (2017): SDG Index and Dashboards Report 2017 Global Responsibilities International spillovers in achieving the goals. URL: <http://www.sdgindex.org/assets/files/2017/2017-SDG-Index-and-Dashboards-Report--regions.pdf> (дата обращения: 29.06.2018).
13. Пинигин В. В. Отчет о реализации национальной стратегии устойчивого развития до 2030. Научно-исследовательский экономический институт Министерства экономики Республики Беларусь. Минск, 2018.
14. БЕЛТА (06.06.2018): Щёткина: для имплементации ЦУР в отраслевые программы нужно подключать к работе Совмин. URL: <http://www.belta.by/printv/politics/view/schetkina-dlja-implementatsii-tsur-v-otraslevye-programmy-nuzhno-podkljuchat-k-rabote-sovmin-305785-2018/> (дата обращения: 05.07.2018).
15. Белстат (2018): Дорожная карта Национального статистического комитета Республики Беларусь по разработке статистики по Целям устойчивого развития. URL: [http://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-image/SDG/Road\\_map\\_ru.pdf](http://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-image/SDG/Road_map_ru.pdf) (дата обращения: 17.07.2018).
16. БЕЛТА (17.07.2018): Национальный форум по ЦУР планируется провести в Беларуси в январе 2019 года. URL: <http://www.belta.by/society/view/natsionalnyj-forum-po-tsur-planiruetsja-provesti-v-belarusi-v-janvare-2019-goda-310717-2018/> (дата обращения: 17.07.2018).
17. Gouardères, Frédéric; McWatt, Veronica; Fleuret, Lucile (2018): Kurzdarstellungen über die Europäische Union - 2018. Energie aus Erneuerbaren Quellen. Hg. v. EU-Parlament. URL: [http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/de/FTU\\_2.4.9.pdf](http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/de/FTU_2.4.9.pdf) (дата обращения: 09.07.2018).
18. Europäische Kommission (2016): Nach Paris: Bewertung der Folgen des Pariser Übereinkommens – Begleitunterlage zu dem Vorschlag für einen Beschluss des Rates über die Unterzeichnung des im Rahmen des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen geschlossenen Pariser Übereinkommens im Namen der Europäischen Union. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat. Brüssel. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0110&from=EN> (дата обращения: 30.07.2018).

19. Alexander Reif & Cornelius Dahm Globale Klimakrise: Aufbruch in eine neue Zukunft. Ursachen, Auswirkungen und transformative Wege aus der Klimakrise. URL: <https://germanwatch.org/de/download/22255.pdf> (дата обращения: 31.07.2018).
20. Организация Объединенных Наций (2015): Парижское соглашение. URL: [https://unfccc.int/sites/default/files/russian\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf) (дата обращения: 31.07.2018).
21. IRENA – International Renewable Energy Agency (2018): Climate Change. URL: <http://www.irena.org/climatechange> (дата обращения: 30.07.2018).
22. Станюта Д. А. Центральноевропейские координаты энергоэффективности. Энергоэффективность, 2017(12). URL: [http://www.energoeffekt.gov.by/downloads/publishing/archive\\_journal/arhiv\\_journal\\_2017/En\\_12\\_2017.pdf](http://www.energoeffekt.gov.by/downloads/publishing/archive_journal/arhiv_journal_2017/En_12_2017.pdf) (дата обращения: 10.07.2018).
23. BP energy economics (Hg.) (2018): BP Energy Outlook. 2018 edition. PowerPoint Presentation. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf> (дата обращения: 01.08.2018).
24. Europäische Kommission (2016): Nach Paris: Bewertung der Folgen des Pariser Übereinkommens – Begleitunterlage zu dem Vorschlag für einen Beschluss des Rates über die Unterzeichnung des im Rahmen des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen geschlossenen Pariser Übereinkommens im Namen der Europäischen Union. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat. Brüssel. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0110&from=EN>, (дата обращения: 30.07.2018).
25. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (2015): Предполагаемые национально-определяемые вклады Республики Беларусь. URL: [http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Belarus/1/Belarus\\_INDC\\_Rus\\_25.09.2015.pdf](http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Belarus/1/Belarus_INDC_Rus_25.09.2015.pdf) (дата обращения: 31.07.2018).
26. Совет Министров Республики Беларусь (2017): ПЛАН мероприятий по реализации положений Парижского соглашения к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (Указ Президента Республики Беларусь от 20 сентября 2016 г. № 345). Заместитель Премьер-министра Республики Беларусь М. И. Русый. URL: <http://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Plan-meroprijatij-po-realizatsii-PS.PDF> (дата обращения: 19.06.2018).
27. Northrop, Eliza; Biru, Hana; Lima, Sylvia; Bouye, Mathilde; Song, Ranping (2016): Examining the alignment between the intended nationally determined contributions and sustainable development goals. Working Paper. Hg. v. World Resources Institute. Washington. URL: [https://www.wri.org/sites/default/files/WRI\\_INDCs\\_v5.pdf](https://www.wri.org/sites/default/files/WRI_INDCs_v5.pdf) (дата обращения: 31.07.2018).

## References

1. [Grober, Ulrich (2013): [Die Entdeckung der Nachhaltigkeit. Aus dem Wald in die Welt – Carlowitz und die Karriere eines Begriffs]. In: pro Wald (Januar 2013), S. 9–12 (in Germany).
2. GIZ: Agenda 2030. URL: [https://www.giz.de/de/ueber\\_die\\_giz/40669.html](https://www.giz.de/de/ueber_die_giz/40669.html) (date of access: 04.07.2018).
3. Von Goethe, Johann Wolfgang (1795): Wilhelm Meisters Lehrjahre: DigBib.Org: Die digitale Bibliothek. URL: [http://www.digbib.org/Johann\\_Wolfgang\\_von\\_Goethe\\_1749/Wilhelm\\_Meisters\\_Lehrjahre\\_pdf](http://www.digbib.org/Johann_Wolfgang_von_Goethe_1749/Wilhelm_Meisters_Lehrjahre_pdf) (date of access: 16.07.2018).
4. The Council of Ministers of the Republic of Belarus: Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus № 1066 of December 11, 2013 «About the Draft National Strategy for Sustainable Social and Economic Development of the Republic of Belarus for the Period of 2030». URL: <http://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21301066&p1=1&p5=0> (date of access: 30.07.2018).
5. United Nations in Belarus (2018): Belarus: Agenda - 2030. The future of the planet is in our hands. URL: <http://un.by/novosti-on/v-belarusi/3365-belarus-povestka-dnya-2030-budushchee-planety-v-nashikh-rukakh> (date of access: 17.07.2018).
6. Trybuna pracy (2018): The Regional Forum of National Coordinators for the achievement of the Sustainable Development Goals was held in Minsk. URL: <http://www.tribunapracy.by/2018/02/v-minske-proshel-regionalnyj-forum-nacionalnyx-koordinatorov-podstizheniyu-celej-ustojchivogo-razvitiya/> (date of access: 16.07.2018).
7. National Statistical Committee of the Republic of Belarus (2018): Roadmap of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus for the development of statistics on the goals of sustainable development. Minsk. URL: [http://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/SDG/Road\\_map\\_ru.pdf](http://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/SDG/Road_map_ru.pdf) (date of access: 05.07.2018).
8. BELTA (30.01.18): Belarus attaches great importance to strengthening contacts with Germany – Shchetkin. BELTA. URL: <http://www.belta.by/printv/politics/view/belarus-pridaet-bolshoe-znachenie-ukrepleniju-kontaktov-s-germaniej-schetkina-287131-2018/> (date of access: 05.07.2018).
9. Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Belarus (2018): Regional Forum of Coordinators on the Sustainable Development Goals: Building a Partnership in Support of National Efforts for Sustainable Development. Minsk, Belarus, February 21–22, 2018. URL: [http://sdgs.by/kcfinder/upload/files/Forum\\_SDGS.pdf](http://sdgs.by/kcfinder/upload/files/Forum_SDGS.pdf) (date of access: 17.07.2018).
10. Permanent Mission of the Republic of Belarus to the United Nations Office and other international organizations in Geneva (2018): The participation of the Belarusian delegation in the UNECE Regional Forum on Sustainable Development in Geneva. URL: <http://geneva.mfa.gov.by/ru/embassy/news/debf8acb47fb6846.html> (date of access: 16.07.2018).
11. IBB Minsk (2018): Nachhaltigkeitskonferenz in Minsk zeigt 270 Gästen deutliche erfolge auf. URL: <https://ibb-d.de/nachhaltigkeitskonferenz-in-minsk-zeigt-270-gaesten-deutliche-erfolge-auf> (date of access: 17.06.2018).
12. Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (2017): SDG Index and Dashboards Report 2017 Global-Responsibilities International spillovers in achieving the goals. URL: <http://www.sdgindex.org/assets/files/2017/2017-SDG-Index-and-Dashboards-Report--regions.pdf> (date of access: 29.06.2018).
13. Pinigin V. V. (2018): Report on the implementation of the national sustainable development strategy until 2030. Research Economic Institute of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus. Minsk, 2018.
14. BELTA (06.06.2018): Shchetkina: for the implementation of the SDG in the sectoral programs it is necessary to connect the work of the Council of Ministers. URL: <http://www.belta.by/printv/politics/view/schetkina-dlja-implementatsii-tsur-v-otraslevye-programmy-nuzhno-podkljuchat-k-rabote-sovmin-305785-2018/> (date of access: 05.07.2018).
15. Belstat (2018): Roadmap of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus for the development of statistics on the goals of sustainable development. URL: [http://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-image/SDG/Road\\_map\\_ru.pdf](http://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-image/SDG/Road_map_ru.pdf) (date of access: 17.07.2018).

16. BELTA (July 17, 2013): The National SDG Forum is scheduled to be held in Belarus in January 2019. URL: <http://www.belta.by/society/view/natsionalnyj-forum-po-tsur-planiruetsja-provesti-v-belarusi-v-janvare-2019-goda-310717-2018/> (date of access: 17.07.2018).
17. Gouardères, Frédéric; McWatt, Veronica; Fleuret, Lucile (2018): Kurzdarstellungen über die Europäische Union - 2018. Energie aus Erneuerbaren Quellen. Hg. v. EU-Parlament. URL: [http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/de/FTU\\_2.4.9.pdf](http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/de/FTU_2.4.9.pdf) (date of access: 09.07.2018).
18. Europäische Kommission (2016): Nach Paris: Bewertung der Folgen des Pariser Übereinkommens - Begleitunterlage zu dem Vorschlag für einen Beschluss des Rates über die Unterzeichnung des im Rahmen des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen geschlossenen Pariser Übereinkommens im Namen der Europäischen Union. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat. Brüssel. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016D-C0110&from=EN> (date of access: 30.07.2018).
19. Alexander Reif & Cornelius Dahm; Germanwatch e.V.: Globale Klimakrise: Aufbruch in eine neue Zukunft. Ursachen, Auswirkungen und transformative Wege aus der Klimakrise. URL: <https://germanwatch.org/de/download/22255.pdf> (date of access: 31.07.2018).
20. United Nations (2015): The Paris Agreement. URL: [https://unfccc.int/sites/default/files/russian\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf) (date of access: 31.07.2018).
21. IRENA – International Renewable Energy Agency (2018): Climate Change. URL: <http://www.irena.org/climatechange> (date of access: 30.07.2018).
22. Stanyuta D. A. (2017): Central European Coordinates of Energy Efficiency. Energy Efficiency, 2017 (12) URL: [http://www.energoeffekt.gov.by/downloads/publishing/archive\\_journal/arhiv\\_journal\\_2017/En\\_12\\_2017.pdf](http://www.energoeffekt.gov.by/downloads/publishing/archive_journal/arhiv_journal_2017/En_12_2017.pdf) (date of access: 10.07.2018).
23. BP energy economics (Hg.) (2018): BP Energy Outlook. 2018 edition. PowerPoint Presentation. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf> (date of access: 01.08.2018).
24. Europäische Kommission (2016): Nach Paris: Bewertung der Folgen des Pariser Übereinkommens – Begleitunterlage zu dem Vorschlag für einen Beschluss des Rates über die Unterzeichnung des im Rahmen des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen geschlossenen Pariser Übereinkommens im Namen der Europäischen Union. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat. Brüssel. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016D-C0110&from=EN> (date of access: 30.07.2018).
25. Ministry of natural resources and environmental protection of the Republic of Belarus (2015): Estimated nationally determined contributions of the Republic of Belarus. URL: [http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Belarus/1/Belarus\\_INDC\\_Rus\\_25.09.2015.pdf](http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Belarus/1/Belarus_INDC_Rus_25.09.2015.pdf) (date of access: 31.07.2018).
26. The Council of Ministers of the Republic of Belarus (2017): PLAN of activities to implement the provisions of the Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change (Presidential Decree No. 345 of September 20, 2016). Deputy Prime Minister of the Republic of Belarus M.I. Rusyi. URL: <http://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Plan-meroprijatij-po-realizatsii-PS.PDF> (date of access: 19.06.2018).
27. Northrop, Eliza; Biru, Hana; Lima, Sylvia; Bouye, Mathilde; Song, Ranping (2016): Examining the alignment between the intended nationally determined contributions and sustainable development goals. Working Paper. Hg. v. World Resources Institute. Washington. URL: [https://www.wri.org/sites/default/files/WRI\\_INDCs\\_v5.pdf](https://www.wri.org/sites/default/files/WRI_INDCs_v5.pdf) (date of access: 31.07.2018).

*Статья поступила в редакцию 26.06.2018  
Received by editorial board 26.06.2018*

---

---

# ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

---

## THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

---

---

УДК 581.1:574.2

### АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС РАСТЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТРОПОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

*Н. В. ГОНЧАРОВА<sup>1)</sup>, Ю. В. ЖИЛЬЦОВА<sup>1)</sup>, В. Ф. КОВАЛЁВ<sup>1)</sup>, С. С. ПОЗНЯК<sup>1)</sup>*

*<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь*

Представлены результаты пятилетнего цикла исследований, позволивших оценить антропогенную нагрузку в наземной и водной экосистемах по изменению показателя антиоксидантного статуса, произрастающих в них растений и провести сравнительный анализ их устойчивости к неорганическим поллютантам и радионуклидам. Выявлена значимость низкомолекулярных и высокомолекулярных компонентов системы антиоксидантной защиты при формировании устойчивости растений к антропогенному стрессу, разработаны методические рекомендации по использованию параметров антиоксидантной системы для комплексной диагностики устойчивости растений к антропогенному воздействию.

---

#### Образец цитирования:

Гончарова Н. В., Жильцова Ю. В., Ковалёв В. Ф., Позняк С. С. Антиоксидантный статус растений как инструмент исследования их устойчивости к антропогенному воздействию // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 21–33.

#### For citation:

Goncharova N. V., Zhiltsova Yu. V., Kavaliou V. F., Pazniak S. S. Plants antioxidant status as a tool for studying it resistance to anthropogenic impact. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 21–33 (in Russ.).

---

#### Авторы:

**Надежда Вячеславовна Гончарова** – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры экологического мониторинга и менеджмента.

**Жильцова Юлия Валентиновна** – кандидат биологических наук, научный сотрудник научно-исследовательского сектора.

**Ковалёв Валерий Федорович** – младший научный сотрудник научно-исследовательского сектора.

**Позняк Сергей Степанович** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора по научной работе.

#### Authors:

**Nadezhda V. Goncharova**, PhD (biology), associate professor; associate professor of the department of environmental monitoring and management.

*goncharova@iseu.by*

**Yulia V. Zhiltsova**, PDh (biology), researcher of the research sector.

*zhyltsova@mail.ru*

**Valery F. Kavaliou**, junior researcher of the research sector.

*letuciennik@gmail.com*

**Sergey S. Pazniak**, doctor of science (agriculture), professor; deputy director for research.

*pazniak@iseu.by*

**Ключевые слова:** устойчивость растений; тяжелые металлы; радионуклиды; окислительный стресс; антиоксидантный статус; перекисное окисление липидов; малоновый диальдегид.

## PLANTS ANTIOXIDANT STATUS AS A TOOL FOR STUDYING IT RESISTANCE TO ANTHROPOGENIC IMPACT

N. V. GONCHAROVA<sup>A</sup>, Yu. V. ZHILTSOVA<sup>A</sup>, V. F. KOVALIOU<sup>A</sup>, S. S. PAZNIAK<sup>A</sup>

<sup>A</sup>Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

Corresponding author: N. V. Goncharova (goncharova@iseu.by)

The article presents the results of a five-year research cycle that made it possible to assess the antioxidant status of plants of different ecosystems with different anthropogenic loads, to conduct a comparative analysis of their resistance to inorganic pollutants and radionuclides. The importance of low-molecular and high-molecular components of the antioxidant protection system in the formation of plant resistance to anthropogenic stress was revealed; methodical recommendations on the use of parameters of the antioxidant system for the complex diagnosis of plant resistance to anthropogenic effects were developed.

**Key words:** plant resistance; heavy metals; radionuclides; oxidative stress; antioxidant status; lipid peroxidation; malonic dialdehyde.

### Введение

Одним из подходов в оценке состояния объектов окружающей среды является выявление изменений в функционировании системы антиоксидантной защиты растений. При неблагоприятных факторах среды наблюдаемое в растениях увеличение интенсивности процессов перекисного окисления липидов и роста концентрации малонового диальдегида (КМД) сопровождается повышением содержания биомолекул, обладающих антиоксидантной активностью (АОА). Величина соотношения АОА/КМД характеризует антиоксидантно-прооксидантное равновесие в клетках и может быть одним из показателей адаптационного процесса. Стабильность или увеличение показателя АОА/КМД свидетельствует об успешной адаптации растений [1]; его снижение сигнализирует о том, что изменения, происходящие в структуре и свойствах биологических мембран, могут привести к развитию патологий [2].

Исследования функциональной активности системы антиоксидантной защиты позволяют определить состояние объектов экосистемы до появления видимых повреждений биоты. Несмотря на перспективность оценки состояния экосистем с использованием показателей антиоксидантной защиты растений, в Республике Беларусь комплексным исследованиям в этом направлении не уделялось должного внимания. Изучение изменений функционирования системы антиоксидантной защиты растений в зависимости от условий произрастания и уровня техногенной нагрузки чрезвычайно актуально для определения состояния экосистемы до появления видимых повреждений биоты. Авторами публикации проведены многолетние лабораторные и полевые исследования, позволившие показать определяющую роль антиоксидантного статуса растений в формировании стрессоустойчивости различных фитоценозов в условиях изменяющейся антропогенной нагрузки [3–6].

Цель исследования – выявить возможность использования высших растений различных экосистем в качестве индикаторов антропогенной нагрузки на основании показателей функциональной активности системы антиоксидантной защиты; провести сравнительный анализ устойчивости растений к неорганическим поллютантам и радионуклидам.

### Материалы и методы исследования

При изучении антропогенного воздействия города на элементный состав и биохимические показатели растений определены экспериментальные участки для отбора проб на водоемах и водотоках г. Минска и его окрестностей. К ним относятся экспериментальный участок «р. Свислочь ниже г. Заславля» и «Цнянское водохранилище», которые подвержены наименьшей антропогенной нагрузке, «Комсомольское озеро» и «Чижовское водохранилище», расположенные в черте крупного города, «р. Свислочь – д. Королищевичи», размещенный на 10 км ниже г. Минска.

Содержание химических элементов Fe, Mn, Zn, Ti, Cu, Cr, Pb, Ni в макрофитах и грунте определяли методом рентгено-флуоресцентного анализа на спектрометре энергий рентгеновского излучения CEP-01 (ElvaX, Украина) [7].

Антиоксидантную активность макрофитов определяли фотохемилюминесцентным методом на анализаторе антиоксидантов и свободных радикалов Photochem (Analytik Jena, Германия) [8].

Интенсивность процесса перекисного окисления липидов в растениях регистрировали на спектрофотометре UV-2501 PC (Shimadzu, Япония) при  $\lambda = 532$  нм и  $\epsilon = 155$   $\text{мМ}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  по содержанию малонового диальдегида [9].

Для оценки действия оксидного стресса и прогнозирования устойчивости агроценозов проведены три серии экспериментов (лабораторные и полевые) по изучению влияния абиотических (ионы Cd) и биотических (температура, влажность) на структурно-функциональное состояние липидных компонентов фотосинтетических мембран некоторых сельскохозяйственных растений.

В первой серии опытов объектом исследования стали растения клевера лугового, выращенного в водной культуре в лабораторных условиях.

Цель второй серии опытов – исследование перекисного гомеостаза мембран хлоропластов при высокотемпературном стрессе: более мягкое воздействие ( $38$  °C) и более жесткое ( $45$  °C).

Третья серия опытов – полевые эксперименты на полях ОАО «Октябрьская революция» д. Гритчино, Дзержинского р-на Минской обл., цель которых – исследование состава мембранных липидов, определение содержания хлорофиллов и каротиноидов на стадии полных всходов в листьях ячменя и кукурузы в условиях агроценоза в зависимости от времени суток (температуры и влажности) [10].

В пятилетнем эксперименте изучена реакция пигментной и антиоксидантной систем хвои сосны обыкновенной, произрастающей в Наровлянском и Ветковском лесхозах Гомельской обл.) [11]. Район исследования: 10 постоянных экспериментальных участков на территории Ветковского и 5 площадок Наровлянского лесхозов. Сбор материала (кора, хвоя, листья) проводился в течение вегетационного периода (июнь-июль) 2011–2015 гг. Подготовка проб к измерениям и измерение активности цезия-137 осуществляли в соответствии с «Методикой радиационного мониторинга в лесах» (Приказ Минлесхоза от 24. 05. 2006 г. № 113; Реестр нормативных документов Минлесхоза 23.05.2006 № 000065). Для измерения удельной активности цезия-137 в опытных образцах использовали гамма-радиометр РКГ-АТ1320В [12].

Количественное определение хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов было проведено спектрофотометрически без предварительного разделения в 100 %-ной ацетоновой вытяжке с последующим расчетом по формуле Хольма–Ветшттейна [13]. Массовую концентрацию антиоксидантов (АОА) в исследуемых образцах, эквивалентную кверцетину, определяли амперометрическим методом по методике Я. И. Яшина [14].

Полученные данные обработаны статистически и представлены в виде средних арифметических значений и их стандартных ошибок. Статистическая значимость различий между вариантами определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента ( $p < 0,05$ ). Корреляционный анализ проводили с помощью критерия Пирсона. Статистическая обработка результатов и построение графиков выполнены в программе Stat-Soft STATISTICA 8.0 и MS Excel 2003.

## Результаты исследования и их обсуждение

Ранее проведенные исследования показали, что адаптивные возможности растений определяются как их видовой спецификой, так и соответствующими условиями среды. Исследованные наземные и водные местообитания характеризуются многокомпонентным характером загрязнения. Высокий уровень загрязнения сформировался постепенно, в течение последних десятилетий. Повышенные концентрации поллютантов влияют на структуру и функционирование растительных популяций. Соответственно, ответные реакции растений являются сложными и неоднозначными, а характер их отклика на воздействие зависит от многих факторов.

Анализ результатов по оценке антиоксидантного статуса водных растений, собранных из местообитаний с разной антропогенной нагрузкой, свидетельствует об ответных реакциях на стресс. В большинстве случаев возрастание антропогенной нагрузки приводит к усилению перекисного окисления липидов. Однако степень ПОЛ выражена неодинаково в зависимости от активации антиоксидантных систем клетки под воздействием стрессоров. В среднем количество продуктов ПОЛ у растений из импактной зоны (загрязненного водоема) возрастает в 1,5–2,0 раза по сравнению с фоновым (контрольным).

В табл. 1 представлены значения индикационных показателей в зависимости от степени загрязненности водного объекта.

Шкала оценки экологического состояния водного объекта  
с использованием параметров системы антиоксидантной защиты растений-индикаторов

Table 1

A scale for assessing the ecological status of a water body using the parameters of the plant's antioxidant protection system

Состояние водного объекта	Значение ИСТМ	Вид-индикатор	Значения индикационных показателей
Чистое или слабо загрязненное	0,50–10,00	<i>Spirodela polyrrhiza</i>	$73,3 \leq \text{АОАв} \leq 278,6$ $1,2 \leq \text{АОАв/КМД} \leq 1,7$
Чистое, слабо или умеренно загрязненное	0,50–15,00	<i>Elodea canadensis</i>	$1,1 \leq \text{АОАж/КМД} \leq 1,6$
	0,10–3,00	<i>Phragmites australis</i>	$63,8 \leq \text{АОАв} \leq 158,0$ $2,0 \leq \text{АОАж/КМД} \leq 4,4$ $3,4 \leq \text{АОАв/КМД} \leq 7,8$
	0,50–15,00	<i>Lemna minor</i>	$61,6 \leq \text{АОАж} \leq 238,7$ $42,4 \leq \text{АОАв} \leq 161,5$ $0,5 \leq \text{АОАв/КМД} \leq 0,9$
Слабо или умеренно загрязненное	5,01–15,00	<i>Spirodela polyrrhiza</i>	$128,0 \leq \text{АОАж} \leq 165,0$
	5,01–15,00	<i>Ceratophyllum demersum</i>	$81,1 \leq \text{АОАж} \leq 100,4$ $1,4 \leq \text{АОАж/КМД} \leq 3,5$
Сильно загрязненное	более 15,01	<i>Spirodela polyrrhiza</i>	$\text{АОАв} \leq 13,9$ $\text{АОАв/КМД} \leq 0,4$
	более 15,01	<i>Lemna minor</i>	$\text{АОАв} \leq 6,0$ $\text{КМД} \geq 115,0$
	более 3,01	<i>Phragmites australis</i>	$0,6 \leq \text{АОАв/КМД} \leq 1,2$

Исследованные виды макрофитов по среднему значению антиоксидантной активности (мкмоль/г) располагаются в следующем убывающем порядке:

- по содержанию жирорастворимых компонентов: *Lemna minor* L. (97,8) > *Spirodela polyrrhiza* L. Schleid. (54,8) > *Acorus calamus* L. (52,0) > *Ceratophyllum demersum* L. (41,1) > *Elodea canadensis* Michx. (33,8) > *Phragmites australis* Cav. Trin. ex Steud. (26,0) > *Staurogeton trisulcus* L. Schur (20,5) > *Stratiotes aloides* L. (7,9);

- по содержанию водорастворимых компонентов: *Acorus calamus* L. (135,3) > *Spirodela polyrrhiza* L. Schleid. (71,4) > *Stratiotes aloides* L. (69,5) > *Phragmites australis* Cav. Trin. ex Steud. (58,4) > *Lemna minor* L. (49,7) > *Ceratophyllum demersum* L. (25,4) > *Staurogeton trisulcus* L. Schur (19,3) > *Elodea canadensis* Michx. (11,9).

Исследованные виды макрофитов принадлежат к пяти семействам. Наблюдается уменьшение антиоксидантной активности жирорастворимых экстрактов в следующем ряду: Lemnoideae (57,7) > Araceae (52,0) > Ceratophyllaceae S.F. Gray (41,1) > Poaceae Bamhart. (26,0) > Hydrocharitaceae Juss. (20,8). Для водорастворимых экстрактов ряд следующий: Araceae (135,3) > Poaceae Bamhart. (58,4) > Lemnoideae (46,8) > Hydrocharitaceae Juss. (40,7) > Ceratophyllaceae S. F. Gray (25,4).

На основании полученных данных были рассчитаны коэффициенты корреляционной зависимости между содержанием химических элементов в растениях и показателями антиоксидантной активности. Установлена высокая отрицательная корреляционная связь между содержанием меди в *Spirodela polyrrhiza* L. Schleid. и антиоксидантной активностью жирорастворимых экстрактов растения (АОАж) (-0,93), а также между содержанием меди и антиоксидантной активностью водорастворимых экстрактов (АОАв) (-0,73). Установлена отрицательная корреляционная зависимость средней силы между содержанием цинка в *Spirodela polyrrhiza* L. Schleid. и АОАж (-0,58). Коэффициент корреляции между АОАж и АОАв равен 0,53. Для *Lemna minor* L. наблюдалась корреляционная зависимость средней силы между содержанием цинка и АОАв и АОАж (-0,56 и -0,49 соответственно), марганцем и АОАв (-0,53), а также высокая отрицательная зависимость между содержанием железа и АОАж (-0,70), железа и АОАв (-0,77), АОАж и АОАв (0,79) [15].

В лабораторных экспериментах по изучению временной динамики Cd-индуцированного развития окислительного стресса и сопутствующего функционирования ферментативной составляющей ликвидации пероксида водорода (аскорбатпероксидазы и гваяколпероксидазы) в органах клевера лугового

установлено, что изменения в антиоксидантной системе клевера лугового под действием 0,04 мМ  $\text{Cd}^{2+}$  носили органо-специфичный характер: в вегетативной массе количество  $\text{H}_2\text{O}_2$  существенно возросло и достигало максимального значения (39 мкмоль/г сырой массы) уже к концу 1-х суток экспозиции на Cd-содержащей среде, после чего оно несколько снижалось к 48 ч (до 32 мкмоль/г сырой массы) и оставалось примерно на одном уровне до конца эксперимента (рис. 1).

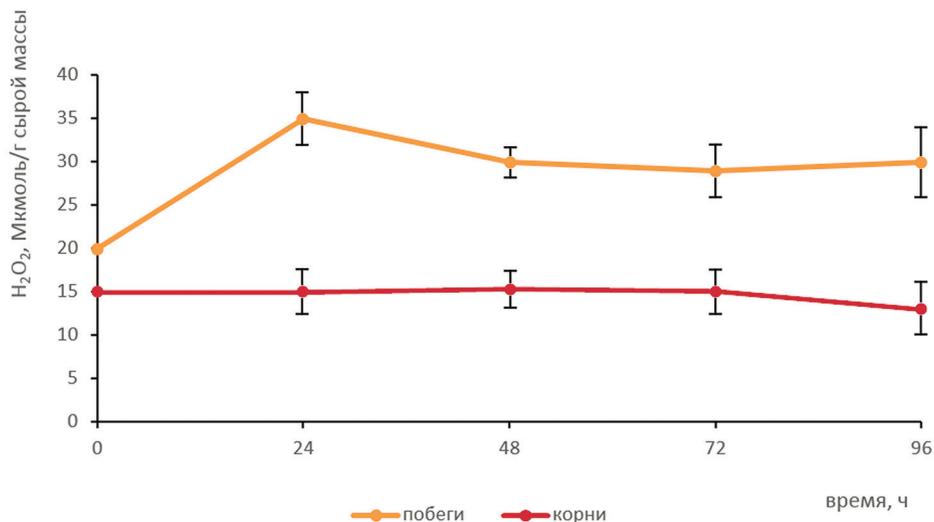


Рис. 1. Влияние ионов кадмия на динамику образования  $\text{H}_2\text{O}_2$  в органах клевера лугового

Fig. 1. Effect of cadmium ions on the dynamics of the formation of  $\text{H}_2\text{O}_2$  in the clover meadow

В то же время количество  $\text{H}_2\text{O}_2$  в корнях после повышения его уровня к 12 ч оставалось почти неизменным до 24 ч, после чего вновь повышалось к 48 ч. Количество  $\text{H}_2\text{O}_2$  в корнях снижалось, достигая минимального значения к 96 ч (15 мкмоль/г сырой массы). В наших экспериментах содержание пероксида водорода в побегах к 24 ч увеличивалось практически вдвое и объяснить это можно тем, что какое-то незначительное количество металла проникло в побеги через апопласт. Известно, что одной из основных мишеней действия пероксида, как и других АФК, являются липиды. Проведенное исследование свидетельствует, что в побегах количество малонового диальдегида (МДА), являющегося основным продуктом перекисного окисления фосфолипидов мембран, за первые сутки экспозиции на среде, содержащей  $\text{Cd}^{2+}$ , возросло в 1,5 раза, после чего оставалось неизменным на уровне 0,24 мкмоль/г сырой массы до конца эксперимента. В корнях содержание МДА варьировалось, вначале снижаясь и достигая минимального значения к 24 ч (0,17 мкмоль/г сырой массы). К 48 ч оно увеличивалось и оставалось на уровне 0,21 мкмоль/г сырой массы до 72 ч, после чего вновь снижалось к 96 ч эксперимента (рис. 2).

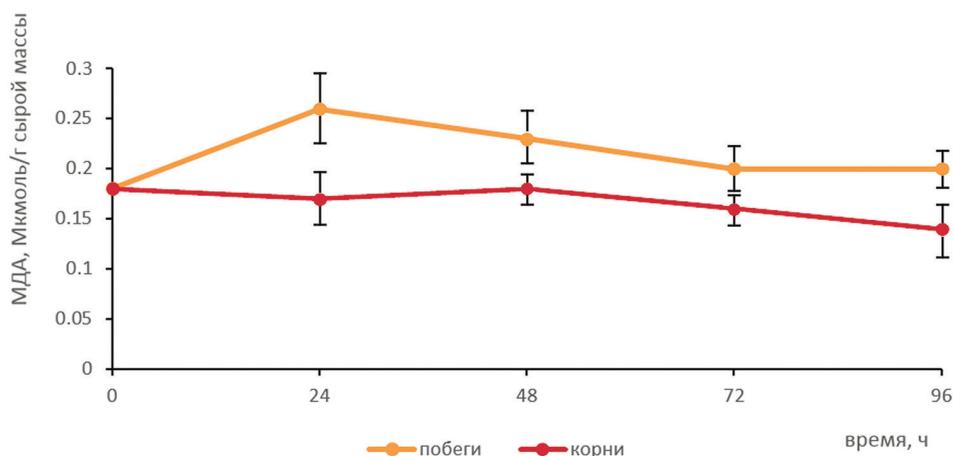


Рис. 2. Влияние ионов кадмия на динамику накопления МДА в органах клевера лугового

Fig. 2. Effect of cadmium ions on the dynamics of accumulation of MDA in the clover meadow

Возрастание интенсивности ПОЛ в начальный период экспозиции на Cd-содержащей среде могло быть связано с избыточной генерацией  $H_2O_2$  в органах клевера лугового. Очевидное соответствие наблюдавшихся изменений (рис. 1, 2) подтверждается высокими коэффициентами корреляции ( $r$ ), рассчитанными для пары: количество пероксида и МДА. Они оказались равными 0,93 и 0,84 соответственно для побегов и корней. Установлено, что активность ПО в побегах в течение первых 3-х суток оставалась примерно на одном уровне, после чего к 96 ч эксперимента увеличивалась, достигая 3,2 мкмоль/мин·г (рис. 3). Резкий рост содержания пероксида водорода (рис. 1) и незначительное возрастание активности ПО (рис. 3) в побегах в первые 48 ч эксперимента свидетельствуют о том, что данный фермент не играет существенной роли в разложении пероксида в побегах. Это может быть связано с наличием небольшого конститутивного пула фермента, de novo синтезом которого можно объяснить повышение его активности к 96 ч эксперимента.

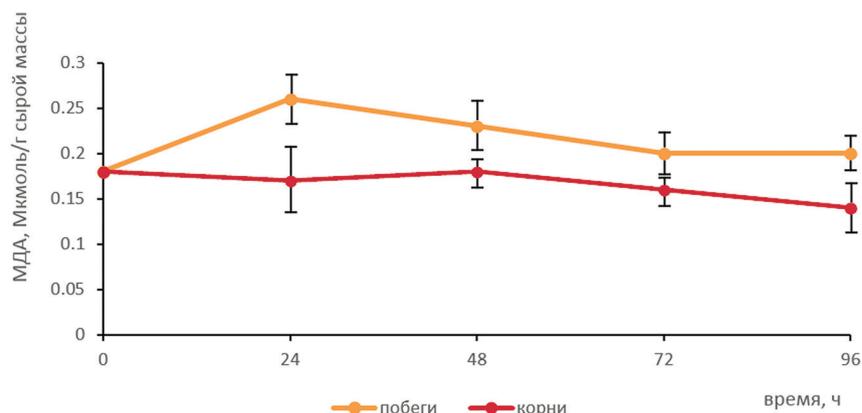


Рис. 3. Влияние ионов кадмия на изменение активности гваяколовой пероксидазы в органах клевера лугового при действии кадмия

Fig. 3. Effect of cadmium ions on the change in the activity of guaiacol peroxidase in clover meadow organs

В то же время в корнях наблюдали 13-кратное увеличение активности фермента в течение первых 12 ч экспозиции на Cd-содержащей среде. Далее происходило постепенное снижение активности пероксидазы, достигавшей к 96 ч величины 1,6 мкмоль/мин·г. Значительное увеличение активности ПО в корнях в первые 12 ч экспозиции (рис. 3), по-видимому, являлось ответной реакцией, связанной с необходимостью ликвидации избыточного образования  $H_2O_2$ . При этом реакция, катализируемая данным ферментом, лежит в основе неупорядоченной полимеризации оксикоричных спиртов (п-кумарового, кониферилового и синапового), в результате которой образуется лигнин. Известно, что кадмий может связываться с карбоксильными и гидроксильными радикалами различных соединений, к которым можно отнести и лигнин.

Активность АПО в вегетативной массе клевера лугового в течение первых 12 ч экспозиции на Cd-содержащей среде снижалась в 2,3 раза, после чего повышалась до уровня в 0,27 мкмоль/мин·г (что было все же на 30 % ниже первоначального значения), и далее она стабилизировалась до конца эксперимента (рис. 4).

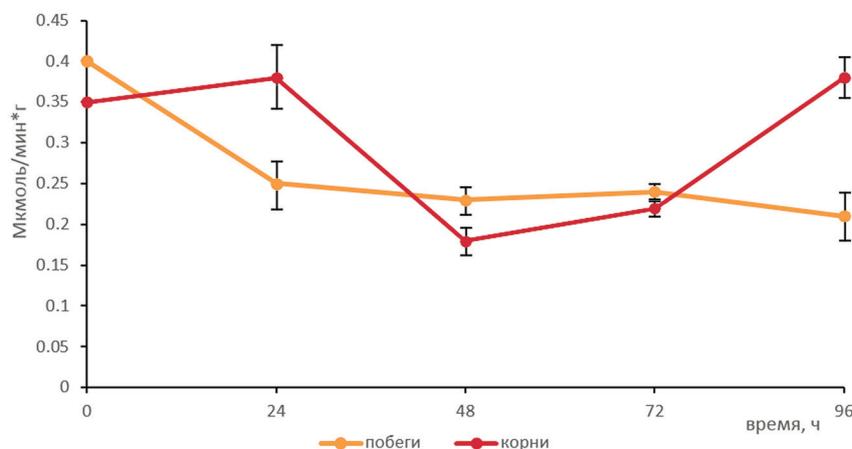


Рис. 4. Влияние ионов кадмия на активность аскорбатпероксидазы в органах клевера лугового

Fig. 4. Effect of cadmium ions on the activity of ascorbate peroxidase in clover meadow organs

Такое падение активности фермента можно объяснить быстрой инактивацией его пула в ходе катализируемой реакции. Ресинтез новых порций фермента (или изозимов), по-видимому, обеспечил возрастание активности после 12 ч эксперимента. Синтез новых молекул фермента, (отчасти) возможно инициирован самим образующимся пероксидом в силу известной сигнальной роли этого вещества. Выход активности на стационарную величину до конца эксперимента (рис. 4) и постепенное снижение количества пероксида (рис. 1) можно объяснить, с одной стороны, поддержанием необходимой скорости синтеза фермента, с другой – повышенной скоростью образования аскорбата из продуктов фотосинтеза.

В корнях активность фермента до 24 ч поддерживалась на примерно одном уровне, а затем к 48 ч снижалась вдвое. Такие данные могут быть объяснены инактивацией конститутивного пула фермента после 24 ч с последующей индукцией синтеза новых его порций (или изоферментов). Подобная динамика активности фермента в корнях на фоне данных по содержанию пероксида водорода (рис. 1) может свидетельствовать о незначительной роли этой биохимической реакции в корнях отчасти из-за невозможности (или низкой скорости) синтеза аскорбата в этой части растений. Повышение активности фермента к 96 ч эксперимента может быть обусловлено как синтезом фермента *de novo*, так и поступлением синтезированного аскорбата из листьев растений клевера лугового. Стресс-индуцированные изменения активности антиоксидантных ферментов (аскорбатпероксидазы и гваяколовой пероксидазы) впервые позволили обнаружить их разную значимость в функционировании антиоксидантной системы разных органов растения. При этом показанное возрастание активности ферментов может быть обусловлено их синтезом *de novo*, который отчасти можно объяснить сигнальной ролью образованного пероксида водорода. Динамика активности ферментов антиоксидантной защиты свидетельствует о разной величине пула исследованных ферментов в органах клевера лугового и разной скорости активации их синтеза *de novo* в ответ на образование пероксида.

Во второй серии опытов установлено, что перекисное окисление липидов хлоропластов изменяется неоднозначно в условиях высокотемпературного стресса: его скорость повышается, но имеет колебательный характер при различной длительности действия температур 38 °C и 45 °C, достигая максимального уровня к 15 мин. При переходе от 38 °C к 45 °C увеличивается амплитуда и уменьшается частота колебаний. В ответ на интенсификацию ПОЛ активируется защитная антиоксидантная система хлоропластов, что выражается в повышении активности глутатионредуктазы к 15 мин гипертермии (38 и 45 °C) и супероксиддисмутазы – при более длительном воздействии. Антиоксидантная система проявляет наибольшую активность при 38 °C только к 60 мин шока, а при 45 °C – на более ранних экспозициях.

Таким образом, температуры 38 и 45 °C оказывают различное влияние на состояние хлоропластов гороха. Температура 45 °C вызывает более сильное действие, в результате которого их ответная реакция происходит быстрее. Возможно, что при температуре 45 °C хлоропласты раньше переходят в состояние, соответствующее второй стадии стресса – стадии повышенной устойчивости, но 60-минутное воздействие уже является повреждающим (рис. 5).

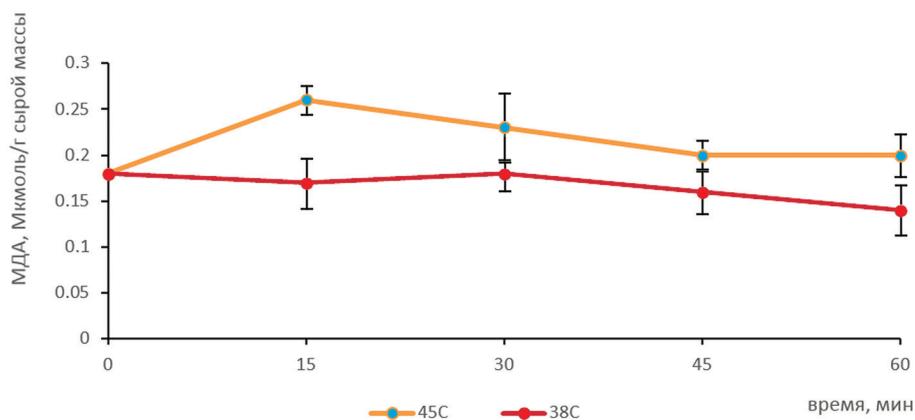


Рис. 5. Влияние высоких температур на динамику активности пероксидазы в хлоропластных мембранах гороха

Fig. 5. Effect of high temperatures on the dynamics of peroxidase activity in chloroplast membranes of pea

В литературе имеются обширные сведения о качественных и количественных изменениях липидного комплекса растительных клеток при неблагоприятных воздействиях температуры, засухи, засоления, аноксии [14]. Меньше известно о динамике или стабильности липидного состава растений в течение одного светового дня.

На третьей серии опытов (полевых) исследован состав липидных компонентов хлоропластных мембран, состав и содержание хлорофиллов и каротиноидов на стадии полных всходов в листьях ячменя и кукурузы в условиях агроценоза (ОАО «Октябрьская революция» д. Гритчино, Дзержинского р-на Минской обл.) в зависимости от времени суток (влажности).

Пробы экспериментальных растений отбирали в утреннее, дневное и вечернее время, когда температура воздуха составляла 16 °С; 32 °С и 23 °С

Суммарное содержание пигментов как в листьях ячменя, так и в листьях кукурузы было максимальным в утренние часы (1,3; 1 в 8 мг/г сырой массы соответственно), затем оно уменьшалось в течение светового дня и достигало минимума в 21 ч (табл. 2). При этом снижалась концентрация как хлорофилла *a* на 20–25 %, так и хлорофилла *b* на 30–33 % соответственно. Однако соотношение зеленых пигментов показало, что в полуденное время концентрация хлорофилла *b* снижалась в большей степени, чем хлорофилла *a*. Содержание каротиноидов оставалось постоянным в течение дня, но их соотношение с зелеными пигментами менялось от 3,0–3,5 до 2,2–2,5 соответственно.

Таблица 2

Состав и содержание пигментов в листьях ячменя и кукурузы

Table 2

Composition and content of pigments in leaves of barley and maize

Пигменты ячменя	Концентрация, мг/г сырой массы		
	7.00 ч	14.00 ч	21.00 ч
Хлорофилл <i>a</i>	0,5±0,2	0,4±0,1	0,2±0,1
Хлорофилл <i>b</i>	0,3±0,3	0,2±0,1	0,2±0,1
Каротиноиды	0,2±0,2	0,2±0,1	0,2±0,1
Сумма пигментов	1,5	1,3	1,2
Хл <i>a</i> / Хл <i>b</i>	1,3	1,5	1,2
Хл ( <i>a+b</i> )/каротиноиды	3,0	2,5	2,2
Хлорофилл <i>a</i>	0,8 ± 0,2	0,7±0,1	0,6±0,1
Хлорофилл <i>b</i>	0,6 ± 0,3	0,4±0,1	0,4±0,1
Каротиноиды	0,4 ± 0,2	0,4±0,1	0,4±0,1
Сумма пигментов	1,8	1,5	1,4
Хл <i>a</i> / Хл <i>b</i>	1,3	1,8	1,5
Хл ( <i>a+b</i> )/каротиноиды	3,5	2,8	2,5

Следует отметить, что в течение суток менялся водный режим растений. Так, содержание сухой массы в утреннее и вечернее время составило 20–23 %, а в полуденное время – 27 %.

Исходя из данных по содержанию МДА (рис. 6), установлено, что уровень ПОЛ увеличивался в после полудня на 20 % по сравнению с утренним и вечерним временем.

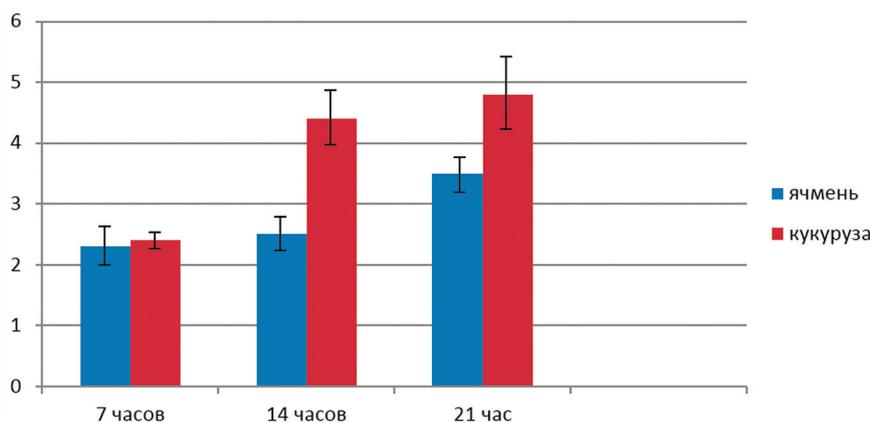


Рис. 6. Содержание МДА (мкмоль/г сырой массы) в листьях ячменя и кукурузы в зависимости от времени суток

Fig. 6. The MDA content (µmol / g wet weight) in barley and maize leaves, depending on the time of day

Содержание СЛ в расчете на 1 г сырой массы растений ячменя и кукурузы варьировало от 12,8–15,5 до 9,6–11,7 мг/г соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Содержание липидов в листьях ячменя и кукурузы в зависимости от времени суток

Table 3

The content of lipids in the leaves of barley and corn, depending on the time of day

Липиды в листьях ячменя	Концентрация, мг/г сырой массы		
	7.00 ч	14.00 ч	21.00 ч
Гликолипиды	12,8±1,4	10,4±1,1	9,1±0,9
Фосфолипиды	5,6 ±1,2	3,4±1,1	3,2±0,6
Нейтральные липиды	2,4 ±1,1	1,2±0,1	1,2±0,1
Суммарные липиды	18,5 ± 1,2	13,9± 1,5	12,3± 1,1
Липиды в листьях кукурузы	Концентрация, мг/г сырой массы		
	7.00 ч	14.00 ч	21.00 ч
Гликолипиды	10,8 ± 1,2	9,7±1,1	7,6±0,9
Фосфолипиды	4,6 ± 1,3	4,4±1,1	3,4±0,9
Нейтральные липиды	1,4 ± 1,2	0,9±0,1	1,4±0,2
Суммарные липиды	16,8 ± 1,2	14,5± 1,2	11,5± 1,2

Причем в утреннее и дневное время их количество больше, чем в вечернее. Большую часть СЛ (более 90 %) составили полярные ГЛ и ФЛ, остальная часть пришлась на НЛ (6,0–8,6 %). Количество ГЛ и ФЛ в утреннее и дневное время больше, чем в вечернее, а НЛ – постоянно в течение всего светового дня.

Выявлена зависимость: накопления галактолипидов и зеленых пигментов в СЗ и С4 растений (ячмень и кукуруза) от времени суток (рис. 7, 8).

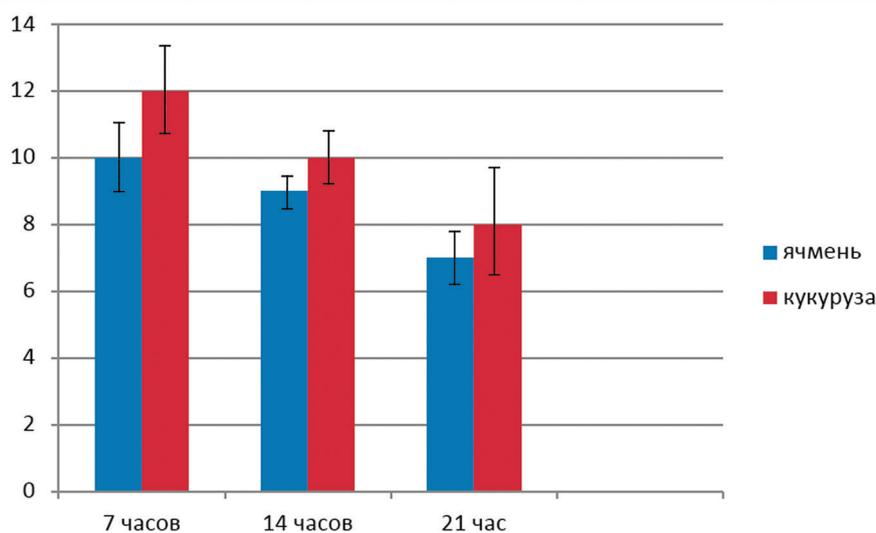


Рис. 7. Содержание галактолипидов в листьях ячменя и кукурузы (мг/г сырой массы) в зависимости от времени суток

Fig. 7. The content of galactolipids in the leaves of barley and corn (mg / g wet weight) depending on the time of day

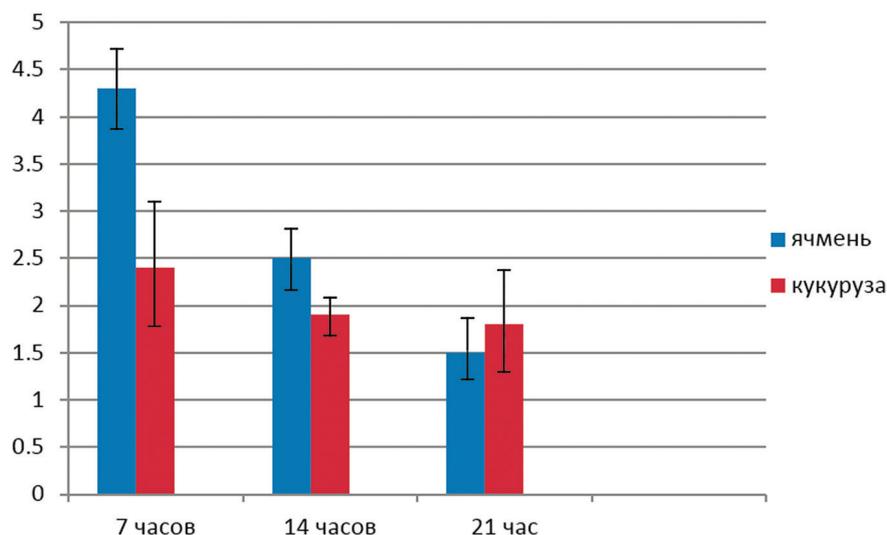


Рис. 8. Содержание хлорофилла (a+b) (мг/г сырой массы) в листьях ячменя и кукурузы в зависимости от времени суток

Fig. 8. The chlorophyll content (a + b) (mg / g wet weight) in the leaves of barley and corn, depending on the time of day

Установлена закономерность: в полуденное время, когда уменьшается содержание влаги в листьях растения, то снижается концентрация хлорофиллов, однако возрастает уровень перекисного окисления липидов.

Известно, что количество пигментов, липидов и их соотношение являются показателями нормального развития растений и протекания фотосинтетических реакций [10]. В наших исследованиях концентрация зеленых пигментов зависела от времени суток – в послеполуденное и вечернее время отмечены меньшие концентрации зеленых пигментов по сравнению с утренним временем. Известно, что одним из условий, влияющих на образование хлорофиллов, является достаточное для растения содержание влаги. В полуденное время температура воздуха была вдвое выше, чем в утреннее время. Это вызывало изменение водного баланса и, как следствие, снижение концентрации пигментов. Тогда же происходило наибольшее накопление МАД – конечного продукта ПОЛ. Вероятно, что высокая температура и интенсивность света в это время суток приводили к увеличению образования активных форм кислорода в клетках, которые окисляют органические молекулы с образованием продуктов ПОЛ [16]. Таким образом, уменьшение вклада ГЛ связано с их частичным разрушением в результате ПОЛ в дневное и вечернее время. В то же самое время известно, что в условиях интенсивного освещения формируется большое число более мелких фотосинтетических единиц, характерных для высокоактивных систем, увеличивается отношение хлорофиллов  $a/b$ , возрастает общая продуктивность фотосинтеза [17]. Адаптация фотосинтетического аппарата связана в том числе с изменением состава ГЛ. Достаточно постоянный состав ГЛ и небольшое накопление МГДГ к 14 ч свидетельствуют об эффективной адаптации растений к условиям освещенности [18].

В отношении ФЛ показано, что наибольшие изменения связаны с уменьшением относительного вклада ФХ. Этот липид является субстратом для фосфолипазы D, действие которой направлено и на ФЭ [19]. Уменьшение концентрации ФХ и накопление ФК свидетельствует в пользу активации этого процесса. Увеличение концентрации ФГ в послеполуденное время может быть связано с необходимостью стабилизации комплексов фотосистем [20].

В отличие от полярных липидов, состав и содержание ЖК оставалось неизменным в течение всего светового дня.

Выявлена зависимость: накопление ГЛ и зеленых пигментов отмечено в утренние часы; в послеобеденное время, с уменьшением содержания влаги в листьях растения, снижается концентрация хлорофиллов, возрастает уровень ПОЛ, увеличивается концентрация МГДГ и ФК; содержание же ЖК практически неизменно в течение всего светового дня. Полученные результаты свидетельствуют о динамичности биохимических характеристик, что может быть важным для оценки состояния агроценоза.

В серии полевых экспериментов, посвященных изучению влияния загрязнения территории <sup>137</sup>цезием на антиоксидантную систему популяции сосны обыкновенной Наровлянского и Ветковского лесхозов Гомельской обл., было установлено, что с увеличением степени загрязнения участков содержание антоцианов в исследуемых растениях увеличивалось. В условиях максимального загрязнения радиоцезием

уровень антоцианов был выше фонового: в хвое сосны, произрастающей на территории обоих лесничеств, в 2,2 и 8,9 раза соответственно.

Оценка суммарной антиоксидантной активности в хвое сосны обыкновенной в условиях загрязнения радиоцезием показала, что содержание водорастворимых антиоксидантов снижалось с ростом уровня загрязнения площадок наблюдения радионуклидами. В условиях минимальных концентраций <sup>137</sup>цезия в почве уровень водорастворимых антиоксидантов был значительно выше антиоксидантного статуса растений обоих фитоценозов. В условиях максимального загрязнения радиоцезием антиоксидантный статус в исследуемых растениях был ниже фонового в хвое сосны из обоих лесхозов в 7,4–7,8 раза соответственно [11; 21].

## Заключение

По пятилетнему циклу научно-исследовательских работ необходимо сделать следующие выводы:

- дана оценка антиоксидантного статуса растений из местообитаний с разной антропогенной нагрузкой;
- проведен сравнительный анализ устойчивости растений к неорганическим поллютантам и радионуклидам;
- выявлена значимость низкомолекулярных и высокомолекулярных компонентов системы антиоксидантной защиты при формировании устойчивости растений к антропогенному стрессу;
- разработаны методические рекомендации по использованию параметров антиоксидантной системы для комплексной диагностики устойчивости растений к антропогенному воздействию.

В ходе исследований выявлено, что в условиях хронического загрязнения окружающей среды у изученных видов наземных и у ряда водных растений в градиенте антропогенной нагрузки происходят существенные изменения на разных уровнях организации – молекулярном, клеточном, тканевом и организменном. Результаты модельных экспериментов доказывают, что наземные и водные растения проявляют качественно сходные ответные реакции клеточного уровня, которые можно рассматривать как защитно-приспособительные реакции, представляющие собой общие неспецифические механизмы защиты растений.

Возрастание активности антиоксидантных ферментов и увеличение содержания низкомолекулярных антиоксидантов при действии стрессоров химической природы непосредственно направлены на повышение резистентности растений в экстремальных условиях среды. Сопоставление про- и антиоксидантных процессов у разных видов растений свидетельствует о том, что растения с более высоким антиоксидантным статусом обладают более высоким адаптивным потенциалом к различным неблагоприятным воздействиям, включая действие органических поллютантов. Следовательно, изучение антиоксидантного статуса является удобной моделью для оценки устойчивости растений к антропогенным воздействиям.

Широкий спектр объектов, комплексный подход к оценке устойчивости растений на стрессовые факторы различной природы, сочетание полевого и лабораторного эксперимента, работа с растениями в условиях длительного и кратковременного загрязнения, с исходными формами и их семенным потомством позволили оценить роль компонентов антиоксидантной защиты растений и определить характер взаимосвязи между этими компонентами и устойчивостью видов в целом.

## Библиографические ссылки

1. Капич А. Н., Корнейчик Т. В. Определение антиоксидантной активности на модели перекисного окисления линолевой кислоты, инициированного грибной марганец пероксидазой // Успехи медицинской микологии / Национальная академия микологии. Минск, 2007. Т. 9. Гл. 5. С. 162–164.
2. Шурхай С. Ф., Артемук Е. Г. Антиоксидантные свойства водных экстрактов некоторых лекарственных растений // Весці Нацыянальнай Акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. Минск, 2003. Вып. 2. С. 31–35.
3. Гончарова Н. В. Растения и антропогенные стрессоры. Минск, 2005.
4. Гончарова Н. В. Растительные компоненты как индикаторы состояния наземных экосистем: процессы регуляции и ремедиации: монография. Минск, 2016.
5. Позняк С. С., Жильцова Ю. В., Романовский Ч. А. Оценка аккумуляции тяжелых металлов и образование антиоксидантных веществ в растениях Беларуси // Труды Белорусского государственного университета. Серия «Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем». Минск, 2010. Т. 5. Ч. 1. С. 89–94.
6. Жильцова Ю. В., Позняк С. С. Влияние экологических факторов на антиоксидантно-прооксидантное равновесие и накопление химических элементов в высших водных растениях Республики Беларусь // Экологический вестник. 2013. № 4 (26). С. 95–102.
7. Жильцова Ю. В., Позняк С. С. Новые методические подходы к эколого-гигиенической оценке растительного сырья водоемов // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. Минск, 2009. Вып. 13. С. 51–56.

8. Жильцова Ю. В., Позняк С. С. Антиоксидантная активность высших водных растений в условиях воздействия тяжелых металлов // Экологический вестник. 2010. № 2 (12). С. 138–143.
9. Лукаткин А. С., Голованова В. С. Интенсивность перекисного окисления липидов в охлажденных листьях теплолюбивых растений // Физиология растений. 1988. Т. 35. Вып. 4. С. 773–780.
10. Гончарова Н. В., Сермакшева Е. В., Ковалев В. Ф. Липидные компоненты фотосинтетических мембран растений как тест-система оксидного стресса и устойчивости агроценозов // Экологический вестник. 2014. № 1. С. 13–22.
11. Гончарова Н. В., Сермакшева Е. В., Ковалев В. Ф. Реакция пигментной и антиоксидантной системы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на загрязнение окружающей среды цезием-137 в Наровлянском и Ветковском лесхозах // Экологический вестник. 2014. № 2. С. 109–114.
12. Радиационный контроль. Отбор и подготовка проб лесной продукции. Порядок проведения. Радиационный контроль. Абор і падрыхтоўка проб лясной прадукцыі : ТКП 251-2010 (02080). Введ. 01.09.2010. Минск : Государственное учреждение радиационного контроля и радиационной безопасности «Беллесрад», 2010.
13. Полевой В. В., Максимова Г. Б. Методы биохимического анализа растений. Л., 1978.
14. Яшин А. Я., Яшин Я. И. Новый прибор для определения антиоксидантной активности пищевых продуктов, биологически активных добавок, растительных лекарственных экстрактов и напитков // Приборы и автоматизация. 2004. № 11. С. 45–48.
15. Позняк С. С. Оценка адаптационной способности сеgetальных растений к факторам внешней среды // Экологический вестник. 2014. № 3 (29). С. 33–38.
16. Лукаткин А. С. Вклад окислительного стресса в развитие холодового повреждения в листьях теплолюбивых растений. Повреждение клеточных мембран при охлаждении теплолюбивых растений // Физиология растений. 2003. Т. 50. С. 271–274.
17. Максимов И. В., Черепанова Е. А. Про/антиоксидантная система и устойчивость растений к патогенам // Успехи современной биологии. 2006. Т. 126. С. 250–261.
18. Махдавиан К., Горбанли М., Калантари Х. М. Влияние салициловой кислоты на формирование окислительного стресса, индуцированного УФ-светом в листьях перца // Физиология растений. 2008. Т. 55. С. 620–624.
19. Минибаева Ф. В., Гордон Л. Х. Продукция супероксида и активность внеклеточной пероксидазы в растительных тканях при стрессе // Физиология растений. 2003. Т. 50. С. 459–464.
20. Yamasaki H., Uefuji H., Sakihama Y. Bleaching of the red anthocyanin induced by superoxide radical // Archives of Biochemistry and Biophysics. 1996. Vol. 332. P. 183–186.
21. Ковалев В. Ф., Гончарова Н. В. Влияние климатических факторов на формирование семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях перманентного // Экологический вестник. 2018. № 1. С. 38–47

## References

1. Kapich A. N., Korneichik T. V. [Determination of antioxidant activity on the model of peroxidation of linoleic acid initiated by fungal manganese peroxidase]. *Progress in Medical Mycology / National Academy of Mycology*. Minsk, 2007. Vol. 9. Chap. 5. P. 162–164 (in Russ.).
2. Shurkhay S. F., Artemuk E. G. [Antioxidant properties of water extracts of some medicinal plants]. *Vestsi Natsyonalnaya Akademiï of the Slavic Belarus. Gray biyalagichnykh navuk*. Minsk, 2003. Issue. 2. P. 31–35 (in Russ.).
3. Goncharova N. V. [Plants and anthropogenic stressors]. Minsk, 2005 (in Russ.).
4. Goncharova N. V. [Plant components as indicators of the state of terrestrial ecosystems: regulatory and remediation processes: monograph]. Minsk, 2016 (in Russ.).
5. Poznyak S. S., Zhiltsova Yu. V., Romanovsky Ch. A. [Assessment of the accumulation of heavy metals and the formation of antioxidant substances in plants of Belarus]. *Proceedings of the Belarusian State University. A series of «Physiological, biochemical and molecular basis of functioning of biosystems»*. Minsk, 2010. Vol. 5. Part 1. P. 89–94 (in Russ.).
6. Zhiltsova Yu. V., Poznyak S. S. [Influence of ecological factors on antioxidant-prooxidant balance and accumulation of chemical elements in higher water plants of the Republic of Belarus]. *The Ecological Herald*. 2013. No. 4 (26). P. 95–102 (in Russ.).
7. Zhiltsova Yu. V., Poznyak S. S. [New methodical approaches to the ecological and hygienic assessment of plant raw materials in water bodies]. *Health and Environment: Sat. sci. tr*. Minsk, 2009. Issue. 13. P. 51–56 (in Russ.).
8. Zhiltsova Yu. V., Poznyak S. S. [Antioxidant activity of higher aquatic plants under the influence of heavy metals]. *The Ecological Herald*. 2010. No. 2 (12). P. 138–143 (in Russ.).
9. Lukatkin A. S., Golovanova V. S. [Intensity of lipid peroxidation in chilled leaves of heat-loving plants]. *Physiology of plants*. 1988. Vol. 35. Issue 4. P. 773–780 (in Russ.).
10. Goncharova N. V., Sermaksheva E. V., Kovaliou V. F. [Lipid components of plant photosynthetic membranes as a test system of oxide stress and agrocenosis stability]. *The Ecological Herald*. 2014. No. 1. P. 13–22 (in Russ.).
11. Goncharova N. V., Sermaksheva E. V., Kovalev V. F. [The reaction of pigment and antioxidant pine (*Pinus sylvestris* L.) system to environmental pollution by cesium-137 in Narovlyansky and Vetka leshozes]. *The Ecological Herald*. 2014. No. 2. P. 109–114 (in Russ.).
12. Radiation control. Selection and preparation of samples of forest products. Order of conduct. Radyatsyna control. Aбор і падрыхтоўка samplasnoy pracuktisi: ТКП 251-2010 (02080). Introd. 01.09.2010. Минск: State Establishment of Radiation Control and Radiation Safety «Bellehrad», 2010.
13. Polevoy V. V., Maksimova G. B. [Methods of biochemical analysis of plants]. Leningrad, 1978 (in Russ.).
14. Yashin A. Ya., Yashin Ya. I. [A new device for determining the antioxidant activity of food products, biologically active additives, herbal medicinal extracts and beverages]. *Appliances and automation*. 2004. No. 11. P. 45–48 (in Russ.).
15. Poznyak S. S. [Assessment of adaptive capacity of segetal plants to environmental factors]. *The Ecological Herald*. 2014. No. 3 (29). P. 33–38 (in Russ.).
16. Lukatkin A. S. [The contribution of oxidative stress to the development of cold damage in leaves of heat-loving plants. Damage to cell membranes during cooling of heat-loving plants]. *Physiology of plants*. 2003. Vol. 50. P. 271–274 (in Russ.).
17. Maksimov I. V., Cherepanova E. A. [Pro/antioxidant system and plant resistance to pathogens]. *Advances in modern biology*. 2006. Vol. 126. P. 250–261 (in Russ.).

18. Mahdavian K., Gorbali M., Kalantari H. M. [The influence of salicylic acid on the formation of oxidative stress induced by UV light in pepper leaves]. *Physiology of Plants*. 2008. Vol. 55. P. 620–624 (in Russ.).
19. Minibaeva F. V., Gordon L. Kh. [Superoxide production and activity of extracellular peroxidase in plant tissues under stress]. *Physiology of plants*. 2003. Vol. 50. P. 459–464 (in Russ.).
20. Yamasaki H., Uefuji H., Sakihama Y. Bleaching of the red anthocyanin induced by superoxide radical. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 1996. Vol. 332. P. 183–186.
21. Kovalev V. F., Goncharova N. V. [Influence of climatic factors on the formation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L) under conditions of permanent irradiation]. *The Ecological Herald*. 2018. No. 1. P. 38–47 (in Russ.).

*Статья поступила в редколлегию 26.06.2018*  
*Received by editorial board 26.06.2018*

УДК 575.174.015.3

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ С РАЗЛИЧНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПОЛИМОРФНЫХ МАРКЕРОВ КЛЕВЕРА ПОЛЗУЧЕГО *TRIFOLIUM REPENS* L.

О. В. ЛОЗИНСКАЯ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь

По соотношению фенотипов и динамике изменчивости морфологических признаков у *Trifolium repens* L. показано, что наибольшая генетическая стабильность наблюдается в популяциях в местах естественных ландшафтов. Наименьшая генетическая стабильность была выявлена в местах с интенсивным автотранспортным движением и наличием промышленных объектов. Отмечено возрастание числа измененных генотипов под влиянием антропогенных факторов почти вдвое: 10 на естественных территориях и 17–23 на территориях с антропогенной нагрузкой.

**Ключевые слова:** антропогенная нагрузка; генетический полиморфизм; клевер ползучий (*Trifolium repens* L.); элементный дисбаланс.

## ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL SITUATION IN THE REPUBLIC OF BELARUS WITH VARIOUS ANTHROPOGENEOUS LOAD BY THE INDICATORS OF POLYMORPHIC MARKERS CLOVER CREEPING *TRIFOLIUM REPENS* L.

O. V. LOZINSKAYA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

By the ratio of phenotypes and the dynamics of variability of morphological characters in *Trifolium repens* L. it was shown that the greatest genetic stability is observed in populations in the places of natural landscapes. The lowest genetic stability was found in the places with heavy traffic and in the places with industrial facilities. It was determined that an increase in the number of altered genotypes under the influence of anthropogenic factors was almost doubled: 10 in natural areas and 17–23 in areas with anthropogenic load.

**Key words:** antropogenic load; genetic polymorphism; clover creeping (*Trifolium repens* L.); elemental imbalance.

---

### Образец цитирования:

Лозинская О. В. Оценка состояния экологической среды в Республике Беларусь с различной антропогенной нагрузкой по показателям полиморфных маркеров клевера ползучего *Trifolium repens* L. // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 34–42.

### For citation:

Lozinskaya O. V. Estimation of environmental situation in the Republic of Belarus with various anthropogeneous load by the indicators of polymorphic markers clover creeping *Trifolium repens* L. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 34–42 (in Russ.).

---

### Авторы:

Ольга Владиславовна Лозинская – старший преподаватель кафедры общей экологии, биологии и экологической генетики.

### Authors:

Olga V. Lozinskaya, lecturer of the department of general ecology, biology and enviromental genetic.  
aromia@rambler.ru

## Введение

В настоящее время экосистемы подвергаются мощному разнофакторному антропогенному давлению из-за попадания в них значительного количества различных загрязняющих веществ, многие из которых аккумулируются в почве и воде, тем самым подвергая опасности здоровье человека. Антропогенное воздействие в отдельных случаях ставит на грань выживания многие биогеоценозы.

Большинство видов растений в процессе микроэволюции адаптировались к существованию в неблагоприятных условиях действия антропогенных факторов. Результатом этого явились изменения у некоторых из них в морфологии и обмене веществ, произошедшие вследствие накопления груза мутаций. Было установлено, что в условиях загрязнения среды обитания синантропная флора отвечает появлением разнообразных морф [1, с. 51]. Это явилось побудительным моментом для использования растений в качестве биоиндикаторов экологической чистоты местности. Так, неспецифический показатель отклонения от нормы развития клевера ползучего, обусловленный влиянием различных стрессовых факторов, в том числе загрязнением некоторыми химическими элементами, успешно применяется для оценки среды [2, с. 158; 3; 4, с. 276].

Для выявления загрязнителей различного происхождения приходится прибегать к сложным химическим анализам, которые требуют соответствующего оборудования, больших материальных затрат и не всегда доступны. Поэтому были найдены биоиндикаторы среди растений и разработаны экономически и технически доступные методы [5, с. 120].

Типичный для местообитаний, связанных с деятельностью человека, клевер ползучий *Trifolium repens* L. используется для определения степени загрязнения воздуха и почв. Всестороннее изучение популяций, обитающих в разнотипных условиях, и постоянный мониторинг их структурных изменений, вызванных популяционными волн, дрейфа генов и других причин, позволяет установить уровень экологического благополучия среды [6, с. 143].

Многими авторами отмечается высокая степень полиморфизма у популяций фитоиндикаторов, испытывающих значительную антропогенную нагрузку. Так, популяции клевера ползучего подвергаются вытаптыванию, выкашиванию, рекреации, закислению, воздействию выхлопных газов и автотранспорта. Их широкое распространение в исследуемых биоценозах, быстрая смена фаз и доступность для отбора проб позволяют использовать это растение в качестве объекта фитоиндикации [7, с. 78].

В качестве одного из показателей антропогенного воздействия рассматривается генетический полиморфизм по форме «седого» рисунка на листовой пластинке, который различается окраской, интенсивностью проявления, размером, расположением и рядом других морфологических признаков. Изучение механизма адаптации, проявляющегося в поддержании полиморфизма, обусловленного адаптивными эффектами сверхдоминирования, когда различные аллели сохраняются в популяции благодаря балансирующему отбору, дающему преимущество гетерозиготным особям, является актуальным направлением в экологии.

## Материалы и методы исследования

Сбор материала листовых пластинок *T. repens* L. проводился в июне-июле месяце в течение 2009–2012 гг. в экологически различающихся ландшафтах, испытывающих антропогенное воздействие и условно чистых. Собрано около 45 тыс. листьев из 56 точек на территории г. Минска, 12 тыс. листьев в 15 точках г. Гомеля, 8,8 тыс. листьев в 11 точках г. Хойники и 9,6 тыс. листьев в 12 точках БГБЗ.

Для определения фенотипов случайно закладывались пробные площадки в разных условиях произрастания и с разной степенью антропогенной нагрузки. Подсчет и анализ листьев растений *Trifolium repens* L. с разными формами «седых» пятен на листьях и определение фенотипов проводили по методике Шварцмана [8], сравнивая изображение на листовой пластинке с генотипом (табл. 1).

Таблица 1

Генетическая детерминация разнообразия формы «седых» пятен на листьях *Trifolium repens* L.

Table 1

Genetic determination of the diversity of the form of «gray» spots on the leaves of the *Trifolium repens* L.

Аллель	Фенотип	Символ фенотипа (фена)
$v$	Пятно отсутствует	$O$
$V$	Полное пятно	$A$
$V^H$	Полное пятно, высокое	$A^H$
$V^B$	Разорванное пятно	$B$
$V^{Bh}$	Разорванное высокое	$B^H$
$V^P$	Центральная верхняя точка	$C$
$V^F$	Большое сплошное пятно у основания	$D$
$V^S$	Низкое треугольное пятно у основания	$E$

Полученные данные обработаны статистически с использованием пакета прикладного программного обеспечения «Statistica», 8.0 и Excel.

Частота встречаемости различных генотипов и фенотипов была представлена долей растений того или иного генотипа в данной выборке для конкретного местообитания, выраженная в процентах [9, с. 30–31].

С помощью программы Excel рассчитывались стандартные показатели внутривидового разнообразия – среднее число морф  $\mu$  и доля редких морф  $h$ , а также их статистические ошибки  $S_{\mu}$  и  $S_h$  соответственно [10]. Все вышеупомянутые показатели рассчитывались в отдельности для выборок из каждой точки сбора на изучаемых территориях. Уровень значимости принимали  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ соотношения фенотипов и динамики изменчивости морфологических признаков у *Trifolium repens* L. показал, что наибольшая генетическая стабильность на протяжении всего периода исследования наблюдалась у клевера ползучего, произрастающего в естественных ландшафтах. Наименьшая генетическая стабильность была выявлена в местах с расположением промышленных объектов и интенсивным автотранспортным движением в крупных городах (табл. 2). Так, доля неизменных фенотипов на территории Березинского заповедника с 2009 по 2012 г. находилась в диапазоне 59,2–62,5 % и имела статистически значимые различия с аналогичными параметрами г. Минска ( $p < 0,05$ ), где доля неизменных генотипов составила 37,7–45,8 % и Гомеля – 27,6–37,3 % за тот же период. Как следует из таблицы, такая же картина наблюдается между Березинским заповедником и г. Хойники (34,0–52,3 %).

Таблица 2

Доля неизменных генотипов *Trifolium repens* L. на исследуемых территориях

Table 2

The proportion of unchanged genotypes of *Trifolium repens* L. in the study areas

Год наблюдений	г. Минск	Березинский заповедник	г. Гомель	г. Хойники
	Доля неизменного генотипа vv, % ± станд. откл.			
2009	39,4±25,1	59,3±12,9	34,4±25,4	47,5±26,7
2010	45,8 ± 30,3	62,5±11,4	27,6±28,2	52,3±40,2
2011	39,4±25,5	59,2±14,5	31,4±14,5	40,6±23,6
2012	37,7 ± 23,1	56,7±10,1	37,3±17,6	34±33,7

Среднее число фенотипов на территории Минска составило 5,6 из-за увеличения частоты встречаемости редких фенотипов. Необходимо отметить, что природные популяции являются более зрелыми, а городские – молодыми, имеющими широкий спектр фенотипов. Так, Минск представлен достаточно большим разнообразием рисунка «седого» пятна на листовой пластинке (19–24 вида во всех выбранных точках в 2009–2012 гг.).

Выявлены различия по частоте встречаемости отдельных фенотипов в зависимости от условий произрастания: для популяций в неблагоприятных условиях наблюдается увеличение частоты встречаемости. Так, в 2010 г. наиболее часто встречаются фены  $A^H$  которые соответствует генотипам с прерывистым низким пятном  $V^Hv$  – 10,9 %, имеющему полное  $\wedge$ -образное высокое пятно –  $V^Hv^H$  – 10,7 %, фенотипом  $A$ , соответствующим генотипу  $Vv$  – 5 %, фенотипом  $C$  – генотип  $V^Pv^P$  – 4 % на территории Минска. Присутствие этих аллелей в популяциях обусловлено общностью происхождения, из которых аллель  $v$  встречается на всем пространстве ареала [11, с. 111]. К редким генотипам, которые имеют низкую частоту встречаемости на территории Минска в 2010 г., относятся следующие – высокое двойное пятно  $V^Hv$  (0,6±9,1 %),  $V^Hv^B$  (1,6±11,0 %),  $V^Pv$  (1,1±13,3 %),  $V^Pv^P$  (1,5±8,9 %),  $V^Bv$  (0,5±6,7 %),  $V^Bv^P$  (0,1±2,8 %), с  $\wedge$ -образным разорванным пятном  $V^Bv^B$  (2±8,8 %),  $V^Pv^B$  (0,1±7,1 %),  $V^Pv^S$  (0,7±10,5 %), (высокое  $\wedge$ -образное широкое пятно)  $V^Sv^S$  (2±14,5 %),  $V^Sv^H$  (0,9±7,1 %), с большим сплошным «седым» пятном у основания  $V^Fv^F$  (0,3±11,0 %). Такое разнообразие свидетельствует о постоянном воздействии различных факторов, в том числе и дисбалансом элементного состава почв (рис. 1). Так, на территории Минска отмечено повышенное содержание ртути (0,76, 1,3, 1,6 и 1,7 мкг/г) на протяжении всего периода исследования. Также в 2012 г. была показана статистически значимая обратная корреляция между содержанием солей марганца ( $R = -0,27$ ,  $p < 0,05$ ), железа ( $R = -0,27$ ,  $p < 0,05$ ) и средним числом фенотипов в популяции.

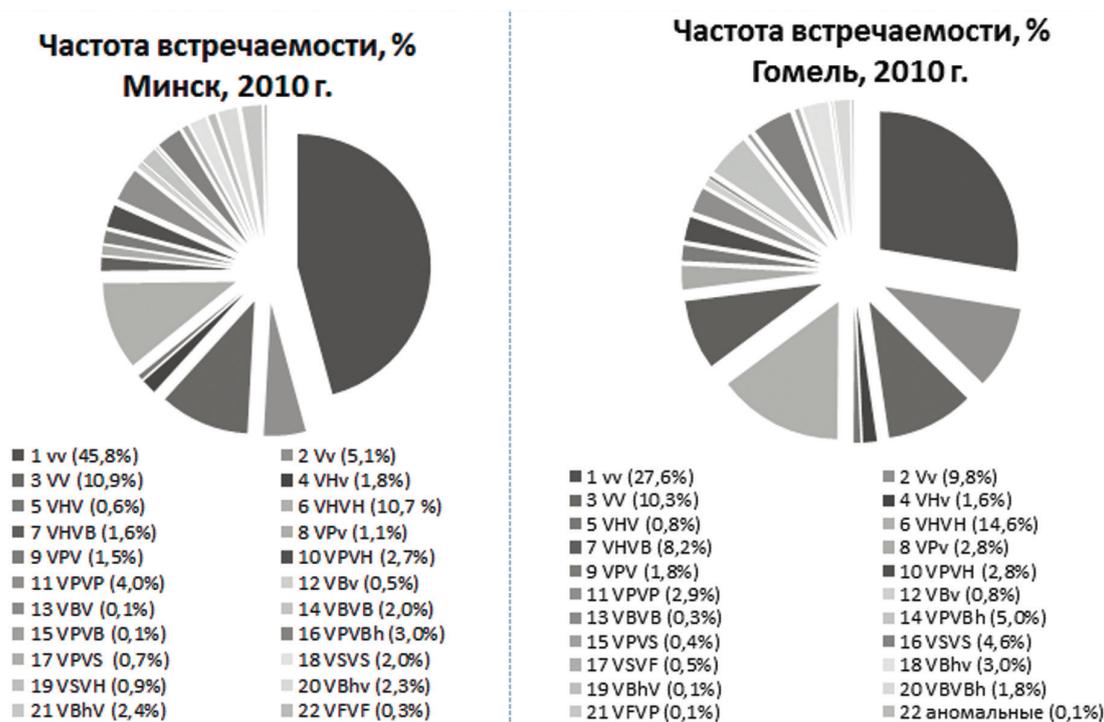


Рис. 1. Частота встречаемости измененных генотипов, на территориях Минска и Гомеля в 2010 г.

Fig. 1. Altered genotypes incidence in the territories of Minsk and Gomel cities in 2010

Самый же широкий спектр генотипов (23) наблюдался в 2010 г. у популяции клевера ползучего в Гомеле. Как следует из рис. 3, эти популяции содержат высокое разнообразие фенотипических классов с частотой встречаемости <1 %, что говорит о большом количестве мутантных особей в популяциях *Trifolium repens* L. К наиболее редко встречающимся относятся  $V^{Hv}$   $1,6 \pm 10,3$ ;  $V^{Pv}$   $1,8 \pm 5,8$ ;  $V^{Bv}$   $0,8 \pm 5,3$ ;  $V^{BVB}$ ;  $0,3 \pm 2,8$ ;  $V^{PVS}$   $0,4 \pm 1,4$ ;  $V^{SVF}$   $0,5 \pm 0,7$ ;  $V^{BhV}$   $0,1 \pm 0,0$ ;  $V^{BVBh}$   $1,8 \pm 17,0$ ;  $V^{FVp}$   $0,1 \pm 0,0$ . Среднее число фенотипов составляет  $9,685 \pm 2,68$ , что статистически значимо отличается от всех изучаемых территорий. В остальные годы на территории Гомеля не наблюдалось статистически значимых различий по количеству фенотипов (m) и составило 19; 19 и 17 видов в 2009, 2011 и 2012 гг. соответственно. Следует подчеркнуть, что на территории Гомеля были встречены аномальные экземпляры (с четырьмя листовыми пластинками)  $0,1 \pm 0,0\%$  (рис. 2).



Рис. 2. Аномальные листья, выявленные на территории Гомеля (2010 и 2012 гг.)

Fig. 2. Abnormal leaves found in the territory of Gomel city in 2010 and 2012

Повышение частоты встречаемости отдельных генотипов в популяциях крупных промышленных городов (Гомеля и Минска) можно объяснить тем, что в экологически неблагоприятных условиях стабилизирующий вектор отбора направлен на увеличение частоты отдельных наиболее адаптивных генотипов [12, с. 111].

В Березинском заповеднике природная популяция клевера ползучего в течение всего периода исследования представлена гораздо меньшим разнообразием генотипов – 11. Таким образом, частотное распределение аллелей и генотипов на заповедной территории, которое гораздо меньше, чем в промышленных центрах, позволяет считать экологические условия произрастания достаточно стабильными. Причем генотип  $vv$  составляет 62,5 % от всей популяции в 2010 г. (рис. 3), а спектр других фенотипов достаточно узкий. Как представлено на диаграмме (рис. 1) в 2010 г к редким фенотипам относятся  $V^H V^B$  ( $0,3 \pm 0,0$  %);  $V^P v$  ( $0,4 \pm 1,0$  %);  $V^P V$  ( $0,3 \pm 0,8$  %);  $V^P V^B$  ( $0,1 \pm 0,0$  %);  $V^P V^{Bh}$  ( $1,4 \pm 2,1$  %).

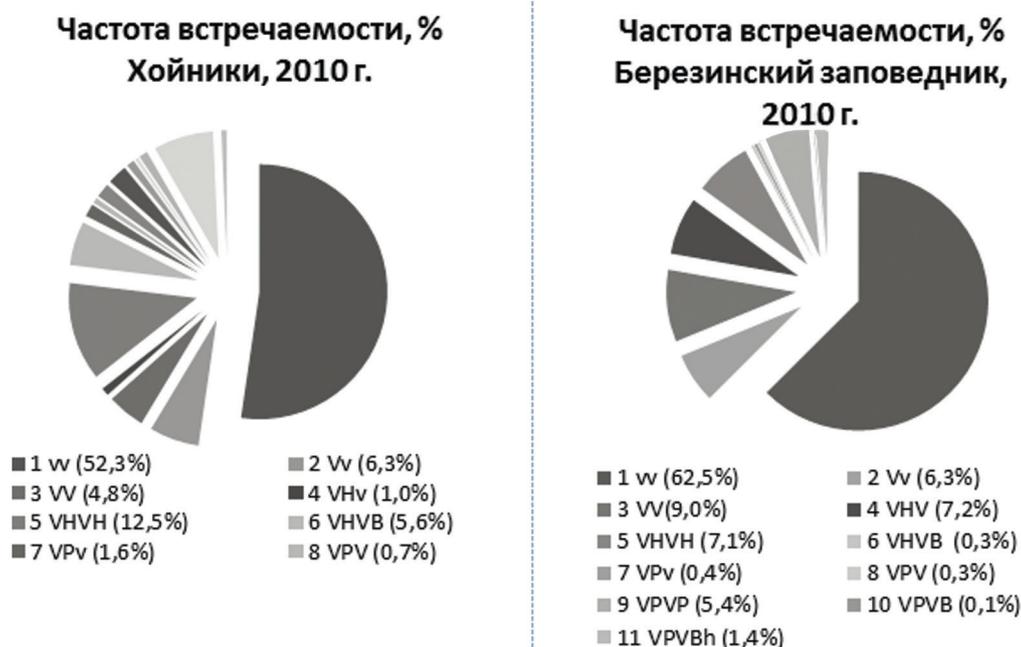


Рис. 3. Частота встречаемости измененных генотипов на территориях г. Хойники и Березинского заповедника в 2010 г.

Fig. 3. Altered genotypes incidence in the territories of Khoyniki and Berezinsky Reserve in 2010

По всем фенам наблюдается постоянный состав на протяжении отмеченного периода исследования, только в 2010 г. исчезает генотип  $V^P V^H$ , но появляется  $V^P V^B$ . Доля редких фенотипов составляет 0,54 и статистически значимо отличается от доли редких фенотипов клевера ползучего, произрастающего на антропогенно нарушенных территориях Минска – 0,75, Хойники – 0,64. Уменьшение частоты встречаемости неизмененных фенотипов и увеличение мутантных генов, несмотря на отсутствие загрязнения промышленными выбросами и автотранспортом, объяснимы наличием таких факторов, как вытаптывание и выкашивание. В то же время анализ элементного состава почв Березинского заповедника выявил обратную корреляцию между средним числом фенотипов и содержанием железа и меди в почве, которое находится ниже пределов нормы – 46,02 мг/г ( $R = -0,59$ ) и 2,10 мг/г ( $R = -0,64$ ), что вполне естественно для песчаных почв, и наоборот, прямую с кадмием ( $R = 0,61$ ), содержание которого превышает ПДК и находится в диапазоне 0,13–3,3 мг/г.

Полученные результаты, отражающие весь спектр фенотипов клевера ползучего естественных ландшафтов, которые испытывают антропогенное воздействие, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика разнообразия фенотипов популяций *Trifolium repens* L. на изучаемых территориях в 2009–2012 гг.

Table 3

Characteristics of the diversity of the phenotypes of *Trifolium repens* L. populations in the studied territories in 2009–2012

2009	Среднее число фенотипов, $\mu$	$S_{\mu} =$	ст. откл., $\mu$	Доля редких фенотипов, h	$S_h$	Наибольшее число фенотипов в популяции, m
г. Минск	6,68	0,7	1,6	0,68	0,03	21
г. Гомель	10,06	0,6	1,7	0,58	0,04	19
г. Хойники	6,31	0,5	1,6	0,58	0,04	15
Березинский заповедник	5,53	0,4	0,7	0,49	0,04	11

2010	Среднее число фенотипов, $\mu$	$S_{\mu} =$	ст. откл., $\mu$	Доля редких фенотипов, h	$S_h$	Наибольшее число фенотипов в популяции, m
г. Минск	5,60	0,7	1,6	0,7	0,03	22
г. Гомель	9,69	0,8	2,7	0,6	0,04	23
г. Хойники	5,78	0,5	1,1	0,6	0,03	16
Березинский заповедник	5,11	0,5	0,7	0,5	0,04	11

2011	Среднее число фенотипов, $\mu$	$S_{\mu} =$	ст. откл., $\mu$	Доля редких фенотипов, h	$S_h$	Наибольшее число фенотипов в популяции, m
г. Минск	7,13	0,8	1,5	0,69	0,03	23
г. Гомель	9,99	0,7	1,6	0,5	0,04	19
г. Хойники	8,45	0,4	4,3	0,30	0,03	12
Березинский заповедник	5,89	0,4	0,6	0,47	0,04	11

2012	Среднее число фенотипов, $\mu$	$S_{\mu} =$	ст. откл., $\mu$	Доля редких фенотипов, h	$S_h =$	Наибольшее число фенотипов в популяции, m
г. Минск	6,51	0,8	1,3	0,73	0,03	23
г. Гомель	9,00	0,6	1,4	0,50	0,04	17
г. Хойники	6,93	0,5	1,3	0,51	0,04	14
Березинский заповедник	5,84	0,4	0,8	0,47	0,04	11

Для территории г. Хойники не отмечено статистически значимой разницы по доле неизменного генотипа vv (52,3±40,2) (рис. 1) по сравнению с территорией Березинского заповедника. Однако, как видно из таблицы среднее число фенотипов для территории г. Хойники в 2010 г. выше и составляет 5,76±0,028. Доля редких фенотипов – 0,64 (из которых  $V^H V$  составляет 1,0±4,2%;  $V^P V$  – 1,6±3,0;  $V^P V$  – 0,7±0,0;  $V^P V^H$  – 1,8±6,9;  $V^B V$  – 1±1,9;  $V^B V$  – 0,5±2,3;  $V^P V^B$  – 1,1±5,3;  $V^S V^S$  – 0,7±2,3), что статистически значимо отличается от доли редких фенотипов Березинского заповедника.

Возможно, что это связано с элементарным дисбалансом почв г. Хойники. Так, концентрация хрома превышала норму и находилась в пределах 92,1–193,1 мкг/г, отмечалась динамика снижения концентрации железа во все годы исследования (от 3535,7–5531,6 мкг/г), при норме 7 тыс. мкг/г. Следует отметить, что содержание никеля и среднее число фенотипов в 2010 г. связано обратной корреляцией ( $R = -0,71$ ).

Таким образом, популяции *Trifolium repens* L. в Березинском заповеднике характеризуется большей морфогенетической однородностью, в зоне неблагоприятных условий (автотранспорт и другие антропогенные нагрузки) – большим генетическим полиморфизмом. Однако следует учитывать вклад интенсивного механического воздействия – кошения клевера в условиях города.

Полученные нами результаты согласуются с литературными данными [11, с. 111; 12, с. 71]. Так, Н. В. Шарыгина и соавторы [13, с. 53] отмечают, что в пределах городских условий популяции клевера ползучего являются молодыми и в них, благодаря присутствию редко встречающихся генотипов и появления специфических фенотипов, заметна тенденция увеличения генетического разнообразия таких популяций.

Полученные данные были проанализированы с помощью индекса соотношения фенов (ИСФ), что дало возможность ранжировать условия среды в зависимости от степени загрязнения. Результаты анализировались по табл. 4 показателей (индекс соотношения фенов чисто-грязно), в которой отражена суммарная частота встречаемости всех форм с рисунком (в процентах) для каждой пробной площадки.

Таблица 4

Показатели индекса соотношения фенов

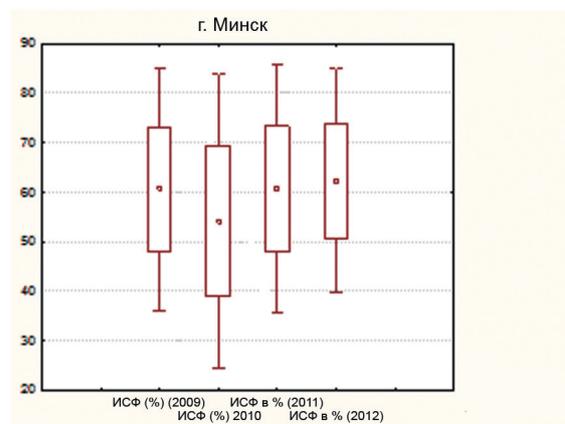
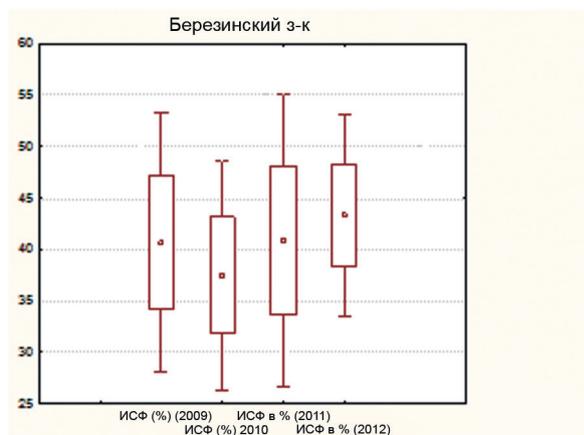
Table 4

Indices of the ratio of phenes

Классификация загрязнения среды	Показатель ИСФ, %
Очень чистые	0–30
Чистые	30–45
Загрязненные	45–70
Очень грязные	70–100

Повышение индекса СФ характерно для антропогенно нарушенных территорий Минска и Гомеля. Вычисление индексов соотношения фенов для этих городов в 2010 г. дало следующие результаты: в среднем 54,2 и 75,5 %, соответственно, что свидетельствует о загрязненной и очень грязной территории (рис. 4). В другие годы показатели ИСФ составляют III класс чистоты (загрязненные территории) находятся в пределах от 60,6 до 68,6 %. Статистически значимых отличий для этих промышленных центров не показано. Это подтверждает гипотезу, что в крупных городах популяции клевера подвергаются антропогенным нагрузкам в виде рекреации, загрязнения атмосферного воздуха, вытаптывания, выкашивания и закисления почв.

В то же время в городе наблюдается значительное варьирование различных абиотических факторов (температуры почвы и воздуха, освещенности, влажности), что также сказывается на повышении ИСФ. Таким образом, межпопуляционные различия по степени полиморфизма клевера ползучего связаны с возрастом популяций и с комплексным влиянием факторов окружающей среды [1, с. 51].



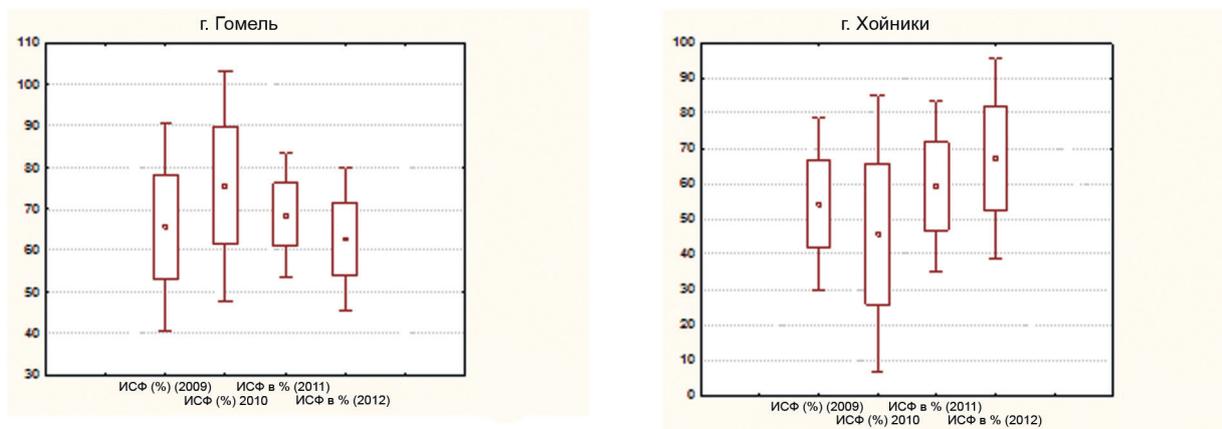


Рис. 4. Индекс соотношения фенотипов на изучаемых территориях

Fig. 4. The index of the ratio of phenotypes in the studied territories

Сравнительный анализ фенотипического разнообразия листовой пластинки клевера ползучего, произрастающего в условиях г. Хойники и его окрестностей, свидетельствует, что в целом популяции клевера характеризуются значительным фенотипическим разнообразием. Следует отметить, что индекс соотношения фенотипов колебался в широких пределах в течение всего периода исследований: от 45,8 % – в 2010 г. до 67,3 % – в 2012 г., соответствуя III классу чистоты. На территории г. Хойники наблюдались большие колебания индекса, чем на других территориях, что, возможно, обусловлено влиянием радиационного фактора.

Территорию Березинского заповедника по индексу соотношения фенотипов можно отнести к чистым территориям. За весь период исследований ИСФ повышался до II класса чистоты и не имел статистически значимых отличий в течение всего периода исследований (2009 г. – 40,7 %, 2010 г. – 37,5 %, 2011 г. – 41,0 % и 2012 г. – 43,5 %).

Таким образом, популяции Березинского заповедника при относительно узком спектре различных генотипов (11) по значениям ИСФ находятся в пределах II класса чистоты, поскольку являются более стабильными и приспособленными к данным почвам.

## Заключение

Анализ полученных результатов относительно особенностей частоты встречаемости фенотипов по признаку «седого» пятна в популяциях клевера ползучего, произрастающего на условно чистых территориях и территориях города, свидетельствует, что можно выделить некоторые определяющие их факторы: возраст популяций, абиотические факторы и антропогенные воздействия. Городские территории по признаку присутствия-отсутствия «седого» пятна листовых пластинок в разных условиях имеют более широкий спектр генотипов (17–23) за счет воздействия большего количества различных факторов.

На территории Березинского заповедника отмечено практически вдвое меньшее число фенотипических классов (11). Популяции клевера ползучего Березинского заповедника произрастают в более благоприятных условиях, тем не менее, также характеризуются большим фенотипическим разнообразием, которое представлено десятью различными комбинациями аллелей гена «седого» пятна. Для него характерно преобладание растений без пятна на листьях – рецессивных гомозигот (vv) (56,7–62,5 %). Одновременно высокая частота встречаемости растений с фенотипами, которые являются гомозиготами по аллелям V, V<sup>H</sup> и V<sup>P</sup>, свидетельствует, что вектор стабилизирующего отбора в экологически неблагоприятных условиях направлен на увеличение частоты отдельных наиболее адаптивных генотипов. Для клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) в естественных местах обитания в условиях благоприятных абиотических факторов наличие различных полиморфов обусловлено ценотическим стрессом. В загрязненных же местообитаниях, несмотря на негативные эффекты элементного дисбаланса в почвах, отрицательно влияющих на другие растения, практически полностью снимает конкуренцию, а возникающие мутации клевера ползучего позволяют ему произрастать на больших территориях [4, с. 276].

Показано, что полиморфизм по признаку «седого» пятна на листьях растений в популяциях клевера ползучего возникает в процессе естественного отбора и в результате мутаций, действие которых направлено на повышение частоты встречаемости отдельных комбинаций серий множественных аллелей гена V. Межпопуляционные различия в наборах фенотипов и вариабельности частот встречаемости связаны

с различиями в местообитании, возрастом популяции и антропогенным воздействием на организм, соотношением солей тяжелых металлов.

Таким образом, выявленные особенности полиморфизма *Trifolium repens* L. позволяют использовать его в качестве фитоиндикатора для оценки среды и для долгосрочного мониторинга.

### Библиографические ссылки

1. Соколова Г. Г., Камалтдинова Г. Т. Морфогенетический полиморфизм листьев клевера ползучего // Известия Алтайского государственного университета. 2013. № 1(67). С. 48–51.
2. Hagen S. B., Ims R. A., Yoccoz N. G., et al. Fluctuating asymmetry as an indicator of elevation stress and distribution limits in mountain birch (*Betula pubescens*) // *Plant Ecol.* 2008. Vol. 195. P. 157–163.
3. Виноградов П. М. Оценка качества среды обитания города Воронежа на основе анализа интегрального показателя стабильности развития березы повислой (*Betula pendula* Roth.) и тополя пирамидального (*Populus pyramidalis* Borkh.) // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/120-16242> (дата обращения: 07.06.2018).
4. Валиев Р. Р., Яковлева О. М. Сравнительная характеристика наследственного полиморфизма по признаку «седого» пятна на листьях растений в популяциях *Trifolium repens* на территории г. Уфы и некоторых районов Республики Башкортостан // Вестник Башкирского университета. 2008. Т. 13. № 2. С. 273–276.
5. Виноградов Б. В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов. М., 2006.
6. Поletaev A. S. Сравнение фенотипических особенностей речного окуня (*Perca fluviatilis* L., 1758) различных водных объектов Минской области Республики Беларусь и предполагаемые факторы, влияющие на изменчивость его криптической окраски // Труды БГУ. 2014. Т. 9, ч. 2. С. 144–150
7. Куприянова М. Ю., Семенова И. И. Оценка городской среды методами фитоиндикации (на примере г. Чебоксары) // Вестник ЧГПУ им. И. Я. Яковлева. 2014. № 4 (84). С. 74–78
8. Шварцман П. Я. Полевая практика по генетике с основами селекции. М., 2009.
9. Погиба С. П., Казанцева Е. В. Методы биометрического анализа в лесной селекции и генетике. М., 2014.
10. Животовский Л. А. Показатели популяционной изменчивости по полиморфным признакам // Общая биология. 1979. Т. 40, № 4. С. 587–602.
11. Левицкий С. Н. Генетический полиморфизм в популяциях *Trifolium repens*, произрастающих в условиях различной антропогенной нагрузки территорий // Фундаментальные исследования. 2013. № 4, ч. 1. С. 108–111. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31108> (дата обращения: 18.06.2018).
12. Горшкова Т. А. Оценка возможности использования клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) для биоиндикации антропогенного нарушения среды // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, № 1. С. 69–73.
13. Шарыгина Н. В., Авдусева А. В. Изучение наследственного полиморфизма рисунка седых пятен на листьях растений в популяции клевера *Trifolium repens* L. // Экологические проблемы Севера: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск, 2010. Вып. 13. С. 49–53.

### References

1. Sokolova G. G., Kamaltdinova G. T. [The morphogenetic polymorphism of *Trifolium repens* leaves]. *News of the Altai state University*. 2013. No 1(67). P. 48–51 (in Russ.)
2. Hagen S. B., Ims R. A., Yoccoz N. G., et al. Fluctuating asymmetry as an indicator of elevation stress and distribution limits in mountain birch (*Betula pubescens*). *Plant Ecol.* 2008. Vol. 195. P. 157–163. ENGL
3. Vinogradov P. M. The assessment of urban environment quality of voronezh on the basis of analysis of *Betula pendula* Roth. and *Populus pyramidalis* Borkh. development stability parameter. *Modern problems of sciences and education*. 2014. No 6. URL: <http://www.science-education.ru/120-16242> (date of access: 07.06.2018).
4. Valiev R. R., Yakovleva O. M. [The comparative characteristic of the hereditary polymorphism on the basis of the grey spot on leaves plants in *Trifolium repens* L. populations of the Ufa city territories and some regions of the republic of Bashkortostan]. *Bulletin of the Bashkir University*. 2008. Vol. 13, No 2. P. 273–276.
5. Vinogradov B. V. [Plant indicators and their use in the study of natural resources]. Moscow, 2006. (in Russ.)
6. Poletaev A. S. [Comparision of river perch (*Perca fluviatilis* L., 1758) phenotypic features in different water objects of minsk region (Belarus) and supposed factors affecting its cryptic paint variability]. *Proceedings of BSU*. 2014. Vol. 9, pt. 2. P. 144–150.
7. Kupriyanova M. Yu., Semenova I. I. [Evaluation of the urban environment methods of phytoindication (for example, Cheboksary)]. *Vestnik CYPUI. Ya. Yakovleva*. 2014. No 4 (84). P. 74–78 (in Russ.)
8. Schwarzman P. Ya. [Field practice in genetics with the basics of breeding]. Moscow, 2009 (in Russ.)
9. Pogiba S. P., Kazantseva E. V. [Methods of biometric analysis in forest selection and genetics]. Moscow, 2014 (in Russ.)
10. Zhivotovsky L. A. [Similarity of populations in the polymorphic characteristics]. *General Biology*. 1979. Vol. 40, No 4. P. 587–602 (in Russ.)
11. Levitskiy S. N. [Genetic polymorphism in population of *Trifolium repens* L., growing under different anthropogenic load territories]. *Fundamental study*. 2013. No 4, pt. 1. P. 108–111. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31108> (date of access: 18.06.2018) (in Russ.)
12. Gorshkova T. A. [Evaluation of capability of use white clover *Trifolium repens* L. for bioindication of inthropogenic disorders of environment]. *News of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences*. 2012. Vol. 14, No 1. P. 69–73 (in Russ.)
13. Sharygina N. V., Avdusheva A. V. [Comparative characteristics of intra and interpopulation variability on the basis of «gray» spots on the leaves of *Trifolium repens* L. plants in populations on the territory of Arkhangelsk]. *Ecological problems of the North: interuniversity collection of scientific works*. Arkhangelsk, 2010. Issue 13. P. 49–53 (in Russ.)

Статья поступила в редакцию 26.06.2018  
Received by editorial board 26.06.2018

УДК 619:639.1.091(476)

## БОРОВАЯ И ПОЛЕВАЯ ДИЧЬ, ЕЕ ПРИЧАСТНОСТЬ К РАСПРОСТРАНЕНИЮ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ИНФЕКЦИЙ

Ю. Г. ЛЯХ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь

Рассматриваются вопросы популяционных характеристик боровой и полевой дичи в охотничьих хозяйствах Беларуси. Приведены данные их численности, особенности мест обитания. Дано описание этих видов в плане объектов охоты, роли в переносе бактериальных инфекций и их распространении на территории Беларуси.

**Ключевые слова:** возбудители бактериальных инфекций; полевая охотничья дичь; боровая охотничья дичь; лабораторные исследования; переносчики инфекционных болезней.

## UPLAND AND FIELD FOWL, ITS INVOLVEMENT IN THE BACTERIAL INFECTIONS

Yu. G. LIAKH<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

The article considers the questions of population characteristics of upland and field fowl in hunting farms of Belarus. The data of their numbers, and habitats and features are presented. The characteristic of these species in terms of hunting and their role in the epizootic well-being of Belarus.

**Key words:** pathogens of bacterial infections; wild game hunting; upland hunting game; laboratory tests; vectors for communicable diseases.

### Введение

Территория Республики Беларусь покрыта огромными массивами лесов, которые населяют многочисленные виды диких животных. За их состоянием, взаимодействием, ростом и развитием ведут наблюдение и контроль государственные и общественные природоохранные организации, а также охотничьи хозяйства.

Диких животных и птиц, которых добывают во время охоты, называют *дичью*. Охоту на дичь регламентирует Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь («Охотохозяйственная деятельность»), устанавливает порядок ее проведения в зависимости от сезона и наличия определенного количества особей (на охотхозяйства выделяются лицензии). Способы добычи дичи, позволяющие сохранить

---

#### Образец цитирования:

Лях Ю. Г. Боровая и полевая дичь, ее причастность к распространению бактериальных инфекций // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 43–50.

#### For citation:

Liakh Yu. G. Upland and field fowl, its involvement in the bacterial infections. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 43–50 (in Russ.).

---

#### Авторы:

**Юрий Григорьевич Лях** – доктор ветеринарных наук, профессор; профессор кафедры общей экологии, биологии и экологической генетики.

#### Authors:

**Yuriy G. Liakh**, doctor of sciences (veterinary), professor; professor of the department of general ecology, biology and ecological genetics.  
[yury\\_liakh.61@mail.ru](mailto:yury_liakh.61@mail.ru)

биологическое разнообразие охотничьей фауны и приумножить ее, регулируются особыми правилами и законами. Мясо диких животных, добытое во время охоты, используется для изготовления колбасных и других мясных продуктов питания; перо и пух – для прядения вязания, набивания постельных принадлежностей и одежды; выделанные шкуры пушных зверей являются промышленным сырьем для меховых изделий; кости (клыки, рога, бивни) – материалом для поделок и т. д. Нередко в зоологических и краеведческих музеях можно увидеть чучела многих представителей белорусской фауны, изготовленных из трофеев дичи. Исходя из того, что продукты и предметы из диких животных, добытых в процессе охоты, используются в отдельных отраслях хозяйственной деятельности, необходим строгий контроль, поскольку они могут быть переносчиками инфекционных заболеваний, вызванных болезнетворными микробами, угрожать жизни и здоровью человека.

Таким образом, цель исследования – анализ видов боровой и полевой дичи, особи которых, являясь носителями условно патогенных бактерий, могут стать источником возникновения бактериальных инфекционных заболеваний.

Согласно классификации, всю дичь принято делить на пернатую (к ней относят птиц) и четвероногую, в категорию которой входят звери. В свою очередь, пернатую дичь делят на боровую, полевую, водоплавающую, луговую или болотную. Однако в каждом из регионов преобладают свои представители видов. Охотничьи хозяйства Беларуси имеют достаточно обширный видовой перечень пернатой дичи, на которую разрешено проведение охоты при строгом соблюдении утвержденных в нашей стране правил. К таким видам относятся: глухарь, тетерев, рябчик, серая куропатка, перепел, белолобый гусь, гусь-гуменник, кряква, серая утка, широконоска, чирок-трескунок, чирок-свиутунок, хохлатая чернеть, красноглазая чернеть, большая поганка, лысуха, камышница, пастушок, вальдшнеп, бекас, вяхирь, сизый голубь, канадская казарка, большой баклан. Из представленных видов к боровой дичи относятся глухари, тетерев, рябчик, вальдшнеп; к полевой – серая куропатка, перепел. Вяхиря и сизого голубя (ошибки не будет) можно одинаково отнести и к боровой и к полевой дичи.

Для более четкого представления механизма и принципа накопления инфекционных агентов птицами необходимо заострить внимание на их биологических особенностях и излюбленных местах обитания.

*Боровая дичь.* К категории боровой охотничьей дичи относят лесных птиц, обитающих в лесах и перелесках: тетерева, глухари, рябчики, вальдшнепы, фазаны (в Беларуси представителей того вида выращивают в специализированных вольерах и используют как охотничий объект) и дикие голуби. Примечательно, что все виды боровой дичи объединяет повышенный порог чувствительности к различным факторам беспокойства и тревожности. Среди боровой дичи есть много видов птиц, которые взяты под охрану из-за их малого количества. На остальные же виды птиц возможен только незначительный отстрел, для проведения которого необходимо получить разрешение. В настоящее время интерес к ним в некоторой мере снизился, а репрезентативный учет запасов и добычи отсутствует.

Численность *полевой пернатой дичи*, к которой относятся серая куропатка и перепел, подвержена очень сильным колебаниям по годам. Однако достаточно корректного и регулярного учета их численности и добычи в период охоты до сих пор не налажено. Судить о численности этих и других видов, являющихся второстепенными по значимости объектами охоты, можно только на основании экспертных оценок и предварительных расчетов. Огромный биологический пресс все эти виды ощущают со стороны хищных птиц, в ряде случаев без видимых на то причин занесенных в Красную книгу Беларуси.

За последние годы в использовании охотничьих ресурсов фауны наметился ряд тенденций. Во-первых, возросло незаконное (браконьерское) изъятие копытных видов, особенно в период угрозы распространения африканской чумы среди поголовья свиней общественного и частного сектора Беларуси. Численность кабана в республике резко сократилось. Во-вторых, заметно снизилось изъятие пушных видов зверей из-за снижения рыночной стоимости пушнины, а также уменьшилось изъятие нерентабельных видов (водоплавающие, голуби, кулики, зайцы, лисица).

*Глухарь* – типично таежная птица. Ведет оседлый образ жизни, лишь изредка, нерегулярно и недалеко откочевывает в осенне-зимний период. Распространен в лесном поясе Европы, Беларуси, Западной Сибири (до Байкала). На сегодняшний день в Беларуси их насчитывается около 5,4–6 тыс. особей.

*Рябчик* – вид боровой птицы, распространенный от западной границы СНГ до побережья Охотского моря. Населяет еловые и смешанные леса с густым подлеском. Оседлая птица, изредка и нерегулярно кочует зимой. Охотно селится по долинам ручьев и мелких речек. Половая зрелость наступает в возрасте одного года. В брачный период, который начинается в конце марта - начале апреля, рябчики могут образовывать пары. На территории Беларуси численность рябчиков составляет 150–200 тыс. особей.

*Тетерев* обитает в лесной и лесостепной зонах ряда Европейских стран, Беларуси и Азии. Предпочитает опушки, вырубки, разреженные лиственные леса, чередующиеся с полями. Оседлая птица, лишь изредка предпринимающая зимой длительные кочевки в поисках мест, богатых кормом. В прошлом,

когда тетеревов было много, кочующие стаи в 50 и более птиц не были редкостью даже для Беларуси, сейчас же их зимние стайки не превышают нескольких десятков. Численность этого вида в Беларуси составляет 50–60 тыс. особей.

*Вальдшнеп.* Эта птица широко распространена по всей лесной зоне СНГ, за исключением ее северной полосы. Зимует в Южной и Средней Азии и на юге Европы, частично в Крыму, на Кавказе. Прилетает вальдшнеп в апреле. Вскоре после прилета начинается тяга – ток вальдшнепа. Тяга начинается с заходом солнца, продолжается до темноты и ненадолго прекращается, возобновляясь на рассвете. В охотничьих хозяйствах Беларуси численность вальдшнепа находится в пределах 400–480 тыс. особей.

*Голуби.* Из представителей этого отряда наиболее часто встречаются у нас вяхирь (витютень). Голуби распространены в европейской части СНГ, Западной Сибири, на восток до Иртыша и в Средней Азии. Перелетная птица. Появляется в конце апреля мае. Кроме вяхири, в охотничьих угодьях нашей страны встречаются и другие голуби – более мелкие и имеющие меньшее значение для промысла и любительской охоты.

*Серая куропатка* – обычная гнездящаяся птица в Беларуси, ведет оседлый образ жизни. Распространение широкое, но неравномерное. Несколько чаще встречается на юго-западе и юге республики. Средних размеров птица, внешне и повадками напоминает кур: хорошо бегают, роется в песке и т. д. Оперение серое со светлыми продольными пестринами на крыльях и поперечными буроватыми по бокам. На брюхе темно-бурое подковообразное пятно, хорошо заметное у самцов, но менее у самок.

*Перепел обыкновенный* – самый мелкий представитель отряда курообразных. Его вес достигает от 100 до 120 граммов, а к осени он набирает много жира, и тогда его вес достигает 180 г. Обитает перепел на злаковых полях, в лугах с разнотравьем и сенокосах. Встречается и на картофельных полях. Осенью, после уборки хлеба, перепела можно найти среди редких кустарниковых опушек небольших перелесков. Птица перелетная, зимует в тропической части Азии и Африки. Перелеты этой птицы проходят исключительно ночью, поэтому осенний отлет и весенний прилет перепелов проходит совершенно незаметно для людей. В последнее время, в связи с теплыми зимами, значительное количество перепелов зимует в Закавказье, Средней Азии, Молдове и на юге Украины. Гнездятся в Беларуси в конце апреля – начале мая. Среднегодовая популяция перепела в Беларуси около 40–62 тыс.

Биологические особенности перечисленных видов боровой дичи свидетельствуют об их незначительной причастности к контактам с местами обитания домашней птицы. Миграционные пути вальдшнепа и голубей позволяет отнести эти виды к наиболее возможным объектам переноса бактериальной патологии. Что касается полевой охотничьей дичи, которая в нашем случае представлена куропаткой серой и перепелом, то ее место обитания близ животноводческих предприятий, площадок хранения корма и компостирования органики позволяет сделать вывод о контакте с инфицированным материалом, что, соответственно, предполагает заражение и перенос инфекционных агентов.

## Материалы и методы исследования

Основная задача проведения исследования – установление факта носительства боровой и полевой дичью патогенных и условно патогенных возбудителей бактериальных инфекций [4; 7]. Практически не изученным в инфекционной патологии охотничьих видов зверей и птиц в Беларуси был и остается вопрос бактерионосительства. Выполнение заданий Государственной программы развития охотничьего хозяйства на 2006–2015 гг. стабилизировало экономическое состояние и укрепило его правовую базу. Одновременно с этим выявились некоторые недостатки, которые, в силу мировых экономических тенденций развития человеческого общества и изменений в самой охотничьей среде, потребовали оптимизации охотничьего хозяйства в целом. Научное сопровождение, особенно в плане изучения инфекционной патологии среди охотничьей фауны, позволит избежать необоснованных потерь от болезней и гибели зверей и птиц.

Бактериологические исследования проводились в лаборатории Научно-исследовательского института прикладной ветеринарной медицины и биотехнологии учреждения образования «Витебская ордена "Знак Почета"» государственная академия ветеринарной медицины». Бактериологические исследования включали выделение чистых культур, идентификацию микроорганизмов, а также определение их патогенности на лабораторных животных.

Охотничьи виды птиц делятся на водоплавающую, боровую и полевую дичь. Какая из этих групп наиболее безопасна в плане носительства патогенных микроорганизмов, какую они представляют опасность для птицеводства страны? На эти и другие вопросы можно ответить после проведения тщательных лабораторных исследований.

В результате бактериологических исследований патологоанатомического материала (паренхиматозные органы, сердце, кишечник) выделены культуры *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pasteurella haemolytica*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, которые исследованы

на патогенность. При этом около 20 % из них оказались патогенными. С целью установления носительства среди боровой и полевой дичи возбудителей бактериальных инфекций, нами проведены лабораторные исследования материала от добытых в охотничий сезон птиц: вяхиря, вальдшнепа, серой куропатки. Наружный осмотр добытой птицы, вскрытие, патологоанатомическое обследование, отбор проб патологического материала осуществлялись по стандартным лабораторным методикам [Гринек, Лях, 2016].

### Результаты исследования и обсуждение

В качестве основного объекта исследования полевой дичи выступает куропатка серая (*Perdix perdix*) – житель сухих открытых пространств. Материал для бактериологического исследования был отобран от 10 особей куропатки серой в феврале 2017 г. в период проведения зимних охот в Смолевичском р-не Минской обл. [7]. Исследования проводили в бактериологических лабораториях «Белгосветцентра» и НИИ прикладной ветеринарной медицины и биотехнологии УО «Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины».

Куропатка серая ведет оседлый образ жизни. За исключением периода размножения она живет стаями. Разделение на пары происходит ранней весной. Осенью и зимой птицы прилетают на кормовые площадки животноводческих ферм, к скирдам соломы, где находят зерна культурных растений. Весной преобладают свежие зеленые части растений, что характерно и для других регионов, в которых чередуются снежный и бесснежный периоды года [1–3]. Хорошо известная птица, большую часть времени проводящая на земле среди высокой травы или кустарников. На деревья не садится. При необходимости быстро бегаёт, взлетает с характерным шумом, обычно при опасности. Полет шумный, быстрый. Перед посадкой слегка планирует.

Населяет сухие открытые пространства, в том числе агроландшафты, предпочитая поля и суходольные луга, чередующиеся с участками кустарников и островками мелколесья, либо изрезанной зарастающими оврагами и балками местности. Тяготеет к культурному ландшафту и часто встречается вблизи населенных пунктов (даже по окраинам городов), но при этом ведет себя предельно осторожно, особенно в гнездовой период, затаиваясь в укромных местах. Редка в районах с высокой лесистостью.

Активность серых куропаток мало меняется по сезонам года. В весенне-летний период наибольшая активность приходится на утренние (5–10) и вечерние (18–21) часы, когда птицы добывают корм. В остальное время они отдыхают, купаются в пылевых ваннах, чистят и правят оперение, временами кормятся. С августа и почти до середины марта серые куропатки живут стаями, обычно по 6–15 особей.

В зимний период птицы ведут оседлый образ жизни, живут стайками. Каждая стайка обитает на площади от 1 до 3 км<sup>2</sup>. Держатся в это время в долинах рек, в куртинах кустарников, на окраинах полей, дачных участках, на посевах озимых ржи и пшеницы. Осенью и зимой при температуре не ниже –5 °С птицы кормятся практически в течение всего дня, чередуя кормежку с кратковременными периодами отдыха и ухаживания за оперением. В дни с умеренными морозами (не ниже –10 °С) с рыхлым неглубоким снежным покровом (высота до 15 см) птицы активно кормятся, начиная с утренних сумерек и заканчивая наступлением ночи. При неглубоком снежном покрове или при его отсутствии куропатки собираются на ночевку в плотные группы и спят, тесно прижавшись, на снегу или на земле. При глубоком – куропатки погружаются в снег с лета, после чего каждая птица делает в толще снега ход в несколько метров длиной, устраивает камеру на глубине 25–30 см от поверхности снега. Куропатки поддерживают контакт друг с другом, переключаясь под снегом. Были случаи, когда в толще снега и сугробах находили замерших птиц (от 1 до 10 особей). Такие трагические ситуации возникали, когда ночью поверхность сугробов обледенела, и птицы не в состоянии были выбраться из снежного плена.

Гнездовой период у серой куропатки растянут. Разбивка на пары происходит во II половине марта и совпадает с появлением проталин на полях. Гнездятся одиночными парами по окраинам полей в посевах или на межах, в бурьяне, нередко среди луга, в разреженном мелколесье, либо на опушке леса, иногда на пустошах, придорожных откосах, на склонах мелиоративных каналов.

При постройке гнезда в земле выгребает аккуратную ямку и выстилает ее сухими стеблями травы, листьями, соломой, смешанными с небольшим количеством перьев наседки. В случае повторного гнездования нередко гнездо выстилает свежим сеном. Толщина слоя гнездового материала может достигать 2–2,5 см, а края выстилки обычно несколько возвышаются над поверхностью земли в виде бортика. Диаметр гнезда 20–25 см; глубина лотка 6–11 см, диаметр 15–20 см.

В полной кладке чаще всего 16–22 яйца, реже до 9 или 25, в исключительных случаях более 30 яиц (принадлежат не одной самке). Количество яиц в кладке заметно увеличивается в направлении с севера на юг.

К откладке яиц птица приступает не менее чем на месяц позднее разбивки на пары – обычно во второй половине апреля или в начале мая, иногда уже в первой декаде апреля. Яйца откладываются

с интервалом в одни сутки, но к концу кладки, интервал может составлять 2 и даже 3 суток. Большинство птиц затрачивают на откладку яиц 16–20 дней. Насиживает кладку самка с момента откладки последнего яйца в течение 23–25 суток. На насиженной кладке сидит плотно, зачастую подпуская очень близко человека и животных. На кормежку она отлучается редко и на короткое время (около 10–20 мин). Самец в этот период находится поблизости от гнезда. В году один выводок. При гибели первой кладки, что случается довольно часто во время сельскохозяйственных работ, как правило, бывает повторная, однако с меньшим количеством яиц.

Птенцы выводятся дружно в течение суток и, едва обсохнув, покидают гнездо. Выводок водят как самка, так и самец. Птенцы начинают подлетать в возрасте 7–8 дней, а в 12–14 – уже могут пролетать значительные расстояния. Летом молодь держится на полях, засеянных рожью, овсяницами, среди посевов люпина, клевера, картофеля, осенью, после уборки хлебов, чаще встречаются на пойменных лугах среди ивняково-тростниковых зарослей. Выводки не разбиваются до глубокой осени (начало декабря), часто сохраняются и зимой. В зимний период иногда выводки 2–3 самок объединяются в стайку, состоящую из 15–25 птиц.

Преимущественно растительноядная птица, а птенцы, покинувшие гнездо, кормятся большей частью животной пищей – в основном насекомыми, пауками и мелкими моллюсками. В снежный период года кормовой рацион обедняется. Куропатки склевывают семена дикорастущих трав, кормятся зелеными побегами озимой ржи и пшеницы на тех полях, где снег сдувается ветром или неглубок, таким образом, птицы сами в состоянии добраться до корма.

Осенью и зимой дикие птицы прилетают на кормовые площадки животноводческих ферм, к скирдам соломы, поедая зерна культурных растений. Обитание серой куропатки вблизи животноводческих объектов, посещение ими площадок, где складываются навоз, подстилочный материал и куриный помет (с птицеводческих предприятий), ставит этот вид перед возможной угрозой заражения условно патогенными и патогенными бактериями.

Серая куропатка подвергается нападению многих хищников среднего и крупного размера: тетеревятника, перепелятника, обыкновенного канюка, луней, малого подорлика, филина, лисицы, горноста, бродячих собак, кошек и других животных.

Резкие и глубокие падения численности серой куропатки бывают в годы с катастрофическими многоснежными зимами, а также сильными похолоданиями и обильными осадками в июне. После спада плотность населения птиц постепенно восстанавливается. Динамика численности этого вида в Беларуси в 1980–1990 гг. перешла во флуктуирующую форму. Плотность населения куропатки постепенно увеличивалась. Численность обитающих в охотничьих угодьях Беларуси серых куропаток в настоящее время составляет 50–100 тыс. особей. До сих пор не приведена ни одна, научно обоснованная, причина снижения численности серой куропатки в Беларуси. Отсутствуют и материалы, подтвержденные научными исследованиями, о причинах, которые сдерживают рост численности популяции этого вида пернатых [6].

По результатам исследований установлено, что куропатка серая является носителем семи условно патогенных микроорганизмов. *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pasteurella haemolytica*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*.

Материал для определения носительства болезнетворных бактерий среди вяхирей (*Columba palumbus*) нами был отобран в Смолевичском р-не Минской обл. и Островецком р-не Гродненской обл. Исследования проводились с 2009 по 2017 г. [4; 5].

Вяхирь (*Columba palumbus*), или витютень – самый крупный из всех диких голубей. Длина тела птицы – 40–45 см, вес 420–620 г, размах крыльев – более 70 см. Окраска оперения серовато-сизая. Клюв у основания и восковица – красноватые с желтоватым кончиком, на спине серовато-сизая окраска оперения переходит в сизо-бурую. Красновато-серая грудь, на шее и сгибе крыла белые пятна. При взлете громко хлопает крыльями.

Обитает вяхирь в различных лесах, кроме чистых сосновых, в парках. В местах, где их численность мала, сторонится близости с человеком и около жилья, как правило, не гнездится.

Гнездо размещает на дереве на разной высоте и разной дистанции до ствола. Гнездо представляет собой тонкий, рыхлый, обычно просвечивающий настил сухих древесных сучьев и веток с очень плоским лотком. Порой птица занимает и чужие гнезда. В кладке обычно два яйца чисто-белого цвета, насиживают оба родителя 17–18 суток. В гнезде птенцы проводят около 26–28 суток.

Птенцы растут быстро и через месяц покидают гнездо. Вскоре молодые отбиваются от старых птиц, образуя стаи, и кочуют по окрестным лесам. Старые птицы начинают гнездиться вторично, особенно в южных и центральных районах страны.

Все голуби, в том числе и вяхирь, растительноядные птицы. Питается он на земле семенами луговых трав, падалицей хлебных злаков и гречихи. Однако, в отличие от других голубей, вяхирь может склевывать плоды с деревьев: желуди, шелковицу, ягоды рябины.

В конце августа вяхири сбиваются в большие стаи и регулярно вылетают кормиться на хлебные поля утром и к вечеру. Перелеты эти, как и места кормежки, бывают довольно постоянными, длятся они несколько дней, чем и пользуются охотники. Осенний отлет на зимовки растянут с середины сентября до половины октября.

У голубей, как и у других птиц и млекопитающих, существуют определенные черты поведения, которые охотник может использовать в своих целях. Так, необходимо помнить, что вяхири, горлицы и сизые голуби начинают вылетать на кормежку не в сумерках, а через час после рассвета. Утренняя кормежка продолжается до 10 ч, редко до 11, затем следует перерыв до 14 ч, когда в охоте наступает затишье; затем – вечерняя кормежка до 17, максимум до 01 ч. Насытившиеся птицы с полными зобами отборного зерна улетают в лес на ночевку.

Такие места, как правило, располагаются в одном-двух километрах от кормового поля, на возвышенностях, среди старого елового, реже соснового или лиственного леса и выделяются среди остальных насаждений большей высотой древостоя. Под кронами «спальных» елей трава усеяна перьями линяющих птиц. Найти такое место – большая удача для охотника, имеющего определенное терпение и выдержку.

Как видим, вяхирь, а их популяция в Беларуси составляет 220–280 тыс. особей, охотно посещает поля с остатками хлебных злаков, гречихи и других сельскохозяйственных культур. Эти же места одновременно являются центрами кормежки и синантропной птицы. Не исключена возможность перезаражения бактериальной микрофлорой и перенос инфекционного агента на большие расстояния именно из таких мест. По результатам бактериальных исследований установлено, что вяхирь, в нашем случае, являлся носителем двух условно патогенных микроорганизмов. *Proteus vulgaris* и *Salmonella* [7].

Для определения носительства болезнетворных бактерий среди популяции *вальдшнепа* материал получен в период проведения охот на тяге (в период токования) в Островецком р-не Гродненской обл.

Вальдшнеп (*Scolopax rusticola*) — небольшая птица семейства бекасовых, гнездящаяся в умеренном и субарктическом поясе Евразии. На большей части ареала перелетная птица, ведет скрытный ночной образ жизни. Основной биотоп – старые влажные лиственные или смешанные леса с пустошами и перелесками. Обычно ведет одиночный образ жизни, хотя иногда сбивается в небольшие свободные группы. Является объектом спортивной охоты.

Довольно крупный, размером с сизого голубя, кулик плотного телосложения с длинным прямым клювом. Длина тела 33–38 см, размах крыльев 55–65 см, масса 210–460 г. Окрас покровительственный – в целом ржавчато-буроватый, с черными, серыми или рыжими пестринами в верхней части тела. Низ несколько более бледный – кремовый либо желтовато-серый, с черными поперечными полосами.

Такой окрас хорошо камуфлирует птицу на фоне прошлогодней листвы. Клюв прямой, цилиндрической формы, может достигать 7–9 см в длину. Глаза расположены высоко и заметно сдвинуты назад – так, что круговой обзор увеличивается до 360°. Между основанием клюва и глазом имеется хорошо заметная темно-коричневая полоса. В верхней части головы также имеются одна светлая и две темные продольные полосы. Крылья широкие и относительно короткие, полет похож на совиный. Половой диморфизм не выражен, молодые птицы отличаются от взрослых лишь малозаметным отличием в рисунке крыла. В пределах природного ареала другие похожие виды не встречаются. Обычно молчаливая птица, за исключением брачного периода, когда во время «тяги» (токования) самец на лету издает негромкие хрюкающие, скорее благозвучные звуки, называемые охотниками «хорканье». Вальдшнеп – единственный в нашей стране кулик, живущий в лесу.

Гнездовая область вальдшнепа простирается широкой полосой от Франции, Англии и Скандинавии до Сахалина и Японии. Вальдшнеп – птица перелетная. Он зимует на Кавказе, в Крыму, Туркмении и Таджикистане. В Азии вальдшнепы зимуют в южных ее частях. Во многих странах Европы, даже в Финляндии и на юге Швеции, некоторые птицы на зиму вообще не улетают. Оседлый образ жизни вальдшнепы ведут и в южных частях России.

Осенью пути передвижения вальдшнепа на зимовки сложны и извилисты. Пролет начинается поздней осенью и занимает много времени. В ряде центральных областей России он проходит с середины или начала сентября до середины ноября. Весной птицы возвращаются на родину по кратчайшему пути. Молодые и старые прилетают на места прошлых гнездовий.

Большой миграционный путь этого вида пернатых, который пролегает через многочисленные страны с различной эпизоотической обстановкой, позволяет предположить о возможном их участии в транспорте целого ряда возбудителей как инфекционного, так и инвазионного происхождения.

Первыми появляются молодые птицы, а старики следуют за ними значительно позже. Вальдшнепы, гнездящиеся на севере, мигрируют позже, чем южные. Это приводит к тому, что пролет через южные гнездовые области растягивается и весной бывает трудно установить конец прилета местных птиц и начало пролета северных особей. Весной птицы летят поодиночке и парами, так что сам процесс перемещения заметить бывает очень трудно. Сроки прилета вальдшнепа в разные годы не совпадают. Они зависят от распределения атмосферного давления, общего состояния погоды, хода весны.

Более или менее точной приметой начала тяги является ледоход. Первые птицы тянут обычно после его окончания. Вальдшнеп обычно начинает тянуть уже на пролете, не долетев до своих родных мест. Некоторые охотники считают, что разгар тяги наступает через 10 дней после ее начала.

Вальдшнеп садится на гнездо лишь после того, как отложено последнее яйцо. Гнездо устроено очень просто. Это плоская ямка с сухой травой, листьями, мхом, трухой. Самка придает ей правильную округлую форму, поворачиваясь из стороны в сторону и уминая грудкой лоток. На подстилке, частично погруженные в нее, лежат яйца. Обычно их бывает четыре. Самочка сидит очень плотно и изредка покидает гнездо.

Через три-три с половиной недели появляются грязно-желтые с неправильными коричневыми полосами на спинках большеглазые, большеногогие птенчики. О жизни птенцов вальдшнепа почти ничего не известно, кроме того, что с самого начала своего существования они вполне самостоятельны и способны добывать корм. Уже вполне оперившаяся и подросшая молодая птица темнее взрослой. Ее можно отличить по окраске первого махового пера, на наружном опахале которого вместо светлой полоски видны треугольной формы рыжеватые пятна.

Питается вальдшнеп главным образом беспозвоночными, населяющими лесную подстилку и почву. В поисках корма он зондирует их хорошо приспособленным для этого длинным с чувствительным кончиком клювом. Есть сведения, что весной и осенью птицы используют растительную пищу. Сухой и твердый грунт мало пригоден для добычи корма. Поэтому в засушливое время вальдшнепы тяготеют к влажным просекам, дорогам с долго не высыхающими лужами и другим сырым местам. Вероятно, именно отсутствие корма заставляет взрослых птиц переносить нелетных вальдшнепят по воздуху. Во время этой процедуры птенец находится под брюхом родителя. Как видим, вальдшнеп, как биологический вид, недостаточно изучен. Остается неясным многое в его поведении и распределении. Информация о том, какие большие территории преодолевают эти птицы в период миграций, позволяет нам предполагать о возможном переносе возбудителей инфекций [6; 7].

Бактериологическими исследованиями патологоанатомического материала от добытых в Островецком р-не Гродненской обл. особей вальдшнепа был выделен возбудитель колибактериоза (*Escherichia coli*) [7].

## Заключение

Характеристики биологических особенностей всех перечисленных видов птиц свидетельствуют об их причастности к контактам с местами обитания домашней птицы. Что касается полевой охотничьей дичи, представленной куропаткой серой, то ее места обитания близ животноводческих предприятий, площадок хранения корма и компостирования органики предполагает контакты с инфицированным материалом и, соответственно, заражение.

Среди 15 обследованных образцов биоматериала от добытой боровой и полевой дичи отмечено наличие 8 видов возбудителей бактериозов *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pasteurella haemolytica*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*.

Доминирующий комплекс возбудителей составляют бактерии 3-х видов: *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris* и *Salmonella*.

Наибольший видовой состав возбудителей и достаточно высокая зараженность ими куропатки серой связаны с широким спектром территорий сельскохозяйственных объектов, которые регулярно посещает этот вид, что обуславливает достаточно высокий риск заражения возбудителями бактериозов. Исследования, направленные на изучение комплекса возбудителей бактериозов боровой и полевой дичи, а также характера их циркуляции в природной среде, представляют наибольшую практическую значимость. Перечисленные виды пернатых являются популярными объектами охоты, для них отмечено наличие восьми видов возбудителей бактериозов с доминированием возбудителей, характерных для сельскохозяйственных видов животных.

## Библиографические ссылки

1. Лях Ю. Г., Морозов А. В. Комплексные рекомендации по предупреждению и минимизации влияния инфекционных заболеваний в охотничьих хозяйствах Республики Беларусь. Минск, 2013.
2. Дуппельмаир Г. Г., Мальчевский А. С., Новиков Г. А. и др. Биология лесных зверей и птиц. М., 1975.

3. Никифоров М. Е., Яминский Б. В., Шкляр Л. П. Птицы Белоруссии: Справочник-определитель гнезд и яиц. Минск, 1989.
4. Лях Ю. Г., Морозов А. В., Иванов С. А. и др. Инфекционная патология среди охотничьих животных и водоплавающих птиц в Беларуси и ее профилактика // Актуальные проблемы экологии – 2010 : междунар. науч.-практ. конф. Гродно, 2010. С. 119–121.
5. Романов В. С., Козло П. Г., Падайка В. И. Охотоведение. Минск, 2005.
6. Федюшин А. В., Долбик М. С. Птицы Белоруссии. Минск, 1967.
7. Лях Ю. Г., Гринек А. Н., Фомченко И. В. и др. Мониторинг условно патогенной микрофлоры у водоплавающей и полевой охотничьей дичи в Беларуси // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017 : науч.-практ. конф. с междунар. участием, 11–15 сент. 2017 г. Севастополь, 2017. С. 123–127.

## References

1. Lyakh Yu. G., Morozov A. V. [Comprehensive advice on how to prevent and minimize the impact of infectious diseases in the hunting farms of the Republic of Belarus]. Minsk, 2013 (in Russ.).
2. Doppelmayr G. G., Malczewski A. S., Novikov G. A., et al. [Biology of forest animals and birds]. Moscow, 1975 (in Russ.).
3. Nikiforov M. E., Yaminsky, B. V., Shklyarov L. P. [Birds of Byelorussia: Handbook of nests and eggs]. Minsk, 1989 (in Russ.).
4. Lyakh Yu. G., Morozov A. V., Ivanov S. A. et al. [Infectious pathology among game animals and waterfowl in Belarus and its prevention]. *Actual problems of ecology – 2010* : international scientific-practical conference. Grodno, 2010. P. 119–121 (in Russ.).
5. Romanov V. S., Kozlo P. G., Padaiga V. I. [Hunting]. Minsk, 2005 (in Russ.).
6. Fedyushin A. V., Dolbik M. S. [Birds Of Belarus]. Minsk, 1967 (in Russ.).
7. Lyakh Yu. G., Grines A. N., Fomchenko I. V., et al [Monitoring of conditionally pathogenic microflora in waterfowl and field hunting wild game in Belarus]. *Environmental, industrial and energy security 2017*: scientific-practical conference with international participation. 11–15 sept. 2017. Sevastopol, 2017. P. 123–127 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 28.06.2018  
Received by editorial board 28.06.2018

УДК 591.531.11:595.782 (476)

## ПОВРЕЖДЕННОСТЬ ЛИЧИНКАМИ КАШТАНОВОЙ МИНИРУЮЩЕЙ МОЛИ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИНОК КОНСКОГО КАШТАНА ОБЫКНОВЕННОГО В ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ г. ГРОДНО В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

А. С. РОГИНСКИЙ<sup>1)</sup>, Е. И. ГЛЯКОВСКАЯ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220030, Минск, Беларусь

Определена относительная площадь поврежденной личинками каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) листовой поверхности конского каштана (*Aesculus hippocastanum* L.; Sapindaceae), произрастающего в зеленых насаждениях г. Гродно. В июне-июле 2017–2018 гг. значения данного показателя варьировали от 3,54 до 85,08 %, что соответствует уровням потери растениями декоративности от ничтожного до катастрофического. Поврежденность листовых пластинок минером была выше в парках (Румлево, Коложский), где уборка опада листовых мин личинками *C. Ohridella*, находящимися в колыбельках, осуществляется частично. В тоже время поврежденность листьев была ниже в уличных насаждениях, где листовой опад убирается более тщательно.

**Ключевые слова:** *Cameraria ohridella*; инвазивные виды; интродукция растений; декоративные насаждения; черная книга.

## DAMAGE OF THE FOLIAGE OF HORSE CHESTNUT BY LARVAE OF CHESTNUT LEAF-MINING MOTH IN GRODNO GREEN AREAS DURING SUMMER

A. S. ROGINSKY<sup>a</sup>, K. I. HLIAKOUSKAYA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University,  
Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Belarus

Corresponding authors: bio.roginski@mail.ru, ekaterina.g91@mail.ru

We determined the relative damage area on the leaves of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.; Sapindaceae) by larvae of chestnut leaf-mining moth (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) in Grodno green areas. The values of this indicator varied from 3,54 to 85,08 % in June-July 2017–2018 which corresponds to the loss of plant's ornamentally from insignificant to catastrophic. The damage level of the leaves by miners was higher in parks (Rumlevo, Kolozhsky) where sweeping of leaf litter with cradles of larvae in mines was carried out partially. At the same time, the level of leaf damage was lower in street stands where leaf litter was cleaned carefully.

**Key words:** *Cameraria ohridella*; biological invasions; plant introduction; decorative plantings; black book.

### Образец цитирования:

Рогинский А. С., Гляковская Е. И. Поврежденность личинками каштановой минирующей моли листовых пластинок конского каштана обыкновенного в зеленых насаждениях г. Гродно в летний период // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 51–55.

### For citation:

Roginsky A. S., Hliakouskaya K. I. Damage of the foliage of horse chestnut by larvae of chestnut leaf-mining moth in Grodno green areas during summer. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 51–55 (in Russ.).

### Авторы:

Алексей Сергеевич Рогинский – аспирант кафедры зоологии.  
Екатерина Ивановна Гляковская – аспирант кафедры зоологии.

### Authors:

Alexey S. Roginsky, graduate student of the department of zoology.  
bio.roginsky@mail.ru  
Katsiaryna I. Hliakouskaya, graduate student of the department of zoology.  
ekaterina.g91@mail.ru

## Введение

Конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.; Sapindaceae) принадлежит к числу интродуцентов, издавна широко используемых в декоративных зеленых насаждениях Республики Беларусь [1] и, в частности, в г. Гродно и Гродненском Понеманье. Первичный, естественно-исторически сложившийся ареал *A. hippocastanum* был ограничен регионами Балканского полуострова. Долгое время конский каштан принадлежал к числу высоко устойчивых к повреждению вредителями древесных пород [2]. Ситуация изменилась после экспансии в Центральную и Восточную Европу специализированного фитофага – каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986), которая проникла на территорию Гродненской обл. примерно в 2002–2003 гг. [3]. Это предположение обосновано результатами реконструкции продвижения минера по территории сопредельной Польши, выполненного польскими энтомологами [4]. При направлении инвазии с юго-запада на северо-восток каштановая моль к 2001 г. достигла границы Гродненской обл., а в 2002 г. пересекла ее. В настоящее время инвайдер завершил распространение по регионам Беларуси [5].

Личинки *C. ohridella* развиваются в минах на листовых пластинках *A. hippocastanum*, проходя 6 возрастов. Среди них выделяют питающиеся (1–5-возрастные) и непитающаяся (6-возрастные) стадии (на последней личинка прядет колыбельку). Зимовка происходит на стадии куколки в колыбельках с более плотными стенками, которые лучше защищают их от неблагоприятных условий среды. При питании личинок стенки мин некротизируются, листья буреют и досрочно опадают. Ранний (июль-август) листопад катастрофически сказывается на декоративности насаждений, что ставит под вопрос использование данной древесной породы в зеленом строительстве [3; 6].

Поскольку критичным для сохранения эстетической ценности растений конского каштана является повреждение листьев в летний период, то цель выполненной работы – это оценка уровней поврежденности личинками каштановой минирующей моли листовых пластинок конского каштана обыкновенного в условиях зеленых насаждений г. Гродно в летние месяцы.

## Материалы и методы исследования

Для определения поврежденности *A. hippocastanum* в зеленых насаждениях нами были отобраны образцы листовых пластинок в следующих точках г. Гродно: в 2017 г. – Виленский переул., 16; ул. Горновых, 7; Коложский парк; парк Румлево; переул. Доватора, 3/1; в 2018 г. – Коложский парк и переул. Доватора, 3/1. При этом опад листьев с находящимися в колыбельках в листовых минах куколками фитофага изымался лишь частично в парках (Румлево и Коложский), тогда как в посадках по переул. Доватора, 3/1, ул. Горновых, 7, Виленский переул., 16 – практически полностью.

Для снижения влагопотери листья упаковывали в полиэтиленовые пакеты с замком и на 1–2 ч помещали в морозильник, чем достигалось прекращение увеличения размеров мин при хранении проб благодаря гибели живых личинок минера. Гербаризацию листовых пластинок осуществляли по стандартной методике [7]. Для расчета поврежденности (относительной площади поврежденной листовой поверхности) использовали графические изображения, полученные при помощи сканера Epson Perfection 4180 Photo (разрешение 300 dpi), которые обрабатывали в программе ImageJ в соответствии с методикой, ранее предложенной сотрудниками кафедры зоологии БГУ [8].

## Результаты исследований и их обсуждение

По данным выполненных в летние месяцы 2017–2018 гг. учетов была рассчитана поврежденность (относительная площадь поврежденной поверхности) листовых пластинок конского каштана обыкновенного, произрастающих в зеленых насаждениях г. Гродно. Таким образом, значения данного показателя, как это следует из данных таблицы, варьировали от 3,54 до 85,08 %, что соответствует уровню потери декоративности от ничтожного до катастрофического. Наблюдаемый размах значений показателя определяется как возрастанием поврежденности листовых пластинок в течение сезона, что можно наблюдать на рис. 1 для данных учетов 2018 г., так и практикой ухода (в аспекте уборки листового опада) за насаждениями. Как следует из данных диаграммы (рис. 2), уровень поврежденности листовых пластинок конского каштана был ниже там, где осуществляется уборка листьев, а значит, и изъятие куколок фитофага, находящихся в колыбельках в листовых минах.

В парках, где опад убирается частично, значения рассматриваемого показателя максимальны (рис. 2), а потеря растениями декоративности уже в июле достигает катастрофических масштабов. Промежуточные значения отмечены для каштанов, произрастающих по Виленскому переул., и объясняются близким расположением участка насаждений, где опад не убирается, что позволяет формироваться очагу размножения вредителя.

Следовательно, полученные результаты вполне согласуются с данными для других населенных пунктов и регионов Беларуси [3; 9]. При этом следует констатировать высокий уровень поврежденности листовых пластинок каштана конского обыкновенного, соответствующий катастрофической потере растениями декоративности. Он наблюдается уже в летний период, что определяет высокий уровень вредности данного фитофага в условиях зеленых насаждений.

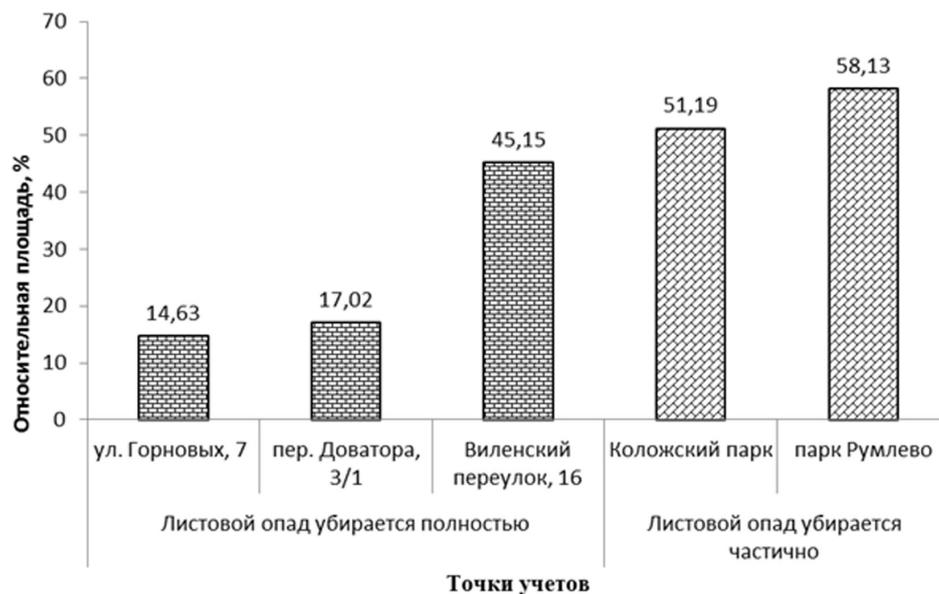
Таблица

**Поврежденность листовых пластинок конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) личинками каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic) в зеленых насаждениях г. Гродно**

Table

**Damage of the foliage of horse chestnut by larvae of chestnut leaf-mining moth in Grodno green areas**

Временные интервалы и даты учетов	Точки учетов	Относительная площадь поврежденности листовых пластинок, %
27.07.2017	переул. Доватора, 3/1	17,02
	ул. Горновых, 7	14,63
	Виленский переул., 16	45,15
	парк Румлева	58,13
	Коложский парк	51,19
11.06.2018	переул. Доватора, 3/1	3,542
06.07.2018		10,12
27.07.2018		42,06
15.06.2018		35,23
10.07.2018	Кложский парк	69,55
26.07.2018		85,08



*Рис. 1.* Поврежденность листовых пластинок конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) личинками каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic) в условиях г. Гродно (июль 2017)

*Fig. 1.* Damage of the foliage of horse chestnut by larvae of chestnut leaf-mining moth in Grodno green areas in July 2017

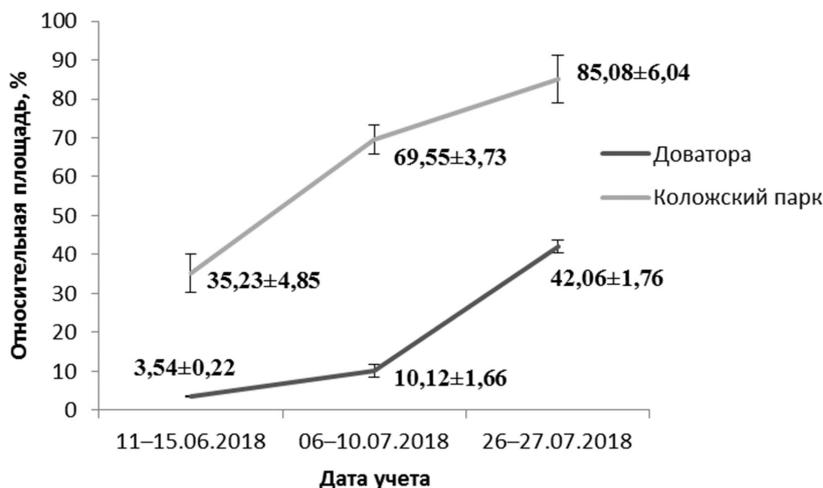


Рис. 2. Поврежденность листовых пластинок конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) личинками каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic) в условиях г. Гродно (июнь-июль 2018)

Fig. 2. Damage of the foliage of horse chestnut by larvae of chestnut leaf-mining moth in Grodno green areas in June-July 2018

### Заклучение

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В условиях зеленых насаждений г. Гродно в летние месяцы 2017–2018 гг. поврежденность листовых пластинок конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) личинками каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič), отражаемая показателем относительной площади поврежденной листовой поверхности, варьировала от 3,54 до 85,08 %.
2. В июне-июле поврежденность листовых пластинок *A. hippocastanum* личинками *C. ohridella* поступательно возрастает, что соответствует изменению уровня потери растениями декоративности от ничтожной (3,54 %) до существенной (42,06 %) и даже катастрофической (85,08 %).
3. В уличных посадках, где практикуется уборка опада с находящимися в колыбельках в листовых минах куколками минера, поврежденность листовых пластинок составляла от 3,54 до 42,06 %, тогда как в зеленых насаждениях при частичной уборке листвы – от 35,23 до 85,08 %.

### Библиографические ссылки

1. Чаховский А. А., Шкутко Н. В. Декоративная дендрология Белоруссии. Минск, 1979.
2. Горленко С. В., Блинецов А. И., Панько Н. А. Устойчивость древесных интродуцентов к биотическим факторам. Минск, 1988.
3. Рогинский А. С., Синчук О. В., Сауткин Ф. В. и др. Распространение и вредоносность каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič) в зеленых насаждениях Беларуси // Труды БГУ. 2014. Т. 9, ч. 2. С. 95–103.
4. Buszko, J. NOBANIS – Invasive alien species fact sheet *Cameraria ohridella*. 2006. URL: [http://www.nobanis.org/files/fact-sheets/Cameraria\\_ohridella.pdf](http://www.nobanis.org/files/fact-sheets/Cameraria_ohridella.pdf) (date of access: 04.09.2018).
5. Рогинский А. С., Буга С. В. Каштановая минирующая моль (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) в Беларуси: современное состояние и перспективы исследований // Итоги и перспективы развития энтомологии в Восточной Европе : сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2017. С. 335–342.
6. Рогинский А. С., Буга С. В. Поврежденность каштана конского обыкновенного каштановой минирующей молью (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) в условиях зеленых насаждений г. Минска в осенний период // Защита растений. 2014. № 38. С. 216–225.
7. Алехнович А. В., Буга С. В., Дробенков С. М. Черная книга инвазивных видов животных Беларуси. Минск, 2016.
8. Синчук О. В., Рогинский А. С., Даниленок В. В. и др. Количественная оценка поврежденности инвазивными минирующими насекомыми листовых пластинок декоративных древесных растений. Минск, 2016.
9. Рогинский А. С. Влияние изъятия зимующего запаса каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) на повреждаемость каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) в зеленых насаждениях г. Минска // Труды БГУ. 2016. Т.11, ч. 2. С. 299–304.

### References

1. Chakhovskij A. A., Shkutko N. V. [Decorative dendrology of Byelorussia]. Minsk, 1979 (in Russ.).
2. Gorlenko S. V., Blintsov A. I., Pan'ko N. A. [Resistance of introduced woody plants to biotic factors]. Minsk, 1988 (in Russ.).

3. Roginsky A. S., Sinchuk O. V., Sautkin F. V., et. al. [Distribution and harmfulness of horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič) in green stands of Belarus]. *Proceedings of Belarusian State University*. 2014. Vol. 9, pt. 2. P. 95–103. (in Russ.).
4. Buszko J. NOBANIS – Invasive alien species fact sheet *Cameraria ohridella*. 2006. URL: [http://www.nobanis.org/files/factsheets/Cameraria\\_ohridella.pdf](http://www.nobanis.org/files/factsheets/Cameraria_ohridella.pdf) (date of access: 01.09.2018).
5. Roginsky A. S., Buga S. V. [Horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) in Belarus: current state and prospects of research]. *Itogi i perspektivy razvitiya ehntomologii v Vostochnoj Evrope* : sb. st. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Minsk, 2017. P. 335–342 (in Russ.).
6. Roginsky A. S., Buga S. V. [Damage of *Aesculus hippocastanum* by horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) under the conditions of green plantations of Minsk in the autumn period]. *Zaszita rastenij*. 2014. Vol. 38. P. 216–225 (in Russ.).
7. Alekhovich A. V., Buga S. V., Drobenkou S. M., et al. [Black book of invasive animal species of Belarus]. Minsk, 2016 (in Russ.).
8. Sinchuk O. V., Roginsky A. S., Danilenok V. V., et. al. [Quantitative assessment of damage ornamental wood plants leaf sheets by invasive miner insects]. Minsk, 2016 (in Russ.).
9. Roginsky A. S. [Influence of withdrawal of over wintering reserve of horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) on damages of *Aesculus hippocastanum* L. in the green plantings of Minsk]. *Proceedings of Belarusian State University*. 2016. Vol.11, pt. 2. P. 299–304 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 28.06.2018  
Received by editorial board 28.06.2018

---

---

# РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

---

## RADIOECOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

---

---

УДК 621.039:504.06

### ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*А. И. ЕРОШОВ<sup>1)</sup>, И. Н. МАРЦУЛЬ<sup>2)</sup>, А. И. АНТОНЕНКОВ<sup>2)</sup>*

*<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь*

*<sup>2)</sup>Белорусский государственный экономический университет,  
пр. Партизанский, 26, 220070, Минск, Беларусь*

Приведены результаты исследований содержания естественных радионуклидов радия-226, тория-232 и калия-40 в почвах различного гранулометрического состава, некоторых видах продукции растениеводства и строительных материалах. Представлены результаты изучения форм нахождения ЕРН в почвах различного типа, даны расчеты содержания эффективной активности естественных радионуклидов в образцах отдельных строительных материалов.

**Ключевые слова:** естественные радионуклиды; удельная активность; эффективная активность; постоянные пункты наблюдений; гранулометрический состав.

---

#### Образец цитирования:

Ерошов А. И., Марцуль И. Н., Антоненков А. И. Исследования содержания естественных радионуклидов в различных объектах природной среды Республики Беларусь // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 56–61.

#### For citation:

Eroshov A. I., Martsul I. N., Antonenkov A. I. The analysis of naturally occurring radionuclides in different objects of the environment in the Republic of Belarus. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 56–61 (in Russ.).

---

#### Авторы:

**Анатолий Иванович Ерошов** – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры социально-гуманитарных наук и устойчивого развития.

**Иван Николаевич Марцуль** – кандидат сельскохозяйственных наук; доцент кафедры физикохимии материалов и производственных технологий.

**Александр Иванович Антоненков** – кандидат биологических наук; доцент кафедры физикохимии материалов и производственных технологий.

#### Authors:

**Anatol I. Eroshov**, doctor of science (biology), professor; professor of the department of social-humanitarian sciences and sustainable development.

*An.Eroshov@ISEU.by*

**Ivan N. Martsul**, PhD (agriculture); associate professor of the department of physics of chemistry of materials and production technologies.

*kt@bseu.by*

**Alexandr I. Antonenkov**, PhD (biology); associate professor of the department of physics of chemistry of materials and production technologies.

*antonenkov\_a@bsu.by*

## THE ANALYSIS OF NATURALLY OCCURRING RADIONUCLIDES IN DIFFERENT OBJECTS OF THE ENVIRONMENT IN THE REPUBLIC OF BELARUS

*A. I. EROSHOV<sup>a</sup>, I. N. MARTSUL<sup>b</sup>, A. I. ANTONENKOV<sup>ab</sup>*

*<sup>a</sup>Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus*

*<sup>b</sup>Belarus State Economic University, Partizanski avenue, 26, 220070, Minsk, Belarus*

*Corresponding author: A. I. Eroshov (An.Eroshov@ISEU.by)*

The study analyses naturally occurring Radium-226 and Thorium-232 and Potassium-40 in the soils of various textural content and some crops and materials used in construction. The study reveals in what forms these naturally occurring radionuclides are presented; also the effective activity content for some construction materials has been estimated.

**Key words:** naturally occurring radionuclides; specific activity; effective activity; permanent observation point; granulometric texture.

### Введение

Изучение содержания естественных радионуклидов (ЕРН) связано с тем, что они, имея природное происхождение, могут содержаться в тех или иных количествах во всех природных объектах, а в процессе миграции загрязнять почву и создавать опасность для человека. В настоящее время известно более 230 типов радиоактивных изотопов естественного происхождения, но наиболее распространенными и важными с экологических позиций являются уран-238, тория-232, радий-226, калий-40 и рубидий-87 [1]. Источниками загрязнения объектов окружающей среды ЕРН могут быть природные образования (породы с повышенным содержанием естественных радионуклидов), промышленные предприятия по добыче и переработке некоторых типов природных ископаемых, включая добычу различных солей, а также ГРЭС и ТЭС, работающих на угле, горючих сланцах, [1].

В Республике Беларусь в настоящее время складированы сотни миллионов тонн отходов от производства калийных солей и фосфорных удобрений (Гомель, Солигорск). Поступление ЕРН в почву также связано и с применением минеральных удобрений. Калийные удобрения являются источником поступления калия-40, на долю которого приходится около 0,012 % от всего количества калия. Фосфорные удобрения, в зависимости от технологии переработки фосфоритов, могут содержать значительные количества урана-238, тория-232, радия-226. Извлекаемые в больших количествах на земную поверхность ЕРН рассеиваются и включаются в биологические цепи. Концентрация этих радионуклидов в фосфорных удобрениях из разных стран может находиться в пределах от 70,0 до 2400,0 Бк/кг [2].

Одними из основных источников поступления ЕРН в организм человека являются продукты питания. Характер и уровень содержания радионуклидов в продуктах питания зависит от многих факторов (от количества их содержания в почве, доступности их растениям, свойств почвы и др.) [3]. Поэтому для обеспечения безопасности человека важно знать, где и в каких объектах могут присутствовать радиоактивные источники излучения и как можно снизить их опасность. В данном материале проведено обобщение и дополнение работ, приведенных в виде тезисов, опубликованных в материалах Международных конференций [4].

### Материалы и методы исследования

Для изучения содержания ЕРН в почве в 2014 г. были заложены пункты постоянных наблюдений (ППН) для разных по гранулометрическому составу дерново-подзолистых почв в Солигорском р-не: возле д. Чепели легкосуглинистые почвы (ППН № 1 и № 2) и возле д. Млынка, где супесчаная почва (ППН № 3).

Изучение содержания естественных радионуклидов калия-40, радия-226 и тория-232 проводилось путем отбора почвенных проб на всех ППН с пахотного и нижележащих горизонтов почвенного профиля (2014–2015 гг.). Определение содержания ЕРН выполняли в радиометрической лаборатории кафедры безопасности жизнедеятельности и курортологии с использованием гамма-радиометра спектрометрического типа РКГ-АТ1320 в соответствии с методикой измерений (МВИ. МН 1823-2007). Для проведения исследований по определению эффективной активности естественных радионуклидов в строительных материалах были отобраны пробы различных видов облицовочной керамической плитки, щебня

и гравия, которые использовались для различных целей при строительстве жилых домов в г. Минске. Для контроля воды были отобраны пробы из различных источников.

Исследование содержания естественных радионуклидов калия-40, радия-226 и тория-232 проводилось также и в пробах дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава, отобранных из разных горизонтов почвенных разрезов песчаной и суглинистой почв Воложинского р-на (д. Турковщина).

### Результаты исследования и их обсуждение

Полученные в 2014 и 2015 годах результаты не выявили существенных различий содержания ЕРН по годам исследований (табл.). На всех трех ППН больше всего в гумусовом горизонте содержалось калия-40 – от 213,0 на легкой почве (ППН № 3) до 623,0 Бк/кг на ППН № 1. При этом на почвах более связного гранулометрического состава удельная активность калия-40 была почти в три раза выше, чем на супесчаной.

Таблица

Удельная активность почвы, Бк/кг (среднее за 2 года)

Table

Soils specific activity, Bq/kg (average over 2 years)

Радионуклид Тип почвы	Калий- 40	Радий-226	Торий-232
ППН № 1			
Гумусовый	623,0	23,0	9,0
Подзолисто-иллювиальный	660,0	26,0	7,0
Иллювиальный	815,0	35,0	8,0
ППН № 2			
Гумусовый	590,0	29,0	8,0
Подзолисто-иллювиальный	595,0	28,0	8,0
Иллювиальный	611,0	44,0	7,0
ППН № 3			
Гумусовый	213,0	15,0	8,0
Подзолисто-иллювиальный	281,0	16,0	7,0
Иллювиальный	344,0	15,0	8,0

С увеличением глубины отбора почвенных проб по профилю разреза активность радиоактивного калия увеличивалась на всех пунктах наблюдения на 110,0–190,0 Бк/кг.

Содержание радия-226 и тория-232 в верхних гумусовых горизонтах ППН № 1 и № 2 было практически одинаковым и находилось в пределах 23,0–29,0 Бк/кг почвы. И только на легкой почве (ППН № 3) активность радия-226 была почти в два раза меньше – 15,0 Бк/кг, а тория-232 составила только до 8,0–9,0 Бк/кг, что менее нижнего уровня чувствительности прибора. В нижележащих горизонтах (подзолисто-иллювиальном и иллювиальном) удельная активность этих радиоактивных элементов незначительно увеличивалась и достигала значения до 35,0–44,0 Бк/кг, а на легкой почве (ППН № 3) оставалась практически на одном и том же уровне.

Ранее проводились исследования [4] содержания естественных радионуклидов калия-40, радия-226 и тория-232 в пробах дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава, отобранных из разных горизонтов почвенных разрезов песчаной и суглинистой почв Воложинского р-на (д. Турковщина). Установлено, что в почвах разного гранулометрического состава больше всего содержится калия-40 – до 685,0 Бк/кг. С увеличением глубины отбора проб его количество значительно увеличивается и особенно в легкой почве. Так, в гумусовом горизонте супесчаной почвы удельная активность была 431,0 Бк/кг, в иллювиальном – 566,0 Бк/кг, а для легкосуглинистой почвы составила с 570,0 до 642,0 Бк/кг.

Содержание радия-226 и тория-232 в гумусовых горизонтах обеих почв было практически одинаковым и находилось в пределах 24,0–28,0 Бк/кг. В нижележащих горизонтах (подзолисто-иллювиальном и иллювиальном) удельная активность этих радиоактивных элементов увеличивалась незначительно и составляла 35,0–40,0 Бк/кг. Можно предположить, что увеличение содержания всех естественных

радионуклидов в нижних горизонтах почвенного разреза связано с вертикальной многолетней миграцией их водорастворимых форм. Для выяснения предположения был проведен эксперимент, в котором легкосуглинистая почва верхнего гумусового горизонта промывалась дистиллированной водой, полагая, что водорастворимые формы радионуклидов будут вымываться и, следовательно, могут мигрировать вертикально по профилю почвы. Однако это предположение не подтвердилось для радия-226 и тория-232: до и после промывания удельная активность была практически одинаковой и для радия составляла 20,1 и 19,8, а тория 27,8 и 25,4 Бк/кг соответственно. В то же время содержание калия-40 уменьшилось с 570,0 до 447,0 Бк/кг, что позволяет заключить, что доля водорастворимых форм калия выше, а значит и доступность его растениям также больше. Радий-226 и торий-232 прочно связаны с почвой и, следовательно меньше могут использоваться растениями. Об этом свидетельствуют результаты измерения содержания ЕРН в зеленой массе многолетних трав и соломе зерновых культур, где удельная активность радия-226 составляла 7,0–12,0, а тория-232 от 5,0 до 11,0 Бк/кг соответственно, в то время как калия-40 было почти на порядок выше и составляло для соломы 154,0, а для многолетних трав 130,0 Бк/кг.

Степень опасности любых радионуклидов зависит не только от их общего содержания, но и от их подвижности в почве. От форм нахождения радионуклидов в почве зависит их миграция по почвенному профилю, а также размеры вымывания с осадками, интенсивность поступления в растения. Чем прочнее связаны радионуклиды с почвой, тем меньше их миграция, в том числе и поступление в растения и далее в продукцию животноводства и в организм человека. Для оценки прочности связи естественных радионуклидов (калия-40, радия – 226 и тория -232) с почвой определяли относительное содержание различных форм методом последовательного экстрагирования: определение их активности после вытеснения из почвы водой и слабой кислотой.

Исследования проводили с образцами дерново-подзолистой легкосуглинистой и песчаной почв, отобранных с пахотных угодий сельхозпредприятий Минского р-на. В образцах гумусового горизонта дерново-подзолистых почв больше была активность калия-40: в легкосуглинистой 570,0, а в песчаной 431,0 Бк/кг. Содержание радия-226 и тория-232 в гумусовых горизонтах почв разного гранулометрического состава было практически одинаковым и находилось в пределах 15,0–28,0 Бк/кг.

В исследованиях [4] предполагалось, что увеличение содержания ЕРН в нижележащих по профилю горизонтах связано с вертикальной многолетней миграцией и прежде всего за счет водорастворимых форм. Проведенные исследования не подтвердили и это предположение. Для изучаемых дерново-подзолистых почв характерно вымывание водой незначительной доли радия-226 и тория-232 – до 0,3–0,5 % от общего содержания, а по калию-40 чуть выше – до 0,8–1,2 %.

Известно, что для растений при определенных условиях резервом питания могут служить элементы, извлекаемые из почвы соляной кислотой. Этот кислоторастворимый резерв по калию-40 в проведенных исследованиях достигал 6–8, а радия-226 и тория-232 до 2–4 %.

Таким образом, основная доля радиоактивных калия, радия и тория находится в прочно связанной форме и, вероятнее всего, в кристаллической решетке глинистых минералов. Существенных различий в содержании ЕРН в неоднородных по гранулометрическому составу почв не выявлено. Активность и доля водо- и кислоторастворимых форм калия-40 выше, чем радия и тория, а значит и доступность его растениям большая. Радий и торий в исследуемых образцах почв находятся в меньших количествах, более прочно связаны с почвой и поэтому меньше могут использоваться корневыми системами растений. Это подтверждают результаты замеров ЕРН в вегетативной массе различных сельскохозяйственных культур.

Продукты питания являются одним из основных источников поступления естественных радионуклидов из семейств урана и тори в организм человека. Наряду с постоянно находящимися в почве, естественные радионуклиды могут поступать в окружающую среду также из отходов предприятий горнодобывающей промышленности, электростанций, работающих на минеральном топливе, с фосфорными и калийными удобрениями, используемыми в сельском хозяйстве. Путь радионуклидов до организма человека может быть разным, но наиболее вероятной является цепь «почва–растение–животное–человек». Подвижность радионуклидов в биоценозах зависит от их физико-химических свойств, условий внешней среды и биологических особенностей растений и животных. И если по миграции искусственных радионуклидов опубликовано много данных, то по естественным для Республики Беларусь результатов исследований очень мало. Поэтому нами проводилось изучение содержания радия-226 и тория-232 в различных почвах, а также их переход в некоторые сельскохозяйственные культуры.

Проведенными исследованиями выявлено, что большей удельной активностью характеризуются дерново-подзолистые почвы разного гранулометрического состава, содержание радия-226 в которых составляло 24,0–58,0 Бк/кг, а тория-232 – 15,0–35,0 Бк/кг. В образцах торфяно-болотных почв удельная

активность этих элементов находилась в пределах чувствительности прибора и не превышала 8,0–17,0 Бк/кг.

Поступление естественных радионуклидов из почвы в растения зависит от их концентрации в почве и видовых особенностей возделываемых культур. С возрастанием их содержания в почве увеличивается и накопление в хозяйственно ценной части урожая. Большим загрязнением характеризовалась зеленая масса многолетних трав и соломы зерновых культур, где удельная активность радия-226 составляла 7,0–22,0 Бк/кг, а тория-232 – 5,0–11,0 Бк/кг (что ниже нижней границы чувствительности прибора), а наименьшим – зерна ржи и ячменя – до 10,0 Бк/кг. Переход тяжелых естественных радионуклидов в растения составляет доли процента от их содержания в почве. Это также указывает на то, что основная часть радия и тория в почве находится в прочно связанной недоступной форме и не представляет серьезной опасности для загрязнения растений корневым путем. Вывод о невысокой опасности радия-226 и тория-232 для человека подтверждают результаты контроля цельного молока, где их активность не превышала нижней границы диапазона измерения прибора.

Естественные радионуклиды, имеющие природное происхождение, присутствуют в тех или иных количествах в большинстве объектов окружающей среды. В организм человека большинство из них поступают через органы дыхания или пищеварения, создавая угрозу здоровью. Согласно оценке НКДАР ООН (1994 г.), наибольший вклад (70 %) в суммарную эффективную дозу облучения населения вносит как раз естественный радиационный фон. Средняя доза внутреннего облучения за счет радионуклидов земного происхождения составляет около 1,35 мЗв в год. Источниками радиоактивных излучений могут быть строительные материалы, почва, артезианская вода и другие объекты природной среды. Наибольшую угрозу для человека представляют изотопы калия-40, радия-226 и тория-232.

Следует отметить, что опасность для человека представляют не только уран-238 и торий-232, но и их дочерние продукты распада – радон и торон. Являясь радиоактивными газами на определенной стадии распада, они могут распределяться в пространстве и попадать через органы дыхания в организм человека, создавая угрозу его здоровью. По мировым оценкам радон является причиной многих тысяч смертей в год. Вдыхая воздух с высоким содержанием радона, человек рискует получить рак легких. Врачи предупреждают, что радон на сегодняшний день является основной (после курения) причиной развития рака легких во всех странах. Поэтому в проведенных исследованиях была поставлена задача исследовать некоторые строительные материалы, используемые в строительстве или при отделке жилых помещений на содержание в них ЕРН и рассчитать эффективную активность естественных радионуклидов (Аэфф.).

Эффективная удельная активность природных радионуклидов в строительных материалах, добываемых на месторождениях или являющихся побочным продуктом промышленности, не должна превышать: для материалов, используемых в строящихся и реконструируемых общественных зданиях и жилых помещениях (1 класс) – менее 370,0 Бк/кг; для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территорий населенных пунктов (2 класс) – менее 740,0 Бк/кг; для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (3 класс) – менее 1500,0 Бк/кг. При Аэфф более 1500,0 Бк/кг (4 класс) вопрос об использовании таких материалов решается в каждом случае отдельно по согласованию с органами госнадзора.

Для проведения исследований на строительных площадках были отобраны пробы различных видов облицовочной керамической плитки, щебня и гравия, которые использовали для различных целей при строительстве жилых домов в г. Минске, а также опытный образец воды из различных источников. Наряду с измерением удельной активности ЕРН определяли и важнейший радиационный показатель характеристики строительных материалов – Аэфф. Для расчета использовали измеренные значения удельной активности калия-40, радия-226 и тория-232. Аэфф – это суммарная удельная активность ЕРН в материалах, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека. Этот показатель рассчитывали по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31 \cdot A_{Th} + 0,085 \cdot A_{K}$$

где  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$ ,  $A_{K}$  – удельные активности радия, тория и калия в Бк/кг.

При проведении исследований было обнаружено, что по рассчитанным значениям Аэфф ЕРН наибольшими величинами отличались все проанализированные пробы керамической плитки – 137,0 Бк/кг (при норме 370 Бк/кг в соответствии с НРБ-2000). Это, прежде всего, связано с высокой удельной активностью калия-40, содержание которого в среднем 510,0 Бк/кг, а также с присутствием в больших количествах, чем в других материалах, радия-226 и тория-232, удельная активность которых соответственно была 57,0–79,0 и 28,0–36,0 Бк/кг. Существенно ниже Аэфф ЕРН было в образцах щебня и гравия – 44,0 и 62,0 Бк/кг, активность тория и радия была приблизительно одинаковой и не превышала 10,0–15,0 Бк/кг. Можно отметить относительно высокое содержание калия-40, характерное для

всех проконтролированных проб, которое составляло от 280,0 до 510,0 Бк/кг. Содержание естественных радионуклидов в пробах артезианской воды оказалось ниже минимальных измеряемых прибором значений – калия-40 – менее 50,0, радия-226 и тория 232 – менее 10 Бк/л. Из приведенных выше данных следует, что по Аэфф ЕРН все изученные материалы не превышают допустимых значений и могут быть использованы без ограничений для любых строительных нужд.

### Заключение

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что естественные радионуклиды присутствуют практически во всех изучаемых объектах природной среды. Как в почве, так и в строительных материалах и продукции растениеводства больше содержится калия-40, а менее всего тория-232. По почвенному профилю содержание радиоактивного калия несколько увеличивается, тогда как радий имеет тенденцию роста, а количество тория-232 остается практически одинаковым. Основная доля исследованных ЕРН находится в прочносвязанной форме, поэтому переход их в продукцию растениеводства незначительный. Эффективная активность строительных материалов не превышала допустимых значений и зависела от присутствия калия-40.

### Библиографические ссылки

1. Архипов Н. П., Тюменцева Л. М., Февралева Л. Т. и др. Поведение естественных радионуклидов техногенного происхождения в почвах // Экология. 1982. Т. 1. С. 31.
2. Рачкова Н. Г., Шуктомова И. И., Таскаев А. И. Состояние в почвах естественных радионуклидов урана, радия и тория // Почвоведение. 2010. Т. 6. С. 348.
3. Искра А. А., Бахуров В. Г. Естественные радионуклиды в биосфере. М., 1981. С. 123.
4. Ерошов А. И., Марицун И. Н., Антоненков А. И. Содержание естественных радионуклидов в различных почвах // Сахаровские чтения: экологические проблемы 21 века: материалы 13 междунар. науч. конф. Минск, 2013. С. 168–169

### References

1. Arkhipov N. P., Tumentseva L. M., Fevrалеva L. T., et al. [Natural man-made radionuclides behaviour in soils]. *Ecology*. 1982. Vol. 1. P. 31 (in Russ.).
2. Rachkova N. G., Shuktomova I. I., Taskaev A. I. [State of natural radionuclides of uranium, radium and thorium in soils]. *Edaphology*. 2010. Vol. 6. P. 348 (in Russ.).
3. Iskra A. A., Bakhurov V. G. [Natural radionuclides in biosphere]. Moscow, 1981. P. 123 (in Russ.).
4. Eroshov A. I., Martsul I. N., Antonenkov A. I. [The content of natural radionuclides in different soils]. *Sakharov readings: ecological problems of 21<sup>st</sup> century: materials of 13<sup>th</sup> International scientific conference*. 2013. P. 168–169 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 26.06.2018  
Received by editorial board 26.06.2018

УДК 664.2:[504.75+544.54]

## МОДИФИКАЦИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРАХМАЛА В РЕЗУЛЬТАТЕ ЕГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

**В. В. ЛИТВЯК<sup>1)</sup>, А. Н. БАТЯН<sup>2)</sup>, В. А. КРАВЧЕНКО<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию,  
ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Беларусь

<sup>2)</sup>Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь

Установлено, что облучение картофельного крахмала ускоренными электронами (доза от 110 до 440 кГр) приводит к значительной аморфизации его структуры с сохранением морфологии. При облучении дозами до 440 кГр происходит заметная деструкция макромолекул крахмала, при этом вклад окислительных процессов незначителен. Аморфизация и деструкция цепей картофельного крахмала повышают его кислотность и растворимость. Возрастает общая титруемая кислотность, обусловленная образованием органических кислот (шавелевой, яблочной, молочной, уксусной, лимонной и янтарной). В облученном крахмале наблюдалось накопление количества 5-гидроксиметилфурфуrolа при росте дозы облучения. Физико-химические свойства облученного крахмала не постоянны. Через определенное время кислотность и растворимость облученных крахмалов существенно понижаются, вплоть до получения крахмалов полностью нерастворимых в воде. Наиболее оптимальным способом стабилизации физико-химических свойств может оказаться контактная сушка на вальцовых сушилках или экструзионная обработка облученного крахмала совместно с сухим льдом (твердая форма углекислого газа), который добавляется в количестве 1–3 % к массе сухих веществ. Предварительная экструзионная обработка или контактная сушка 30–40 % крахмальной суспензии на вальцовых сушилках при температуре 120–180 °С приводит к клейстеризации (разрушению крахмальных гранул), которая может вызвать повышение эффекта облучения вследствие увеличения возможных вариантов рекомбинации полимерных цепей крахмала.

**Ключевые слова:** ускоренные электроны; модифицированные крахмалы; аморфизация; деструкция; растворимость в холодной воде; инактивация микрофлоры.

### Образец цитирования:

Литвяк В. В., Батян А. Н., Кравченко В. А. Модификация физико-химических и экологических свойств крахмала в результате его электронного облучения // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 62–72.

### For citation:

Lityyak V. V., Batian A. N., Kravchenko V. A. Modification of physical-chemical and ecological properties of starch as a result of its electron exposure. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 62–72. (in Russ.).

### Авторы:

**Владимир Владимирович Литвяк** – доктор технических наук, доцент; главный научный сотрудник.

**Анатолий Николаевич Батян** – доктор медицинских наук, профессор; заведующий кафедрой экологической медицины и радиобиологии.

**Вячеслав Анатольевич Кравченко** – кандидат биологических наук; доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии.

### Authors:

**Vladimir V. Lityyak**, doctor of science (technical), associate professor; chief researcher.

*besserk1974@mail.ru*

**Anatoly N. Batian**, doctor of science (medical), professor; head of the department of environmental medicine and radiobiology.

*ant\_b@tut.by*

**Vyacheslav A. Kravchenko**, PhD (biology); associate professor of the department of environmental medicine and radiobiology.

*kravchenko.v.anat@gmail.com*

## MODIFICATION OF PHYSICAL-CHEMICAL AND ECOLOGICAL PROPERTIES OF STARCH AS A RESULT OF ITS ELECTRON EXPOSURE

V. V. LITVYAK<sup>a</sup>, A. N. BATIAN<sup>b</sup>, V. A. KRAVCHENKO<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Scientific and practical Centre for foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Kozlova street, 29, 220037, Minsk, Belarus

<sup>b</sup>Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus  
Corresponding author: V. V. Litvyak (besserk1974@mail.ru)

It has been established that exposure of potato starch with accelerated electrons (a dose of 110 to 440 kGy) leads to a significant amorphization of its structure with preservation of morphology. At exposure doses of up to 440 kGy, there is a noticeable destruction of starch macromolecules, and the contribution of oxidizing processes is insignificant. Amorphization and destruction of chains of potato starch increase its acidity and solubility. The increase in total titrated acidity, which may be due to the formation of organic acids (oxalic, malic, lactic, acetic, citric and succinic). In the exposed starch, an accumulation of 5-hydroxymethylfurfural was observed with an exposed in the exposure dose. The physicochemical properties of exposed starch are not constant. After a certain time, the acidity and solubility of exposed starches are substantially reduced, until the starches are completely insoluble in water. The most optimal way to stabilize the physical and chemical properties may be contact drying on roller dryers or extrusion treatment of exposed starch together with dry ice (solid form of carbon dioxide), which is added in an amount of 1–3 % to the mass of solids. Pre-extrusion or contact drying of 30–40 % starch suspension on roller dryers at a temperature of 120–180 °C leads to gelatinization (destruction of starch granules) and may cause an increase in the effect of exposure due to an increase in possible recombination options for polymer chains of starch.

**Key words:** accelerated electrons; modified starches; amorphization; destruction; solubility in cold water; inactivation of microflora.

### Введение

Известно, что немодифицированный крахмал плохо растворяется в холодной воде. Повышенной растворимостью обладают модифицированные крахмалы, в том числе окисленные, вследствие чего они широко востребованы в стройиндустрии, целлюлозно-бумажной, текстильной и в пищевой промышленности [1–4].

Растворимость высокомолекулярных соединений и, в частности, полисахаридов, определяется их фазовым и релаксационным состояниями, надмолекулярной структурой, конфигурацией цепи, молекулярно-массовыми характеристиками и термодинамическим качеством растворителя.

Согласно [5], вода при комнатной температуре является термодинамически плохим растворителем для крахмала. Традиционный прием повышения растворимости крахмала в холодной воде заключается в снижении молекулярной массы составляющих его гомополисахаридов (амилозы и амилопектина) путем деструкции [2; 3].

Среди различных способов деструкции крахмала важное место занимает радиационно-химическая деструкция [6–13]. Радиолузу крахмала под действием  $\gamma$ -облучения посвящен ряд статей [6–11] и обзоров [12; 13]. Модификация крахмала при электронном облучении изучена в меньшей степени, несмотря на экологические и экономические преимущества электроннолучевой обработки по сравнению с рентгеновским и  $\gamma$ -облучением. Электронное облучение применяют для интенсификации процесса формирования смесей синтетических сополимеров и крахмала [14]. Запатентована комбинация химической и радиационной деструкции крахмала с целью повышения его растворимости в холодной воде уже при небольших дозах электронного облучения (порядка 10 кГр) [4]. Однако сравнительно высокая растворимость (52 %) крахмала, обработанного кислотой, достигается только при его высушивании до содержания влаги 5 %. Сочетание воздействий различной природы ухудшает технологичность и экологичность радиационного процесса, увеличивает энергетические затраты.

В работах [4; 14] однозначно констатируется деструкция макромолекул при электроннолучевой обработке. В то же время информация о влиянии электронного облучения на фазовую структуру крахмала, насколько нам известно, в литературе отсутствует, хотя свойства высокомолекулярных соединений, включая растворимость, зависят не только и не столько от молекулярной, сколько от надмолекулярной организации, прежде всего, от фазового состояния.

Цель исследования – оценка влияния степени облучения картофельного крахмала ускоренными электронами на его фазовую, морфологическую и молекулярную структуру, растворимость, а также кислотность.

### Материалы и методы исследований

Объект исследования – картофельный крахмал производства ОАО «Лидапищеконцентраты» [15]. Образцы нативного крахмала с естественной влажностью (12 %), расфасованные в полиэтиленовые пакеты, облучали электронным пучком на линейном ускорителе электронов УЭЛВ-10-10 (НПО «Торий», Москва). Энергия пучка ускоренных электронов составляла 6–7 МэВ, а величины доз облучения – 110, 220, 330 и 440 кГр. Поскольку облучение проводилось при значительных величинах доз, процесс сопровождался разогревом облучаемых материалов. Для предотвращения расплавления полиэтиленовой упаковки облучение выполнялось в несколько приемов. Поддон с образцами крахмала периодически выводился из зоны действия пучка электронов для охлаждения, при этом температура облучаемых материалов не превышала 50–60 °С.

Фазовую структуру крахмала оценивали методом широкоугольной дифракции рентгеновских лучей на дифрактометре HZG 4A в режиме «регистрации по точкам» (дифрактометр HZG 4A,  $\text{CuK}_\alpha$ -излучение, Ni-фильтр). Образцы для съемки готовили методом прессования в виде плоских дисков одинаковой массы. Степень кристалличности рассчитывали как отношение  $I_k/I_o$ , где  $I_k$  – интенсивность дифракции на кристаллических областях. Значение  $I_k$  определяли по разности  $I_o$  и  $I_a$ , где  $I_a$  – интенсивность аморфного гало.

Морфологию крахмала исследовали на сканирующем электронном микроскопе LEO 1420. Порошки крахмала металлизировали тонким слоем золота в вакуумной установке EMITECH K 550X.

ИК-спектры образцов нативного и облученного картофельного крахмала записывали на ИК-Фурье спектрофотометре FPR-8601 PC. Образцы готовили методом «затирания в кювету».

Определение количества 5-гидрокси-метилфурфурола и органических кислот (щавелевой, яблочной, молочной, уксусной, лимонной и янтарной) проводилось хроматографически с использованием высокоэффективного жидкостного хроматографа Agilent Technologies 1200 Series с диодноматричным детектором и применением хроматографических колонок Eclipse XDB-C18, 5 мкм (4,6×150 мм) и Zorbax SB-Aq, 5 мкм (3×250 мм).

Влажность крахмала оценивали по известной методике [16].

Содержание карбоксильных и карбонильных групп в крахмале определяли соответственно барий-ацетатным методом и по реакции оксимирования [17].

Реологическое исследование проводили на ротационном вискозиметре «Реотест-2» в N-ячейке. Исходные водные суспензии крахмала с концентрацией 5 мас.% подогревали на магнитной мешалке. В результате нативный крахмал клейстеризовался, а облученные образцы образовывали в воде истинные растворы.

Растворимость крахмала в холодной воде определяли по методике [18].

Статистическая обработка данных проводилась с использованием компьютерных средств (MathCad Professional 2000, MS Office Excel 2003) по стандартным методикам. В каждом опыте было 3–5 повторностей. Рассчитаны средние значения и определены границы доверительного материала, проведен корреляционный и регрессионный анализ [32].

### Результаты исследования и их обсуждение

Рентгенодифрактограмма нативного картофельного крахмала (рис. 1а, кривая 1) представляет собой сочетание довольно отчетливых рефлексов при углах дифракции  $2\theta$ , равных 17,1 и 22,2°, и значительной доли аморфного гало. Степень кристалличности картофельного крахмала составляет примерно 25 %. С ростом дозы облучения наблюдается значительная аморфизация крахмала.

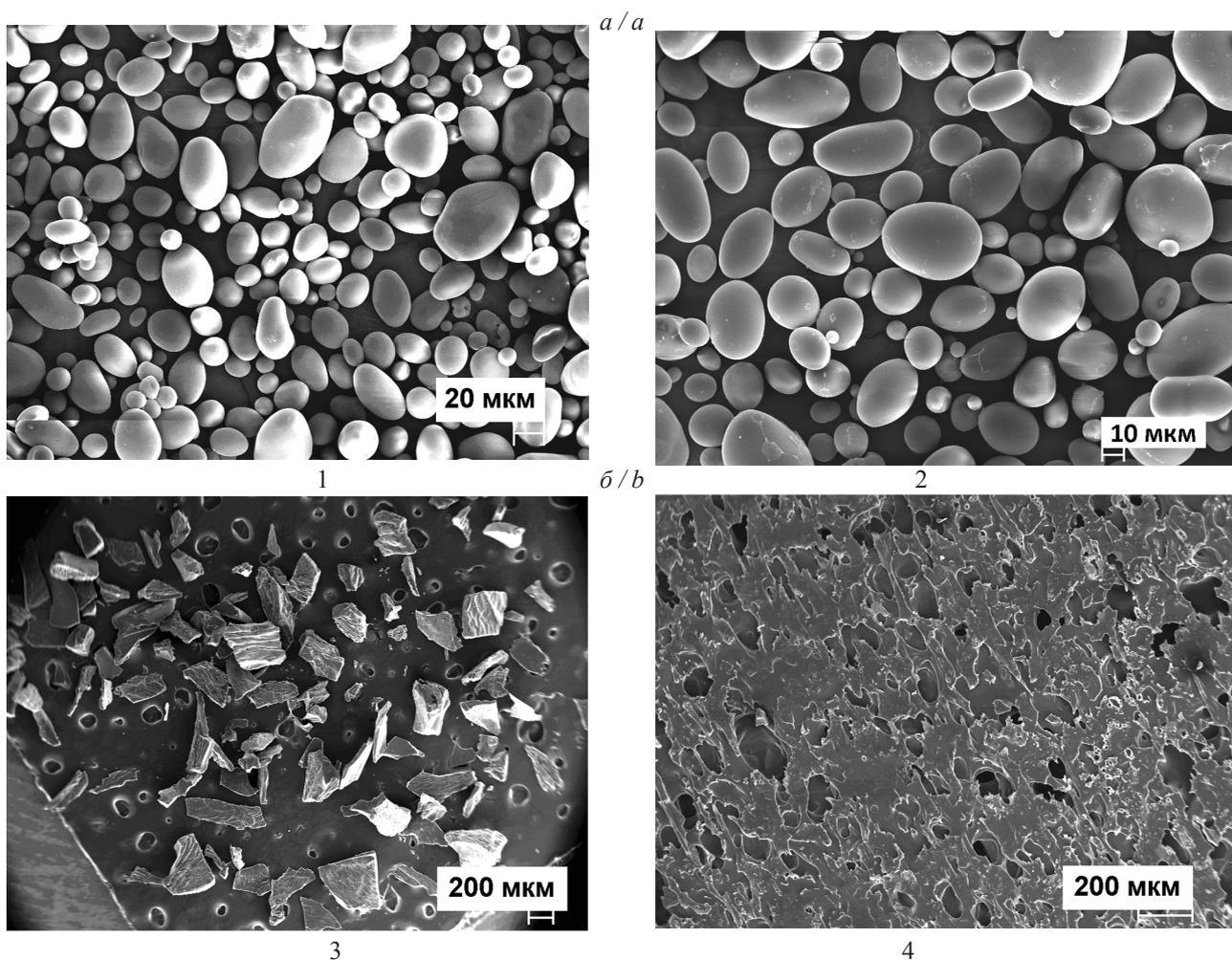
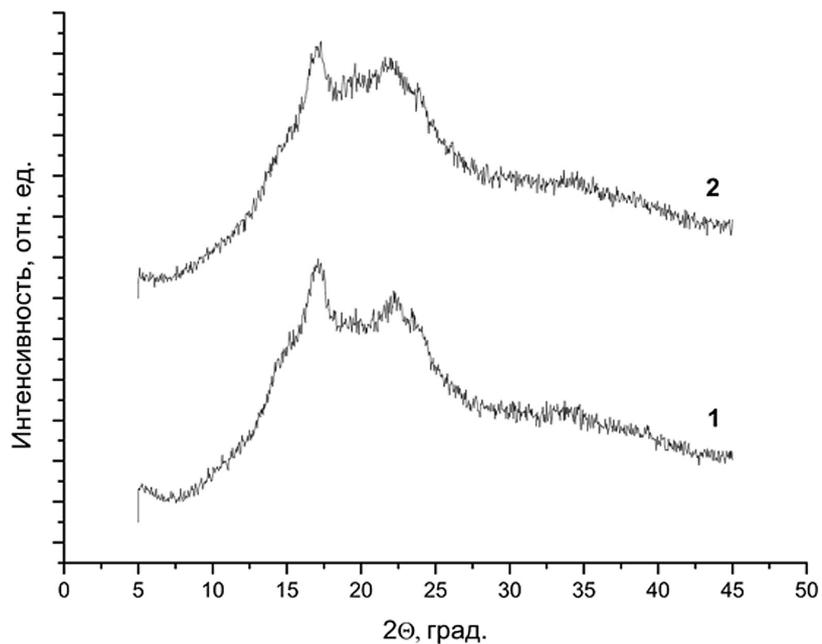


Рис. 1. Характеристики облученного крахмала: *a* – рентгенодифрактограммы нативного (1) и облученного дозой 440 кГр (2) крахмала; *б* – электронные микрофотографии зерен нативного (1), облученного дозой 220 кГр (2), экструзионного (3) и набухающего (4) крахмала

Fig. 1. Characteristics of exposed starch: *a* – x-ray diffractograms of native (1) and exposed with a dose of 440 kGy (2) starch; *b* – electron microphotographs of native grains (1) exposed with a dose of 220 kGy (2), extrusion (3) and swellable (4) starch

Как следует из сравнения рентгенограмм на рисунке 1а, в результате облучения интенсивность и разрешенность дифракционных рефлексов заметно падает, а интенсивность аморфного гало возрастает. Уширение дифракционных рефлексов, снижение их отчетливости указывает на уменьшение размеров и увеличение дефектности кристаллитов крахмала; возрастание доли аморфного гало свидетельствует о разрушении значительного количества кристаллических образований. Степень кристалличности картофельного крахмала, облученного дозой в 440 кГр, падает до 16 %, то есть в 1,5 раза.

Итак, по данным работы [12], индекс кристалличности  $\gamma$ -облученной хлопковой целлюлозы остается высоким (73 %) вплоть до поглощенной дозы 1180 кГр, и только при дозе 9400 кГр целлюлоза становится аморфной. Следовательно, чувствительность кристаллической структуры крахмала к воздействию ускоренных электронов намного выше, чем у целлюлозы к  $\gamma$ -облучению. В то же время  $\gamma$ -облучение заметно нарушает морфологическую структуру целлюлозы уже при малой поглощенной дозе (примерно 10 кГр) [13].

Следует отметить, что морфологическая структура картофельного крахмала оказывается весьма устойчивой к воздействию ускоренных электронов. Обработка даже весьма большими дозами (110–440 кГр) не вызывает принципиальных изменений: и нативный, и все облученные образцы картофельного крахмала характеризуются типичной морфологией, представляющей совокупность зерен эллипсоидной формы (рис. 1б).

Средний диаметр зерен нативного крахмала составляет 24 мкм, что характерно для картофельного крахмала [18]. Облучение ускоренными электронами не нарушает структуру поверхности зерен. Это подтверждают и микрофотографии фрагментов, выполненные при большом увеличении. Полученные результаты хорошо согласуются с данными работы [6], в которой показано, что зерна кукурузного крахмала не обнаруживают изменений поверхности даже при дозе  $\gamma$ -излучения в 940 кГр. Вместе с тем образцы крахмала, облученные дозами свыше 470 кГр, быстро растворялись в воде. Этот процесс авторы [7] объясняют изменением исключительно молекулярной структуры в результате деструкции полисахаридов.

Как отмечено в работе [6], с ростом дозы  $\gamma$ -облучения белый цвет нативного крахмала постепенно изменялся на желто-коричневый. Нами также наблюдалось пожелтение образцов картофельного крахмала с увеличением дозы электронно-лучевой обработки. Причиной пожелтения может служить накопление окисленных групп в цепях амилозы и амилопектина в результате окислительной деструкции [9; 13; 20]. Как следует из рис. 2а, с увеличением дозы облучения содержание окисленных групп в облученном электронами крахмале закономерно возрастает, причем доля карбоксильных групп (рис. 2а, кривая 1) превышает долю карбонильных (рис. 2а, кривая 2), тогда как при  $\gamma$ -облучении кукурузного крахмала теми же дозами преобладают кетогруппы [10].

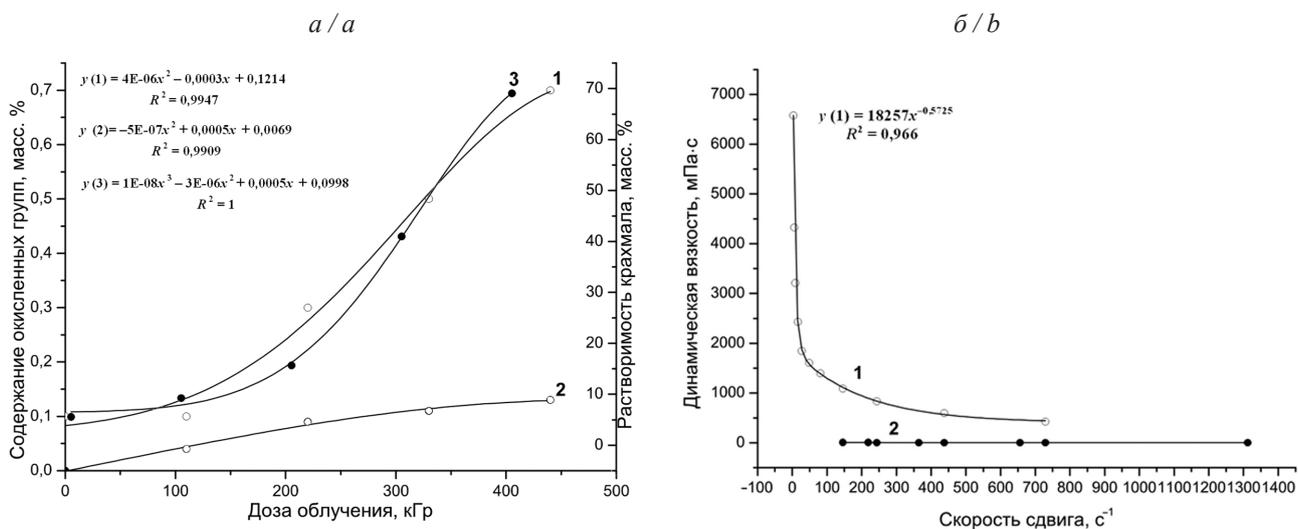


Рис. 2. Характеристики облученного крахмала: а – зависимость содержания карбоксильных (1), карбонильных (2) групп и растворимости (3) в крахмале от дозы облучения; б – зависимость вязкости клейстера нативного крахмала (1) и раствора крахмала, облученного дозой 110 кГр (2), от скорости сдвига

Fig. 2. Characteristics of exposed starch: а – dependence of the content of carboxyl (1), carbonyl (2) groups and solubility (3) in starch from the dose of exposure; б – Dependence of the viscosity of the paste of native starch (1) and the starch solution exposed with a dose of 110 kGy (2), on the shear rate.

Необходимо подчеркнуть, что облучение картофельного крахмала ускоренными электронами обуславливает появление в нем лишь незначительного количества окисленных групп. Так, образец, облученный дозой в 440 кГр, содержит всего 0,7 % карбоксильных групп и только 0,13 % карбонильных. Следовательно, существенного изменения химического состава макромолекул не происходит, о чем свидетельствуют практически идентичные ИК-спектры нативного и облученного крахмала. Полученные результаты коррелируют с данными, приведенными в работе [19]: при воздействии ускоренных электронов окислительные процессы протекают медленнее по сравнению с  $\gamma$ -облучением.

В результате облучения картофельного крахмала нами было выявлено существенное возрастание общей титруемой кислотности, которое может быть обусловлено образованием органических кислот (табл.).

С повышением дозы облучения повышается общая титруемая кислотность, о чем свидетельствует прямая высокая связь ( $r = +0,989$ ). Корреляция между дозой облучения и образованием щавелевой кислоты высокая ( $r = +0,956$ ). Между дозой облучения и образованием уксусной кислоты в пределах дозы 40–80 кГр корреляция прямая высокая, но при рассмотрении в диапазоне 40–120 кГр она обратная и весьма слабая ( $r = -0,168$ ). Корреляция между дозой облучения в пределах 80–120 кГр прямая слабая ( $r = -0,248$ ). Итак, по образованию всех обнаруженных видов кислот корреляция между дозой облучения и содержанием органических кислот прямая, высокая ( $r = +0,966$ ).

Кроме того, в облученном крахмале наблюдалось накопление количества 5-гидроксиметилфурфуrolа при росте дозы облучения (табл.), что также может обуславливать потемнение крахмала после облучения и объяснять увеличение потемнения крахмала с ростом дозы облучения. Корреляция между дозой облучения и содержанием 5-гидрометилфурфуrolа прямая высокая ( $r = +0,981$ ).

Таблица

Изменение общей титруемой кислотности и содержание органических кислот  
в облученном картофельном крахмале

Table

Change in total titrated acidity and content of organic acids in exposed potato starch

Показатель	Доза облучения, кГр							
	0	40	80	110	120	220	330	440
Общая титруемая кислотность, мл 0,1 н. NaOH/100 г	11,6 ±0,577	20,87 ±0,115	26,09 ±0,097	33,07 ±0,029	35,40 ±0,153	76,68 ±0,346	120,76 ±0,231	177,14 ±0,600
Щавелевая кислота, мг/кг	–*	124,38	175,57	–	191,16	–	–	–
Яблочная кислота, мг/кг	–	–	64,20	–	–	–	–	–
Молочная кислота, мг/кг	–	245,13	–	–	238,79	–	–	–
Уксусная кислота, мг/кг	–	260,83	339,14	–	243,75	–	–	–
Лимонная кислота, мг/кг	–	160,12	116,88	–	175,12	–	–	–
Янтарная кислота, мг/кг	–	–	274,75	–	187,72	–	–	–
∑ органических кислот, мг/кг	–	790,46 ±6,039	970,55 ±6,640	–	1036,54 ±11,582	–	–	–
5-гидрокси-метил-фурфуrol, мг/кг	–	4,38 ±0,058	4,64 ±0,015	–	5,17 ±0,022	–	–	–

*Примечание.* \*Определение не проводилось.

Таким образом, повышение дозы облучения в пределах 40–120 кГр приводит к повышению титруемой кислотности крахмалов и увеличению в нем содержания 5-гидроксиметилфурфуrolа, что подтверждается прямой высокой связью: коэффициент корреляции составляет +0,989 и +0,981 соответственно. Общая титруемая кислотность повышается за счет образования ряда органических кислот (щавелевой, яблочной, янтарной, лимонной и уксусной). Однако доза облучения неравнозначно влияет

на образование органических кислот по их видовой принадлежности. Отдельные виды кислот (яблочная, молочная и янтарная) образуются при определенной дозе облучения (табл.).

Результаты реологических исследований показывают отчетливо выраженную (рис. 2б) псевдопластичность клейстера нативного крахмала. Течение клейстера необлученного крахмала носит неньютоновский характер (рис. 2б, кривая 1). Для растворов всех облученных образцов наблюдается резкое (на два десятичных порядка) падение динамической вязкости, а также принципиальное изменение характера течения на ньютоновское (рис. 2б, кривая 2).

Совокупность отмеченных фактов указывает на значительное снижение степени полимеризации амилопектина и амилозы в результате обработки картофельного крахмала ускоренными электронами. Этому способствует низкая степень кристалличности нативного крахмала, которая, как известно, повышает способность полисахаридов к радиационно-химической деструкции [9; 20].

Реакции макрорадикалов с водой и кислородом обуславливают деструкцию цепей и падение молекулярной массы облученного крахмала. Интенсификации этих реакций способствует разогрев крахмала при облучении до 60 °С. Поскольку температура стеклования картофельного крахмала естественной влажности, содержащего 12 % воды, составляет примерно 95 °С [5], то в условиях эксперимента малые структурные элементы (боковые группы и сегменты, не входящие в состав узлов флуктуационной сетки) приобретают определенную подвижность, что ускоряет деструктивные процессы, протекающие в аморфных зонах крахмала. При этом сильная деструкция полимерных цепей протекает без их существенного окисления [8; 13]. Сочетание изменений фазовой и молекулярной структуры крахмала (аморфизация, резкое падение молекулярной массы, появление следов окисленных групп) закономерно обуславливает повышение его растворимости. Как следует из рис. 2а (кривая 3), при воздействии доз 220, 330 и 440 кГр растворимость картофельного крахмала в холодной воде увеличивается в 3, 8 и 14 раз соответственно. Повышенная растворимость крахмала в холодной воде расширяет ассортимент продуктов на его основе.

Под действием радиации (например,  $\gamma$ -облучения) происходит разрыв глюкозидных связей и изменение глюкозных остатков в цепях полисахаридов с дегидратацией с окислением спиртовых групп. Облучение образует слабые «точки» в молекулярных цепях, что облегчает разрыв цепи на этих участках при последующем нагревании крахмала или его кислотной обработке. При облучении картофельного крахмала  $\gamma$ -лучами (излучение  $^{60}\text{Co}$ ) с поглощенной дозой облучения 200–500 кГр получают продукты, обладающие повышенной растворимостью, кислотностью и низкой вязкостью. По свойствам они близки к декстринам. При облучении этого же крахмала электронами с высокой энергией дозами до 100 кГр получают продукт, сохраняющий зернистую структуру, двойное лучепреломление, но образующие клейстеры пониженной вязкости и обладающие меньшей способностью связывать йод. Деполимеризация крахмала при облучении приводят к такой структурной модификации молекул, которая снижает ферментную атакуемость крахмала. Это особенно проявляется при использовании высокой дозы излучения [21]. В результате облучения крахмала может образовываться формальдегид. Основной вклад в процесс образования формальдегида в облучаемых полисахаридах по свободнорадикальным механизмам вносят превращения первичных радикалов  $\text{C}_1$ ,  $\text{C}_5$  и  $\text{C}_6$ . В облучаемых в присутствии  $\text{O}_2$  крахмалах выход  $\text{CH}_2\text{O}$  в  $\approx 2$  раза больше, по сравнению с деаэрированными образцами, что обусловлено превращениями перекисных радикалов типа  $\text{C}_6\text{-C}_5\text{-OO}$  под действием излучений [22].

Несмотря на достаточно большое количество сведений, механизм облучения крахмала полностью до сих пор не изучен [23]. Облучение полисахаридов снижает точку плавления и вращение плоскости поляризации. При облучении амилозы, амилопектина и крахмала наблюдается потемнение, интенсивность которого повышается с повышением дозы облучения. Электронно-микроскопические исследования кукурузного и картофельного крахмала, облученного дозами до 200 кГр, показывает, что структура зерна изменяется незначительно. При более высоких дозах появляются радиальные трещины и разрывы, особенно деградирует картофельный крахмал. При облучении дозой свыше 150 кГр повреждается кристаллическая часть крахмала. Уменьшается молекулярная масса и длина цепи крахмала. Уменьшение степени полимеризации приводит к понижению (в логарифмической зависимости) удельной вязкости амилозы и амилопектина, облученных дозой свыше 600 кГр в чистом виде или после экстракции крахмала. Облучение уменьшает вязкость в гораздо большей степени, чем тепловая обработка. Растворимость крахмала в воде повышается с увеличением дозы облучения. При облучении изменяется чувствительность к ферментам. Облучение вызывает произвольный, а не систематический разрыв связей  $1 \rightarrow 4$ . Редуцирующая способность увеличивается пропорционально дозе облучения (начиная с дозы 10 кГр), возрастает кислотность крахмала (активатор – кислород), но снижается с увеличением концентрации воды. При облучении образуются фрагменты полиозидных цепей различной длины частично деградированных декстринов, а также продукты радиолитического распада (оксиметилфурфурол, формалин и др.). Также

образуются свободные кислоты и сложные эфиры, которые гидролизуются в предельных значениях pH, повышая кислотность.

Следует отметить, что физико-химические свойства облученного крахмала не постоянны во времени. Свободные радикалы способны сохраняться до двух лет и оказывать значительное влияние на физико-химические свойства крахмала. Через определенное время растворимость и кислотность облученных крахмалов существенно понижаются, вплоть до получения крахмалов полностью нерастворимых в воде [24; 25].

Так, предложен способ радиационного сшивания крахмала при воздействии потока ускоренных электронов или  $\gamma$ -излучений суммарной дозой 0,1–200 кГр. При этом доза 0,1–1,0 кГр обеспечивает получение частично сшитого крахмала со способностью набухания в воде и повышения вязкости водных сред, а дозы более 1,0 кГр обеспечивают получение сшитого крахмала с полной нерастворимостью в воде [26].

Для стабилизации физико-химических свойств перед облучением крахмал с влажностью 20–45 % смешивают с 0,1–0,4 % сернокислого алюминия к массе сухих веществ крахмала, после облучения смесь насыщают углекислым газом путем продувания его со скоростью не менее 10 м/мин, а затем высушивают [26].

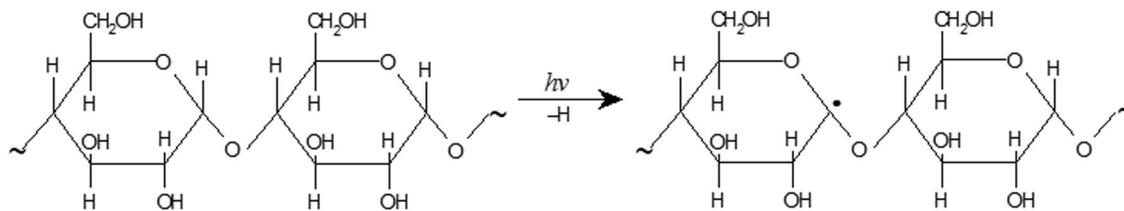
При облучении влажного крахмала образуются радикалы воды  $\cdot\text{OH}$  и  $\cdot\text{e}$ , которые, с одной стороны, ускоряют деструкцию и окисление крахмала, а с другой – способствуют рекомбинации и исчезновению радикалов.

На устойчивость свободных радикалов влияют и ионы водорода ( $\text{H}^+$ ), в присутствии которых радикалы также рекомбинируются и исчезают. Сернокислый алюминий, введенный в крахмал, в присутствии влаги подвергается гидролизу, создавая в облучаемой смеси кислую среду.

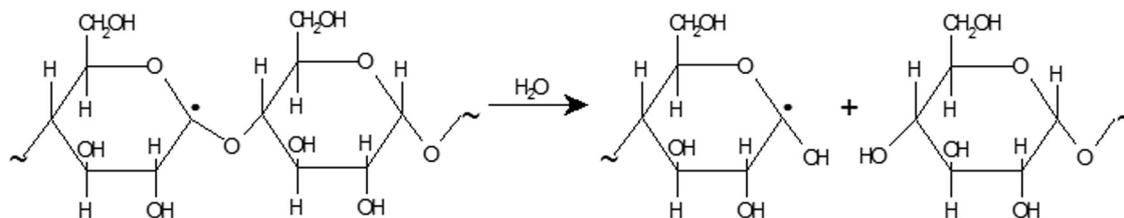
В присутствии углекислого газа скорость деструкции крахмала, как правило, замедляется. Однако, если насытить углекислым газом обработанный влажный крахмал, то образовавшиеся при взаимодействии с водой ионы водорода также обеспечивают рекомбинацию и исчезновение радикалов. Кроме того, углекислый газ, вытеснив из крахмальной смеси воздушную газовую среду, содержащую кислород и водород, исключает возможность дальнейшей деструкции крахмала [25].

Таким образом, физико-химический механизм облучения крахмала можно представить поэтапно:

### 1-й этап – образование свободных радикалов

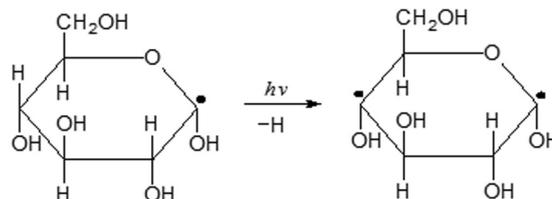


### 2-й этап – образование декстринов



Возрастает растворимость облученного крахмала.

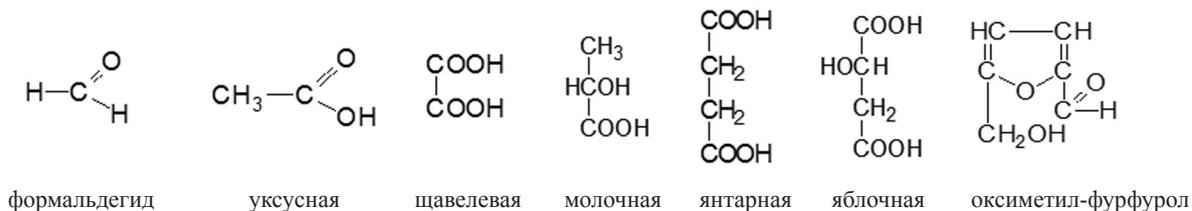
### 3-й этап – образование глюкозы



Возрастает растворимость облученного крахмала.

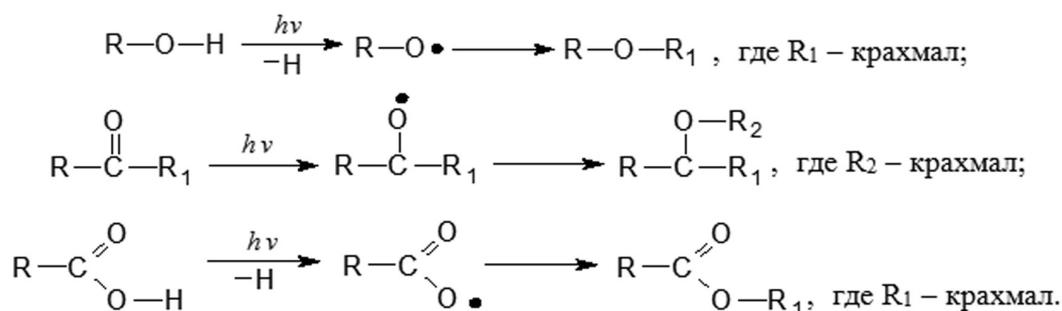
#### 4-й этап: – образование оксиметилфурфуrolа, органических кислот и формальдегида

Органические кислоты:



Возрастает общая титруемая кислотность облученного крахмала.

#### 5-й этап – перегруппировка и сшивка полимерных цепей крахмала (амилозы и амилопектина)



Резко понижается растворимость и кислотность облученного крахмала. Образующийся полимер нерастворим в холодной воде, слабо атакуется амилолитическими ферментами (устойчив к действию ферментов)

На наш взгляд, наиболее оптимальным способом стабилизации физико-химических свойств может оказаться контактная сушка на вальцовых сушилках или экструзионная обработка облученного крахмала совместно с сухим льдом (твердая форма углекислого газа), который добавляется в количестве 1–3 % к массе сухих веществ [26–31].

Предварительная экструзионная обработка или контактная сушка 30–40 % крахмальной суспензии на вальцовых сушилках при температуре 120–180 °С приводит к клейстеризации (рис. 1б): разрушению крахмальных гранул, повышению эффекта облучения вследствие увеличения возможных вариантов комбинации полимерных цепей крахмала.

Следует отметить, что облучение крахмала дозой 5–10 кГр приводит к полной инактивации имеющейся микрофлоры. Данный режим обработки можно рекомендовать для снижения микробиологической обсемененности крахмала [29]. Однако при значениях микробной обсемененности крахмала, превышающих ГОСТ в несколько раз, инактивированная микрофлора может вызвать токсикоз у потребителя.

С экологической точки зрения, модифицированные электронным облучением крахмалы целесообразно использовать в технических целях. В крахмале в процессе облучения ионизирующим излучением образуется большое количество свободных радикалов и сопутствующих веществ: органических кислот, формальдегида и других соединений. Свободные радикалы и некоторые из сопутствующих веществ, например, формальдегид вызывают нестабильность физико-химических свойств и являются неблагоприятными для живых организмов. Они способны обладать токсическим и канцерогенным действием на живую клетку.

Следует подчеркнуть, что данные крахмалы не обладают собственным радиоактивным излучением, так как указанный диапазон дозы облучения не является критичным и не может вызывать появление источников радиоактивности в модифицированном крахмале.

#### Заключение

Таким образом, полученные результаты приводят к следующим выводам:

1. При облучении дозами до 440 кГр происходит заметная деструкция макромолекул крахмала, а вклад окислительных процессов незначителен. Аморфизация и деструкция цепей картофельного крахмала повышают его кислотность и растворимость. Возрастание общей титруемой кислотности может быть обусловлено образованием органических кислот (щавелевой, яблочной, молочной, уксусной, лимонной

и янтарной). В облученном крахмале наблюдалось накопление количества 5-гидроксиметилфурфуrolа при росте дозы облучения.

2. При воздействии доз 220, 330 и 440 кГр растворимость картофельного крахмала в холодной воде увеличивается в 3, 8 и 14 раз соответственно. Повышенная растворимость крахмала в холодной воде расширяет ассортимент продуктов на его основе.

3. Физико-химические свойства облученного крахмала не постоянны. Постепенно кислотность и растворимость облученных крахмалов существенно понижаются, вплоть до получения крахмалов, полностью нерастворимых в воде. Наиболее оптимальным способом стабилизации физико-химических свойств может оказаться контактная сушка на вальцовых сушилках или экструзионная обработка облученного крахмала совместно с сухим льдом (твердая форма углекислого газа), который добавляется в количестве 1–3 % к массе сухих веществ.

4. Облучение крахмала пучком ускоренных электронов с энергией 6–7 МэВ и дозой 5–10 кГр приводит к полной инактивации имеющейся микрофлоры. Данный режим обработки можно рекомендовать для снижения микробиологической обсемененности крахмала. Однако при значениях микробной обсемененности крахмала, превышающих ГОСТ в несколько раз, инактивированная микрофлора может вызвать токсикоз у потребителя.

### Библиографические ссылки

1. Омельченко Х. В., Полумбрик М. О., Литвяк В. В. и др. Инновационный способ йодирования продуктов питания в современных экологических условиях // Экологический вестник. 2017. № 2 (40). С. 123–129.
2. Полумбрик М. О., Литвяк В. В., Ловкис З. В. и др. Углеводы в пищевых продуктах. Минск, 2016.
3. Whistler R. L., Paschal E. F. (eds.) Starch: chemistry and technology. New-York; London, 1967.
4. Saint-Lebe L., Berger G., Michel J.-P., et al. Пат. № 4115146. US. МПК; опубл. в 1978 г.
5. Суворова А. И., Тюкова И. С., Труфанова Е. И. Биоразлагаемые полимерные материалы на основе крахмала // Успехи химии. 2000. Т. 69, № 5. С. 494.
6. Коротченко К. А., Семионов А. И. О деструкции и полимеризации в кукурузном крахмале под действием гамма-излучения  $^{60}\text{Co}$  // Изв. ВУЗов. Сер. Пищевая техн. 1966. № 5. С. 25–30.
7. Петров П. Т., Федорова Г. А., Макаревич С. В. Деструкция крахмала под действием  $\gamma$ -излучения // Весці АН БССР. Сер. фіз.-энерг. навук. 1980. № 3. С. 84–88.
8. Петряев Е. П., Кильчицкая С. Л., Павлов А. В. и др. Радиологические превращения крахмала // Весці АН БССР. Сер. фіз.-энерг. навук. 1985. № 2. С. 111–114.
9. Федорова Г. А., Бондаренко Н. Т., Берлин С. М. и др. Влияние структурного фактора и адсорбированной воды на радиолит полисахаридов // Химия высоких энергий. 1992. Т. 26, № 5. С. 423–428.
10. Коротченко К. А., Шарпатый В. А. О механизме образования дикарбоновых кислот в кукурузном крахмале при  $\gamma$ -облучении в присутствии кислорода // Химия высоких энергий. 1993. Т. 27, № 4. С. 50–55.
11. Jinsong Bao, Zihua Ao, Jay-lin Jane. Characterization of Physical Properties of Flour and Starch Obtained from Gamma-Irradiated White Rice // Starch – Starke. 2005. Vol. 57. № 10. P. 480–487.
12. Ершов Б. Г., Климентов А. Ф. Радиационная химия целлюлозы // Успехи химии. 1984. Т. 53, № 12. С. 2056–2077.
13. Ершов Б. Г. Радиационно-химическая деструкция целлюлозы и других полисахаридов // Успехи химии. 1998. Т. 67, № 4. С. 353–375.
14. Sagar A. D., Villar M. A., Thomas E. L., et al. Irradiation-Modification of Starch-Containing Thermoplastic Blends: 1. Modification of Properties and Microstructure // J. Appl. Polymer Sci. 1996. Vol. 61, № 1. P. 139–155.
15. Крахмал картофельный. Технические условия: ГОСТ 7699-78 Введ. 01.01.1980 г. М.: ИПК Издательство стандартов, 1980.
16. Крахмал. Правила приемки и методы анализа: ГОСТ 7698-93 Введ. 01.01.1995 г. М.: ИПК Издательство стандартов, 1995.
17. Капуцкий В. Е., Юркитович Т. Л., Балабаева М. Д. и др. К вопросу определения полной обменной ёмкости карбоксилсодержащих целлюлоз // Вестник Белорус. ун-та. 1978. Сер. 2, № 1. С. 15–18.
18. Richter M., Augustal S., Schierbaum F. Ausgewahlte Methoden der Strkechemie. Leipzig, 1969.
19. Говорков А. Т., Баннова Е. А., Волхонская Л. И. и др. Радиационная деструкция нитроцеллюлозы // Химия высоких энергий. 1991. Т. 25, № 3. С. 228–233.
20. Аким Э. Л. Реакционная способность и физическое состояние целлюлозы // Химия древесины. 1984. № 4. С. 3–7.
21. Справочник по крахмало-паточному производству / под ред. Е. А. Штырковой, М. Г. Губина. М., 1978.
22. Шарпатый В. А. Радиационная химия полисахаридов. IV Свободнорадикальные механизмы образования формальдегида // Химия высоких энергий. 2006. Т. 40, № 1. С. 18–20.
23. Лисовская Д. П., Галун Л. А., Митюрин Г. С. Радиология пищевых продуктов. Гомель, 2003.
24. Способ радиационного сшивания крахмала: № 6617448ВВ. US. МПК С 08 В 31/00; опубл. 09.09.2003.
25. Способ получения модифицированного крахмала: № 2063402. RU. МПК 6 С 08 В 30/12; опубл. 10.07.1996.
26. Способ получения микробиологически чистого крахмала и способ получения модифицированного крахмала: пат. № 10952. ВУ, МПК<sup>7</sup> С 08В 30/00, А 23L 3/005, А 23L 3/10; опубл. 30.08.2008.
27. Способ получения модифицированного крахмала: пат. № 12800. ВУ, МПК<sup>7</sup> С 08В 30/00; опубл. 28.02.2010.
28. Полумбрик М. О., Ловкис З. В., Литвяк В. В. и др. Природные антиоксиданты пищевых продуктов. Минск, 2017.
29. Литвяк В. В. Развитие теории и практики модификации крахмалосодержащего сырья для создания новых продуктов: дис... д-ра. техн. наук: 05.18.05. Минск, 2013.

30. Литвяк В. В. Развитие теории и практики модификации крахмалосодержащего сырья для создания новых продуктов: автореф. дис... д-ра. техн. наук: 05.18.05. Краснодар, 2013.
31. Шишонок М. В., Литвяк В. В., Мурашко Е. А. и др. Структура и свойства картофельного крахмала, облученного ускоренными электронами // Химия высоких энергий. 2007. Т. 41, № 6. С. 483–487.
32. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск, 1973.

## References

1. Omelchenko H. V., Semimbrick M. O., Litvyak V. V., et al. [Innovative way of iodizing food products in modern ecological conditions]. *Ecology Ecological Herald*. 2017. No 2 (40). P. 123–129 (in Russ.).
2. Polymbrik M. O., Litvyak V. V., Lovkis Z. V., et al. [Carbohydrates in food products]. Minsk, 2016 (in Russ.).
3. Whistler R. L., Paschal E. F. (eds.) [Starch: chemistry and technology] New York; London, 1967.
4. Saint-Lebe L., Berger G., Michel J.-P., et al. Pat. No. 4115146. US. IPC; opubl. 1978.
5. Suvorova A. I., Tyukova I. S., Trufanova E. I. [Biodegradable polymeric materials based on starch] // *Uspekhi Khimii*. 2000. Vol. 69, No. 5. P. 494 (in Russ.).
6. Korotchenko K. A., Semionov A. I. [On the destruction and polymerization in corn starch under the action of  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation]. *Izv. Universities. Ser. Food techn.* 1966. No. 5. P. 25–30 (in Russ.).
7. Petrov P. T., Fedorova G. A., Makarevich S. V. [Destruction of starch under the action of  $\gamma$ -radiation]. *Vesci AN BSSR. Ser. fiz.-energ. an ape.* 1980. No. 3. 84–88.
8. Petryaev E. P., Kilchitskaya S. L., Pavlov A. V., et al. [Radiological transformations of starch]. *Vesci AN BSSR. Ser. fiz.-energ. an ape.* 1985. No. 2. P. 111–114 (in Russ.).
9. Fedorova G. A., Bondarenko N. T., Berlin S. M., et al. [Influence of the structural factor and adsorbed water on the radiolysis of polysaccharides]. *High-Energy Chemistry*. 1992. Vol. 26. No. 5. P. 423–428 (in Russ.).
10. Korotchenko K. A., Sharpaty V. A. [On the Mechanism of Formation of Dicarboxylic Acids in Corn Starches with  $\gamma$ -Irradiation in the Presence of Oxygen]. *High Energy Chemistry*. 1993. Vol. 27. No. 4. P. 50–55.
11. Jinsong Bao, Zihua Ao, Jay-lin Jane. [Characterization of Physical Properties of Flour and Starch Obtained from Gamma-Irradiated White Rice]. *Starch-Starke*. 2005. Vol. 57, No. 10. P. 480–487.
12. Ershov B. G., Klimentov A. F. [Radiation chemistry of cellulose]. *Uspekhi Khimii*. 1984. Vol. 53, No. 12. P. 2056–2077 (in Russ.).
13. Ershov B. G. [Radiochemical destruction of cellulose and other polysaccharides]. *Uspekhi Khimii*. 1998. Vol. 67, No. 4. P. 353–375 (in Russ.).
14. Sagar A. D., Villar M. A., Thomas E. L., et al. [Irradiation-Modification of Starch-Containing Thermoplastic Blends: 1. Modification of Properties and Microstructure]. *J. Appl. Polymer Sci.* 1996. Vol. 61, No. 1. P. 139–155.
15. Potato starch. Technical conditions: GOST 7699-78. Introd. 01.01.1980. Moscow: PPC Publishing Staudartds, 1980.
16. Starch. Acceptance rules and analysis methods: GOST 7698-93. Introd. 01.01.1995. Moscow: PPC Publishing Staudartds, 1995.
17. Kaputsky V. E., Yurkshtovich T. L., Balabaeva M. D., et al. [To the problem of determining the total exchange capacity of carboxyl-containing celluloses]. *Bulletin of the Byelorussian. University*. 1978. Ser. 2. No. 1. P. 15–18 (in Russ.).
18. Richter M., Augustat S., Schierbaum F. *Ausgewählte Methoden der Stechermie*. Leipzig, 1969.
19. Govorkov A. T., Bannova E. A., Volkhonskaya L. I., et al. [The Radical Destruction of Nitrocellulose]. *High Energy Chemistry*. 1991. Vol. 25. No. 3. P. 228–233 (in Russ.).
20. Akim E. L. [Reactivity and physical state of cellulose]. *Chemistry of wood*. 1984. No. 4. P. –3–7.
21. Shtyrkova E. A., Gubina M. G. (eds.) *Handbook of starch-treacle production*. Moscow, 1978. (in Russ.).
22. Sharpaty V. A. [Radiation chemistry of polysaccharides. IV Free-radical mechanisms of formation of formaldehyde]. *Chemistry of high energies*. 2006. Vol.40, No. 1. P. 19–20.
23. Lisovskaya D. P., Galun L. A., Mityurich G. S. [Radiology of Food]. Gomel, 2003 (in Russ.).
24. [Method of Radiation Crosslinking of Starch: pat. No. 6617448BB. US. IGC with 08 V 31/00. opubl. 09.09.2003] (in Russ.).
25. [Method for the preparation of modified starch: pat. No. 2063402. RU. IPC 6 C 08 B 30/12. opubl. 07/10/1996] (in Russ.).
26. [A process for the preparation of microbiologically pure starch and a process for producing modified starch: pat. No. 10952. BY, IPC7 C 08B 30/00, A 23 L 3/005, A 23 L 3/10; opubl. 30.08.2008] (in Russ.).
27. A process for producing modified starch: pat. No. 12800. BY, MPC7 C 08B 30/00; opubl. 28.02.2010] (in Russ.).
28. Semimbrik M. O., Lovkis Z. V., Litvyak V. V., et al. [Natural antioxidants of food products] Minsk, 2017 (in Russ.).
29. Litvyak V. V. [Development of theory and practice of modification of starch-containing raw materials for the creation of new products]: diss. doc. sciences (technical): 05.18.05. Minsk, 2013 (in Russ.).
30. Litvyak V. V. [Development of the theory and practice of modification of starch-containing raw materials for the creation of new products]: author's abstract. diss. doc. sciences (technical): 05.18.05. Krasnodar, 2013 (in Russ.).
31. Shishonok M. V., Litvyak V. V., Murashko E. A., et al. [Structure and properties of potato starch irradiated with accelerated electrons]. *Chemistry of high energies*. 2007. Vol. 41, No. 6. P. 483–487 (in Russ.).
32. Rokitsky P. F. [Biological statistics]. Minsk, 1973 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 28.06.2018  
Received by editorial board 28.06.2018

УДК 618.177-089.888 11+616-053.13 089: 843;618.33

## ПЕРИНАТАЛЬНЫЕ ИСХОДЫ У ЖЕНЩИН ПРОГРАММЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РЕПРОДУКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

*Н. В. КОКОРИНА<sup>1)</sup>, Т. Ю. КАЛЕНКОВИЧ<sup>1)</sup>, Л. В. ГРАК<sup>2)</sup>, Е. Н. АЛЬФЕРОВИЧ<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup>*Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь*

<sup>2)</sup>*Белорусский государственный медицинский университет,  
ул. Кижеватова, 60/1, 220024, Минск, Беларусь*

---

### Образец цитирования:

Кокорина Н. В., Каленкович Т. Ю., Грак Л. В., Альферович Е. Н. Перинатальные исходы у женщин программы вспомогательных репродуктивных технологий в условиях антропогенной нагрузки // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 73–79.

### For citation:

Kokorina N. V., Kalenkovich T. Yu., Grac L. V., Alferovich E. N. Perinatal outcomes in women of the program of assisted reproductive technologies in conditions of anthropogenic load. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 73–79 (in Russ.).

---

### Авторы:

**Надежда Васильевна Кокорина** – доцент кафедры общей экологии, биологии и экологической генетики.

**Татьяна Юрьевна Каленкович** – магистрант кафедры общей экологии, биологии и экологической генетики.

**Людмила Вацлавовна Грак** – кандидат медицинских наук, доцент 2 кафедры детских болезней.

**Елена Николаевна Альферович** – кандидат медицинских наук, ассистент 2 кафедры детских болезней.

### Authors:

**Nadezhda V. Kokorina**, associate professor of the department of general ecology, biology and ecological genetics.  
*ncocorina@yandex.ru*

**Tatiana Yu. Kalenkovich**, master of science at the department of general ecology, biology and ecological genetics.  
*abricot.93@mail.ru*

**Liudmila V. Grac**, PhD (medical); associate professor at the 2<sup>nd</sup> department of childhood illness.  
*chidill2@bsmu.by*

**Elena N. Alferovich**, PhD (medical); assistant at the 2<sup>nd</sup> department of childhood illness.  
*5555106@gmail.com*

---

Приведен анализ перинатальных исходов при индуцированной беременности у супружеских пар с различными формами бесплодия. Установлено, что дети, зачатые с помощью вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ), относятся к группе высокого риска и имеют напряженный период ранней адаптации за счет постгипоксических осложнений. Благополучный исход ВРТ во многом зависит от состояния здоровья доношающей индуцированную беременность женщины и первичных причин бесплодия, а также от количества имплантированных эмбрионов.

**Ключевые слова:** вспомогательные репродуктивные технологии; экстракорпоральное оплодотворение; бесплодие; беременность; новорожденные.

## PERINATAL OUTCOMES IN WOMEN OF THE PROGRAM OF ASSISTED REPRODUCTIVE TECHNOLOGIES IN CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC LOAD

*N. V. KOKORINA<sup>a</sup>, T. Yu. KALENKOVICH<sup>a</sup>, L. V. GRAC<sup>b</sup>, E. N. ALFEROVICH<sup>b</sup>*

*<sup>a</sup>Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus*

*<sup>b</sup>Belorussian State Medical University, Kizhevatova street, 60/1, 220024, Minsk, Belarus*

*Corresponding author: N. V. Kokorina (ncocorina@yandex.ru)*

The article presents an analysis of perinatal outcomes in induced pregnancies in couples with various forms of infertility. It is established that children conceived with the help of assisted reproductive technologies (ART) are a high-risk group and have a busy period of early adaptation due to posthypoxic complications. The favorable outcome of ART is largely dependent on the state of health of the pregnant woman being pregnant and the primary causes of infertility, as well as the number of implanted embryos.

**Key words:** assisted reproductive technologies; in vitro fertilization; infertility; pregnancy; newborns.

### Введение

Бесплодие в семье является тяжелым состоянием, нарушающим социальную и психологическую адаптацию человека. В последние годы повсеместно наблюдается тенденция к увеличению частоты бесплодных браков. Причины, приводящие к увеличению бесплодия, многообразны, в связи с чем оно считается мультифакторной патологией [1; 2]. Наряду с наличием ряда эндокринных нарушений, ведущих к возникновению бесплодия, все большую роль играют экологические и социальные факторы [3].

Известно, что становление и полноценное функционирование репродуктивной системы зависит как от общего состояния организма, отягощенного соматического и гинекологического анамнеза, так и от экологической ситуации. В условиях повышенной антропогенной нагрузки на организм человека возрастает риск формирования различных патологических состояний. Неблагоприятная экологическая обстановка (загрязнение атмосферы, низкое качество питьевой воды, нерациональное питание) является тем отягощающим фоном, на котором развивается патология репродуктивной системы. Установлено, что репродуктивная система женщины наиболее уязвима к воздействию неблагоприятных экологических факторов, которые могут индуцировать нарушение ее функционирования и становится причиной бесплодия [4; 5].

Особенности репродуктивного поведения (раннее начало половой жизни, наличие нескольких половых партнеров, отсутствие контрацепции) могут приводить к инфицированию, развитию воспалительных заболеваний органов малого таза и в конечном итоге – к трубному или перитонеальному бесплодию.

Частота бесплодных браков в Республике Беларусь достигает 15 %. Сегодня в Беларуси насчитывается около 10 тыс. женщин и 2 тыс. мужчин с диагнозом «бесплодие». Шанс стать родителями дают такие современные эффективные методы лечения бесплодия, как экстракорпоральное оплодотворение (ЭКО) и интрацитоплазматическая инъекция сперматозоида (ИКСИ). Метод ИКСИ базируется на программе ЭКО и позволяет иметь потомство мужчинам с тяжелыми формами олиго-астено-терато и азооспермии. В Республике Беларусь для лечения бесплодия используются оба метода: ежегодно проводится около 1500–1700 процедур ЭКО, родами заканчиваются 500–700. Всего с помощью ВРТ родилось более 5 тыс. детей.

Коррекция репродуктивного здоровья у бесплодных пар, разработкой которых занимаются перинатальные центры, обладающие современными технологиями и высококвалифицированными специалистами, должна включать в себя не только обеспечение наступления желаемой беременности, наблюдение за ее течением, безопасным родоразрешением, но и получение здорового потомства. Главным критерием оценки целесообразности использования вспомогательных репродуктивных технологий считается качество здоровья родившихся детей. Оценка состояния здоровья детей, рожденных в результате ВРТ, является своеобразным индикатором целесообразности лечения бесплодия, а также эффективности применяемых для лечения методов.

Несмотря на многочисленные исследования по изучению исходов индуцированных беременностей, наступивших в результате использования репродуктивных технологий, данные о течении перинатального периода у женщин программы ВРТ разноречивы. Имеются указания о зависимости благополучного исхода ВРТ от тщательности выполнения микрохирургических манипуляций, состояния здоровья донашивающей индуцированную беременность женщины, от первичных причин бесплодия, а также от количества имплантированных эмбрионов [6–8]. На сегодняшний день недостаточно изучено состояние здоровья новорожденных программы ВРТ, а данные об их заболеваемости противоречивы.

Учитывая вышеизложенное, данные о течении индуцированной беременности программ ЭКО и ИКСИ, а также оценка состояния здоровья детей, рожденных в результате экстракорпорального оплодотворения является важным объектом исследования.

Цель исследования: проанализировать состояние здоровья бесплодных супружеских пар, течение индуцированной беременности и перинатальные исходы у женщин программы вспомогательных репродуктивных технологий.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для проведения собственных исследований была изучена медицинская документация 110 супружеских пар. Работа проводилась на базе РНПЦ «Мать и дитя». Из 110 обследованных у 80 (73,0 %) супружеских пар, страдающих бесплодием, в качестве метода ВРТ применялась программа ЭКО, у 30 (27,2 %) – ИКСИ.

При изучении состояния репродуктивного здоровья и причин бесплодия установлено, что у 80 (73 %) супружеских пар основной причиной бесплодия явились патологические состояния женской репродуктивной системы (женский фактор бесплодия). У 27 (25 %) супружеских пар основной причиной бесплодия были нарушения со стороны репродуктивной системы мужчин (мужской фактор бесплодия). В трех случаях (2,7 %) отмечался сочетанный фактор бесплодия (табл. 1). У 25 (23,0 %) супружеских пар диагностировано первичное бесплодие, у 55 (50,0 %) – вторичное бесплодие (табл. 1).

Таблица 1

#### Виды бесплодия

Table 1

#### Types of infertility

Вид бесплодия	Женский фактор бесплодия		Мужской фактор бесплодия	Сочетанный фактор бесплодия
	Бесплодие первичное	Бесплодие вторичное		
Супружеские пары n = 110	25 (23 %)	55 (50 %)	27 (25 %)	3 (2,7 %)

Таким образом, основной контингент программы ВРТ – супружеские пары, страдающие вторичным бесплодием, причиной которого явилось нарушение репродуктивного здоровья женщин.

При анализе длительности бесплодия у женщин установлено, что в возрастном диапазоне 25–30 лет у 10 (12,1 % ± 3,5) женщин длительность бесплодия составила 1–3 года; у 15 (18,1 % ± 4,2) женщин – 3–5 лет; у 11 (13,3 % ± 3,4) женщин – 5–7 лет; у 9 (10,1 % ± 3,4) женщин – 7–9 лет; у 3 (3,6 % ± 2,0) женщин – 9–13 лет; у 1 (1,2 % ± 1,1) женщины – более 13 лет.

В возрастном диапазоне 36–45 лет у 3 (3,6 % ± 2,0) женщин продолжительность бесплодия составила 1–3 года; у 9 (10,1 % ± 3,4) – 3–5 лет; у 8 (9,6 % ± 3,2) – 5–7 лет; у 6 (7,2 % ± 2,9) – 7–9 лет; у 3 (3,6 % ± 2,0) – 9–13 лет; у 5 (6,0 % ± 2,6) – более 13 лет (табл. 2). Таким образом, большинство обследованных составили женщины в возрасте 25–35 лет, не имеющие детей, с продолжительностью бесплодия от 3 до 9 лет (табл. 2).

Таблица 2

Распределение обследованных женщин программы ВРТ с диагнозом бесплодие в разных возрастных группах

Table 2

The distribution of the surveyed women of the ART program with the diagnosis of infertility in different age groups

Возрастные группы женщин	Количество случаев в зависимости от длительности бесплодия					
	1–3 года	3–5 лет	5–7 лет	7–9 лет	9–13 лет	Более 13 лет
25–35	10 (12,1 %±3,5)	15 (18,1 %±4,2)	11 (13,3 %±3,4)	9 (10,1 %±3,4)	3 (3,6 %±2,0)	1 (1,2 %±1,1)
36–45	3 (3,6 %±2,0)	9 (10,1 %±3,4)	8 (9,6 %±3,2)	6 (7,2 %±2,9)	3 (3,6 %±2,0)	5 (6,0 %±2,6)

При изучении причин бесплодия установлено, что у женщин в возрастном диапазоне 25–35 лет трубно-перитонеальный фактор диагностировался у 8 (11,1 %±3,7) женщин; эндокринное бесплодие обнаружено у 4 (6 %±2,7); синдром поликистозных яичников (СПКЯ) в 23 случаях (32 %±5,5); эндометриоз – у 11 (15,3 %±4,2) (табл. 3).

Таблица 3

Причины бесплодия у супружеских пар программы ВРТ в зависимости от возрастных групп

Table 3

The causes of infertility in married couples of the ART program, depending on age groups

Возрастная группа (лет)	Трубно-перитонеальный фактор (абс., %)	Эндокринное бесплодие (абс., %)	Эндометриоз (абс., %)	СПКЯ (абс., %)	Мужской фактор (абс., %)	Сочетанный фактор (абс., %)
25–35 (n = 72)	8 (11,1 % ± 3,7)	4 (6 %± 2,7)	11 (15,3 %±4,2)	23 (32 %±5,5)	20 (28 %±5,3)	3 (4,2 %±2,4)
36–45 (n = 41)	9 (22 %±6,5)	7 (17,1 %±5,9)	18 (44 %±7,7)	0	7 (17 %±5,9)	0
Всего (n = 110)	17 (15,5 %±3,4)	11 (10 %±2,9)	29 (26,4 %±4,2)	23 (22 %±3,9)	27 (25 %±4,1)	3 (3 %±1,5)

В возрастном диапазоне 36–45 лет трубно-перитонеальный фактор установлен у 9 (22 %±6,5) женщин; эндокринное бесплодие – у 7 (17,1 %±5,9); эндометриоз – у 18 (44 %±7,7).

При изучении супружеских пар группы ИКСИ доказано, что основным контингентом программы ИКСИ были мужчины с тяжелыми формами бесплодия, основной причиной которого явилась патология спермы ( олиго-, астено-, терато и азооспермия). В большинстве случаев (33,3 %±8,6) отмечалась астеноспермия ( аномалия строения и функционирования жгутикового аппарата сперматозоидов). Тератоспермия (высокое содержание спермиев с аномальным строением) встречалась у 8 (27,0 %±8,1) мужчин; олигоспермия (низкий уровень спермиев) – у 7 (23,3 % ±7,7); азооспермия (отсутствие спермиев) встречалась у 5 (17,0 %±6,8) мужчин.

Таким образом, в ходе исследования выяснено, что основной причиной бесплодия супружеских пар группы ИКСИ явилась бесплодие у мужчин, связанное с астеноспермией (33,3 %±8,6) и тератоспермией (27,0 %±8,1).

Изучение анамнестических данных супружеских пар программы ВРТ выявило:

1. Основной контингент программы ВРТ – женщины в возрасте от 31–35 лет, не имеющие детей, с продолжительностью бесплодия от 3 до 9 лет.

2. Причины бесплодия у женщин в группе ВРТ – эндокринная патология 10 %±2,9, трубно-перитонеальный фактор 15,5 %±3,4, эндометриоз 26,4 %±4,2, СПКЯ 22 %±3,9.

3. Основной причиной бесплодия супружеских пар группы ИКСИ явилась бесплодие у мужчин, связанное с патологией спермы (астеноспермией и тератоспермией).

Для изучения перинатальных исходов у женщин программы ЭКО все обследованные были распределены на 2 группы: первую группу составили 40 женщин, у которых индуцированная беременность

закончилась рождением одного ребенка; вторую – 70 женщин с многоплодной беременностью (двойни – у 69, тройни – у 1).

Анализ течения одноплодной беременности у женщин показал, что угроза выкидыша диагностировалась у 14 (35 %) женщин, истмико-цервикальная недостаточность (ИЦН) – у 5 (12,5 %); угрожающие преждевременные роды – у 32 (80 %); анемия беременной – у 28 (70 %); многоводие – у 4 (10 %); фето-плацентарная недостаточность (ФПН) – у 26 (65,0 %); У 19 (47,5 %) женщин I группы беременность протекала на фоне гестоза (табл. 4).

Таблица 4

**Осложнения беременности у женщин программы ВРТ**

Table 4

**Complications of women pregnancy of the ART program**

Осложнения беременность	Одноплодная беременность n-40	Многоплодная беременность n-70	P	Всего
Угрожающий начавшийся выкидыш	14 (35 %)	42 (60 %)	<0,05	56 (51 %)
ИЦН	5 (12,5 %)	37 (53 %)	<0,05	42 (38,2 %)
Угрожающие преждевременные роды	32 (80 %)	62 (88,6 %)	>0,05	94 (85,4 %)
Анемия	28 (70 %)	48 (68,5 %)	>0,05	76 (69,1 %)
Многоводие	4 (10 %)	11 (15,7 %)	>0,05	15 (14 %)
ФПН	26 (65 %)	24 (34,2 %)	<0,05	50 (45,4 %)
Гестоз	19 (47,5 %)	53 (75,7 %)	<0,05	72 (65,4 %)

В случае многоплодной беременности угроза выкидыша в ранние сроки беременности диагностировалась у 42 (60,0 %) женщин, истмико-цервикальная недостаточность (ИЦН) – у 37 (53,0 %); угрожающие преждевременные роды – у 62 (88,6 %); анемия беременной – у 48 (68,5 %) женщин; многоводие – у 11 (15,7 %); фето-плацентарная недостаточность – у 24 (34,2 %). У большинства женщин с многоплодием беременность протекала на фоне гестоза (53–75,7 %).

Следовательно, наиболее частыми осложнениями гестационного периода явились: угрожающие преждевременные роды – 94 (85,4 %), анемия беременной – 76 (69,1 %), гестоз – 72 (65,4 %), причем при многоплодной беременности гестоз, угроза выкидыша, ИЦН, ФПН встречались достоверно чаще.

При изучении течения интранатального периода установлено, что одноплодная беременность закончилась срочными родами у 21 женщины (52,5 %±7,8). Преждевременные роды в сроке гестации до 28 недель отмечались в 2 случаях (4,3 %±2,4); 29–32 недель – в 3 случаях (7,5 %±4,1). Большинство преждевременных родов у женщин с одноплодной беременностью закончилось рождением детей с недоношенностью I степени в сроке 35–36 недель (22,5 %±6,6).

При многоплодной беременности большинство родов были преждевременными, срочные роды отмечались только в 8 (11,4 %±3,8) случаях. Преждевременные роды в сроке гестации до 28 недель были в 3 (4,3 %±2,4) случаях; до 32 недель – в 10 (14,3 %±4,1) случаях (табл. 5)

Таблица 5

**Продолжительность гестационного периода у женщин программы ВРТ**

Table 5

**The duration of the gestational period of women of the ART program**

	До 28 недель	29–32 недели	33–34 недели	35–36 недель	37 и >
При одноплодных беременностях (40)	2 (5 %±3,4)	3 (7,5%±4,1)	5 (12,5 %±5,2)	9 (22,5 %±6,6)	21 (52,5 %±7,8)
При многоплодных беременностях (70)	3 (4,3 %±2,4)	10 (14,3 %±4,1)	32 (45,7 %±5,9)	17 (24,3 %±5,1)	8 (11,4 %±3,8)

Таким образом, доказано, что перинатальный период у женщин программы ВРТ в большинстве случаев протекал на фоне угрозы прерывания беременности, однако при многоплодной беременности исходы родов были более неблагоприятными: большинство родов были преждевременные с низким сроком гестации и рождением детей с высокой степенью недоношенности.

При анализе характера родоразрешения выявлено, что в группе женщин программы ВРТ с одноплодной беременностью в большинстве случаев (60,0 %±7,7) роды проводились естественным путем. При многоплодной беременности этот показатель составил 27,4 %±5,3 (табл. 6). У 51 женщины с индуцированной беременностью (72,8 %±5,3) роды проводились оперативно путем кесарева сечения, что было обусловлено многоплодием и необходимостью родоразрешения щадящим методом.

Таблица 6

Характер родов у женщин программы ВРТ

Table 6

The nature of parturition of women of the ART program

Исходы беременностей	Одноплодная беременность n = 40	Многоплодная беременность n = 70
Самопроизвольные роды	24 (60,0 % ± 7,7)	19 (27,4 % ± 5,3)
Оперативные роды	16 (40,0 % ± 7,7)	51 (72,8 % ± 5,3)

Для оценки характера перинатальных исходов у женщин программы ВРТ проведено изучение состояния новорожденных и течение раннего неонатального периода.

Состояние детей при рождении оценивалось по шкале Апгар. В связи с необходимостью использования искусственной вентиляции легких в программе выхаживания недоношенных новорожденных, таким детям оценка по Апгар проводилась только на первой минуте после рождения. Установлено, что у 35 (23,3 %±3,8) детей, оценка по Апгар составила 8/9; у 80 (52,9 %±4,0) – 8/8; у 15 (9,9 %±2,4) – 7/8, что соответствует удовлетворительному состоянию новорожденных.

При оценке состояния недоношенных новорожденных установлено, что у 8(5,3 %±1,8) детей оценка по шкале Апгар составила 8 баллов; у 3 (1,9 %±1,1) – 7 баллов; у 3 (1,9 %±1,1) – 6; у 1 (0,7 %±0,6) – 5; у 2 (1,3 %±0,9) – 4; у 3(1,9 %±1,1) – 3. Все недоношенные дети на 5 мин после рождения были переведены на ИВЛ, что связано с ухудшением состояния.

При анализе течения раннего неонатального периода у новорожденных, зачатых методом ЭКО, установлено, что у 35 (23,2 %±0,7) детей отмечалась задержка внутриутробного развития. Неврологические нарушения в неонатальном периоде выявлены у 29 (19,2 %±3,2) детей, из них у 18 (62,1 %±9,0) задержка моторного развития; у 11 (37,9 %±9,0) – задержка психомоторного развития. Инфекционная патология в раннем неонатальном периоде диагностирована у 14 детей (9,3 %±2,3), из них цитомегаловирусная инфекция (ЦМВИ) – у 5 (35,7±12,8), пневмония – у 9 (64,2 %±12,8) новорожденных.

У новорожденных группы ИКСИ задержка внутриутробного развития отмечалась в 36,6 %±8,8 случаев; асфиксия при рождении у 20 (67,0 %±8,6), из них у 18 (90,0 %±6,7) средней и тяжелой степени. Неврологические нарушения – у 8 (27,0 %±8,0) детей; инфекционная патология – у 9 (30,0 %±8,3). Следовательно, у детей группы ИКСИ отмечался более напряженный период ранней адаптации за счет постгипоксических осложнений и инфекционной патологии.

При изучении течения раннего адаптационного периода детей программы ВРТ выявлена повышенная заболеваемость и напряженность периода ранней постнатальной адаптации. Основное значение в заболеваемости детей программ ВРТ имеют как преждевременные роды, так и вариант зачатия (ЭКО, ИКСИ). Преждевременные роды являются одним из факторов, ухудшающих перинатальные исходы после ВРТ. Недонашивание детей после ВРТ определяется в большей мере частотой многоплодия, которое имеет место при использовании репродуктивных технологий и встречается в 26,7–31,7 %. Развитие многоплодной беременности в программах ЭКО связано с переносом в полость матки более одного эмбриона. Однако зачастую многоплодная беременность в значительной степени связана с такими проблемами, как преждевременные роды с низкой и экстремально низкой массой тела новорожденных.

На эффективность использования методов ВРТ и частоту перинатальных осложнений влияют возраст, длительность бесплодия, отягощенный акушерско-гинекологический анамнез. Наличие как генитальной, так и экстрагенитальной патологии у женщин программы ВРТ объясняет высокий процент перинатальных осложнений, оперативного разрешения и преждевременных родов.

## Заключение

Таким образом, основной контингент программ ВРТ – это супружеские пары, страдающие вторичным бесплодием, причиной которого явилось нарушение репродуктивного здоровья женщин. Почти у всех женщин, использовавших методы ВРТ, в анамнезе отмечалось длительное бесплодие, продолжительность которого 3–9 лет.

Перинатальный период у женщин программы ВРТ протекал на фоне угрозы преждевременных родов, однако при многоплодной беременности исходы родов были более неблагоприятными: большинство родов были преждевременные с низким сроком гестации и рождением детей с высокой степенью недоношенности. В 72,8 % случаев многоплодной беременности роды проводились оперативным путем, что было обусловлено многоплодием и необходимостью родоразрешения щадящим методом.

Течение раннего неонатального периода у детей, рожденных от матерей с индуцированной беременностью, осложнилось задержкой внутриутробного развития, постгипоксическим состоянием и инфекционной патологией. Высокий процент рождения маловесных детей при многоплодной беременности ухудшает перинатальные исходы, что обусловлено преждевременными родами и недоношенностью новорожденных.

Беременность, наступившая в результате ВРТ, относится к группе высокого риска. Благополучный исход ВРТ во многом зависит от состояния здоровья донашивающей индуцированную беременность женщины и первичных причин бесплодия, а также от количества имплантированных эмбрионов.

## Библиографические ссылки

1. Перфильева И. В. Особенности течения и исхода беременности у женщин после применения ВРТ // Вестник «Проблемы репродукции». 2010. Т. 9. № 5. С. 320–324.
2. Сидельникова В. М. Особенности течения и тактика ведения беременности, наступившей после ЭКО и ПЭ. Практическая гинекология: клинические лекции. Москва, 2001. С. 459–464.
3. Современные перинатальные медицинские технологии в решении проблем демографической безопасности: сб. науч. тр. и материалов науч.-практ. конф. Минск, 2009. С. 25–26.
4. Никитин А. И. Вредные факторы среды и репродуктивная система человека. ЭЛБИ-СПб, 2014. С. 24–36.
5. Сивочалова О. В. Медико-экологические аспекты проблемы охраны репродуктивного здоровья работающего населения // Мед. труда и пром. экология. 2009. № 3. С. 1–5.
6. Chauhan S. P., Magann E. F., Scott J. R., et al. Cesarean delivery for fetal distress: rate and risk factors // *Obstet. Gynecol. Surv.* 2003. Vol. 58, No. 5. P. 337–350.
7. Klemetti R., Sevón T., Gissler M., et al. Health of children born as a result of in vitro fertilization // *Pediatrics*. 2006. Vol. 118(5). P. 1819–1827.
8. Calleja-Agius J., Jauniaux E., Pizzey A. R., et al. Investigation of systemic inflammatory in first trimester pregnancy failure // *Human Reproduct.* 2012. Vol. 27. P. 349–358.

## References

1. Perfilieva I. V. [Features of the course and outcome of pregnancy in women after ART use]. *Vestnik «Reproduction problems»*. 2010. Vol. 9, No. 5. – P. 320–324 (in Russ.).
2. Sidelnikova V. M. [Features of the course and tactics of management of pregnancy, occurred after IVF and PE. Practical Gynecology]: Clinical Lectures. Moscow. 2001. P. 459–464 (in Russ.).
3. [Modern perinatal medical technologies in solving the problems of demographic security]: Collection of scientific papers and materials of the scientific-practical conference. Minsk, 2009. P. 25–26 (in Russ.).
4. Nikitin A. I. [Harmful factors of environment and reproduction sicsems of men]. ALbI-SPb, 2014. P. 24–36 (in Russ.).
5. Sivochalova O. V. [Medical ecology aspect of problems guard reproduction health population]. *Med. labor and industry ecology*. 2009. No. 3. P. 1–5 (in Russ.).
6. Chauhan S. P., Magann E. F., Scott J. R., et al. Cesarean delivery for fetal distress: rate and risk factors. *Obstet. Gynecol. Surv.* 2003. Vol. 58, No. 5. P. 337–350.
7. Klemetti R., Sevón T., Gissler M., et al. Health of children born as a result of in vitro fertilization. *Pediatrics*. 2006. Vol. 118 (5). P. 1819–1827.
8. Calleja-Agius J., Jauniaux E., Pizzey A. R., et al. Investigation of systemic inflammatory in first trimester pregnancy failure. *Human Reproduct.* 2012. Vol. 27. P. 349–358.

Статья поступила в редколлегию 26.06.2018  
Received by editorial board 26.06.2018

УДК 616.33-006.6-089.87]:575.191(476)

## МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ЭКСПРЕССИИ МИКРОРНК ПРИ МЕЛАНОМЕ КОЖИ

*Р. М. СМОЛЯКОВА*<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь

Исследуется молекулярно-генетический профиль экспрессии онкогенных микроРНК mir-21, mir-181, mir-182, mir-221, mir-222 и генов супрессоров опухолевого роста mir-214, mir-200b, mir-15b при меланоме кожи и меланоцитарных невусах. Отмечено, что повышение экспрессии онкогенов микроРНК может использоваться для дифференциальной диагностики меланомы кожи. Снижение уровней генов-супрессоров микроРНК mir-214, mir-200b, mir-15b характеризует активизацию процессов пролиферации, неоангиогенеза, прогрессирование опухолевого процесса.

**Ключевые слова:** экологические факторы риска; меланома; меланоцитарный невус; микроРНК; профиль; экспрессия.

## MOLECULAR GENETIC microRNA EXPRESSION PROFILE FOR SKIN MELANOMA

*R. M. SMOLIAKOVA*<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

The molecular genetic profile of the expression of oncogenic microRNA mir-21, mir-181, mir-182, mir-221, mir-222 and tumor suppressor genes mir-214, mir-200b, mir-15b in melanoma of the skin and melanocytic nevi. It is noted that an increase in the evaluation of microcancer oncogenes can be used for the differential diagnosis of skin melanoma. Reducing the levels of suppressor genes of microRNA mir-214, mir-200b, mir-15b characterizes the activation of proliferation processes, neoangiogenesis, and the progression of the tumor process.

**Key words:** ecological risk factors; melanoma; melanocytic nevus; microRNA; profile; expression.

### Введение

Меланома кожи (МК) является новообразованием, которое развивается в результате злокачественной трансформации меланоцитов и меланобластов [1].

---

#### Образец цитирования:

Смолякова Р. М. Молекулярно-генетический профиль экспрессии микроРНК при меланоме кожи // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 80–86.

#### For citation:

Smoliakova R. M. Molecular genetic microRNA expression profile for skin melanoma. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 80–86 (in Russ.).

---

#### Авторы:

**Раиса Михайловна Смолякова** – доктор биологических наук, доцент; заведующий кафедрой общей экологии, биологии и экологической генетики.

#### Authors:

**Raisa M. Smoliakova**, doctor of science (biology), associate professor; head of the department of general ecology, biology and environmental genetics.  
*smol60@mail.ru*

В настоящее время во всем мире, в том числе и в Беларуси, частота возникновения данного заболевания значительно увеличилась и продолжает неуклонно возрастать. Среднегодовой темп прироста МК в мире составляет около 5 % и может считаться одним из самых высоких среди всех злокачественных опухолей, кроме рака легкого. Меланомы кожи являются одним из наиболее агрессивных новообразований. Опухоль локализуется преимущественно в коже, реже в слизистых оболочках и сетчатке глаза [2; 3].

В настоящее время установлены определенные факторы риска развития меланомы. В большинстве случаев факторы риска развития меланомы кожи носят экзогенный и эндогенный характер. Среди экзогенных факторов наиболее существенным является экологическое воздействие окружающей среды на кожу, в частности, солнечных лучей [4].

Ультрафиолетовое излучение может приводить к нарушениям клеток ДНК – димеризации тимина, что, вызывает клеточные мутации. При делении измененная клетка передает мутации клеткам нового поколения. Мутации в протоонкогенах и/или в генах-супрессорах приводят к неконтролируемой скорости митоза, что становится причиной роста опухоли. К эндогенным факторам относятся наследственная предрасположенность, пол, возраст, цвет кожи, наличие определенных заболеваний. Генные мутации, вызывающие меланому, могут передаваться по наследству. Если в семье один или более близких родственников страдали меланомой, риск заболевания увеличивается до 8 раз, в зависимости от количества заболевших родственников. По медицинской статистике, 10 % лиц, заболевших меланомой, имеют отягощенный семейный анамнез.

«Золотым стандартом» лечения пациентов с МК является удаление опухоли. Лечение пациентов с МК остается трудно решаемой проблемой, что обусловлено высокой частотой развития рецидивов, непредсказуемостью клинического течения заболевания и отсутствием эффективной системной терапии.

Меланомы кожи распространяются лимфогенным и гематогенным путем и обладает выраженной склонностью к диссеминации. По данным научной литературы, поражение регионарных лимфатических узлов при прогрессировании заболевания после удаления первичной опухоли составляет от 70 до 90 %, что является одним из самых прогностически неблагоприятных факторов: общая 5-летняя выживаемость пациентов, лечение которых начато на этой стадии, составляет в среднем 15–40 %.

Проблема профилактической терапии при МК – сложный и нерешенный вопрос в современной онкологии. Препаратом выбора цитостатической терапии диссеминированной МК является дакарбазин. Другая важнейшая составляющая лечения пациентов с МК – иммунотерапия. На протяжении последних 20 лет во всем мире идет активное изучение применения интерферонов в схемах лечения пациентов с МК с высоким риском метастазирования.

В настоящее время доказана статистически достоверная высокая прямая корреляция между периодом времени после иссечения первичной опухоли до появления регионарных метастазов и результатами 5-летней выживаемости с момента их удаления, что может служить серьезным поводом для поиска новых схем и комбинаций препаратов и методов локального воздействия на опухоль.

Повышение эффективности противоопухолевой терапии непосредственно связано с успехами в сфере молекулярной и клеточной биологии и генетики, а также смежных областях, что позволяет разрабатывать новые способы лечения онкологических заболеваний на рациональной основе. «Молекулярный портрет» опухоли, то есть совокупность характерных для нее молекулярных изменений, позволяет проводить диагностику онкологических заболеваний, оценивать ее чувствительность к проводимой терапии и прогнозировать течение процесса.

В настоящее время накоплено множество данных, позволяющих рассматривать микроРНК в качестве биомаркеров опухолевых клеток: уровень экспрессии микроРНК является специфическим для различных линий раковых клеток; выявление их экспрессии в биологических жидкостях, включая кровь, может быть диагностировано с использованием молекулярно-генетических технологий [5; 6].

В настоящее время имеются отдельные данные об изменениях в уровнях экспрессии микроРНК при меланоме. В отдельных исследованиях показано, что экспрессия микроРНК-137 ассоциирована с экспрессией фактора МТФ, основного регулятора меланогенеза [7].

Регуляторный фактор МТФ связан с функционированием микроРНК-182 [Segura et al., 2009]. Избыточная экспрессия микроРНК-182 отражает агрессивный и инвазивный потенциал клеток меланомы посредством регуляции как фактора МТФ, так и FOXO3. Предполагается, что микроРНК-182 усиливает инвазивную способность клеток меланомы *in vitro* и увеличивает их метастатический потенциал *in vivo* в экспериментальной модели легочных метастазов. Кроме того выявлено, что в тканях человека, экспрессия микроРНК-182 увеличивается с прогрессированием от первичной к метастатической форме меланомы и коррелирует с экспрессией факторов FOXO3 и МТФ. Предполагается, что оба этих транскрипционных фактора являются мишенями для действия микроРНК-182. Стимулирующее действие гиперэкспрессируемой микроРНК-182 на процесс метастазирования меланомы блокируется сопутствующей

гиперэкспрессией факторов МТФ и FOXO3, делая их ключевыми регуляторами эффектов, вызванных экспрессией микроРНК-182. Предполагается, что накопленные данные могут оказаться применимыми к процессам метастазирования в других злокачественных новообразованиях, а подавление экспрессии микроРНК может стать одной из наиболее объективных критериев эффективности лечения.

Проведенные единичные эксперименты дают возможность предполагать участие микроРНК-214 в миграции, инвазии и проникновении в кровоток *in vitro*. *In vivo* микроРНК-214 не влияла на рост первичных опухолей, но увеличивала метастатический потенциал клеток в экспериментальном подходе с метастазированием в легкие.

МикроРНК-221 и микроРНК-222 регулируют экспрессию гена p27 и гена c-KIT, которые подавляются в метастатических клетках меланомы. Ген c-KIT регулируется с помощью AP-2α транскрипционного фактора. Более того, обработка с помощью антагонистов микроРНК против микроРНК-221/222 ингибировала пролиферацию и инвазивность меланомы *in vitro* и рост меланомы *in vivo* [Felicetti et al., 2008]. Oszolak, et al. (2008) установил, что микроРНК-221/222 специфически регулируются с помощью фактора МТФ и характерны для прогрессирования меланомы [8].

Гиперэкспрессия микроРНК-21 может функционировать как онкоген. Chuan He Yang с соавторами продемонстрировали влияние интерферона на микроРНК-21 через STAT3-зависимый путь. МикроРНК-21 играет важную роль в супрессии ИФН-индуцированного апоптоза. В ходе исследования предполагалось, что индуцируемый интерфероном апоптоз не возникает в клеточной линии DU145 с повышенным уровнем экспрессии микроРНК-21 и проявляет себя в линии клеток РС3, где экспрессия этой микроРНК блокирована. Одним из основных ограничений для применения интерферона в качестве эффективного метода лечения пациентов со злокачественными новообразованиями является его неспособность эффективно индуцировать апоптоз в опухолевых клетках. Предполагается, что регуляция микроРНК-21 в различных видах карцином может быть причиной развития резистентности этих новообразований к ИФН-индуцированному апоптозу. Таким образом, изучение экспрессии микроРНК-21 может явиться одним из факторов повышения эффективности интерферона отдельно или в сочетании с другими химиотерапевтическими препаратами [9].

Отдельными исследованиями выявлено, что экспрессия микроРНК имеет большое значение для выбора химиотерапевтических стратегий, направленных на преодоление устойчивости раковых клеток. Установлено, что микроРНК-21 способствует росту опухоли, препятствуя апоптозу, и является ключевым фактором устойчивости к химиотерапии темозоломидом [10; 11].

Химиотерапия может вызывать эпителиально-мезенхимальный переход в опухолевых клетках, что является важным шагом в процессе метастазирования рака, приводит к распространению процесса и неэффективности лечения. Клиническое снижение микроРНК-200b, микроРНК-15b связано с химиотерапевтической устойчивостью и плохим прогнозом для пациентов с диссеминированной меланомой кожи. Данные, используемые в мировой практике, свидетельствуют, что снижение экспрессии микроРНК-200b и микроРНК-15b может быть вызвано химиотерапией и служить в качестве молекулярного маркера для отмены цитостатической терапии [12].

Ограниченное число данных по изучаемой теме, предположительный характер механизмов развития лекарственной устойчивости и отсутствие доказательных критериев прогноза на уровне нарушений генов и контролирующих их микроРНК обусловили актуальность и перспективность изучения данной проблемы при диссеминированной меланоме кожи для персонализации тактики лечения и определения прогноза течения заболевания у данных пациентов.

## Материалы и методы исследования

Изучение молекулярно-генетического профиля экспрессии микроРНК при меланоме кожи и его влияние на прогноз проведено на основе изучения данных первичной медицинской документации (истории болезни и амбулаторные карты) 32 пациентов, получавших специальное лечение в РНПЦ ОМР им. Н. Н. Александрова.

Из общего числа пациентов имели I стадию 40,6 %, II стадию – 59,4 %, меланоцитарные невусы диагностированы у 10.

Средний возраст пациентов с меланомой кожи составил 59±13,09 лет, мужчин – 13, женщин – 19. В исследуемой группе пациентов выявлена меланома кожи в области туловища в 28 % случаев, нижних конечностей – 44 %, верхних конечностей – 19 %, головы и шеи – 9 %.

Поверхностно-распространяющаяся меланома кожи диагностирована у 44 % пациентов, узловая форма – в 44 % случаев, лентиго меланома – в 12 %.

В анализируемой группе пациентов отмечалась пигментная меланома кожи у 68 %, слабопигментная меланома – у 20 %, беспигментная – у 12 %.

Для определения молекулярного профиля экспрессии исследуемых микроРНК miR-15b, miR-21, miR-181, miR-182, miR-200b, miR-214, miR-221, miR-222 в качестве материала использовалась ткань меланомы кожи и доброкачественных меланоцитарных невусов, заключенных в парафиновые блоки.

Для выделения мРНК из парафиновых блоков готовили серийные срезы толщиной 3–5 микрон, заливали ксилолом и инкубировали при температуре 50 °С в течение 30 мин, затем центрифугировали в миницентрифуге, после чего удаляли ксилол и дважды промывали в 96 % этаноле. В дальнейшем осуществляли выделение РНК с использованием наборов реагентов производства Qiagen (Германия) согласно инструкции производителя. Выделенную мРНК переводили в кДНК.

Аmplification проводили в амплификаторе BioRad (США). Для амплификации в режиме реального времени фрагментов кДНК генов микроРНК использовали набор «miScript SYBR Green PCR Kit» (Qiagen, Германия). При этом отбирали необходимое количество микропробирок объемом 0,2 мл (на одну пробу – две пробирки). Готовили реакционную смесь на хладоэлементе из расчета на одну реакцию (табл. 1).

Таблица 1

**Компоненты реакционной смеси для ПЦР**

Table 1

**Components of the reaction mixture for PCL**

Компонент	Объем / реакция	Конечная концентрация
1	2	3
2× буфер для ПЦР-буфер (на основе интеркалирующего красителя SybrGreen)	10 мкл	1x
Универсальный праймер (200 нМ)	0,4 мкл	1x
Диагностические праймеры (200 нМ)	по 0,4 мкл	1x
Деионизированная вода	варьирует	-
кДНК	≤5 мкл	1-3 нг/реакция
Общий объем	20 мкл	-

Общий объем реакционной смеси на 10 % должен превышать необходимый.

Последовательности специфических олигонуклеотидных праймеров для амплификации в режиме реального времени фрагментов кДНК генов микроРНК представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Праймеры для амплификации**

Table 2

**Primers for amplification**

МикроРНК	Нуклеотидная последовательность праймера
микроРНК-21	5'-UAGCUUAUCAGACUGAUGUUGA-3'
микроРНК-214	5'-AGCUACAUCUGGCUACUGGGU-3'
микроРНК-181c	5'-AACAUUCAACCUGUCGGUGAGU-3'
микроРНК-182	5'-UUUGGCAAUGGUAGAACUCACACU-3'
микроРНК-221	5'-AGCUACAUCUGUCUGCGGGUUUC-3'
микроРНК-222	5'-AGCUACAUCUGGCUACUGGGU-3'
микроРНК-200b	5'-UAAUACUGCCUGGUAUAUGAUGA-3'
микроРНК-15b	5'-UAGCAGCACAUCAUGGUUUACA-3'

В реакционную смесь вносили кДНК в концентрации 1–3 нг на реакцию. При более высоких исходных значениях разбавляли кДНК до указанной концентрации с целью повышения эффективности протекания ПЦР и снижения вероятности образования неспецифического ПЦР-продукта. В микропробирки вносили реакционную смесь и кДНК, перемешивали пипетированием и помещали в амплификатор.

В качестве референсного гена использовали RNU6.

Для проведения ПЦР-реакции использовали следующие условия:

1. 50 °С – 2 мин

2. 95 °С – 2 мин

3. 95 °С – 15 сек

4. 57 °С – 1 мин      40 циклов

5. Кривая плавления: 55–95 °С. Температура плавления микроРНК-специфического ПЦР продукта – 74–77 °С.

Статистический анализ полученных данных проводили с использованием программы Statistica 7. Сравнение двух независимых групп осуществляли непараметрическим методом при помощи U-критерия Манна–Уитни. Различия между сравниваемыми показателями считали статистически значимыми при  $p \leq 0,05$ . Количественные признаки оценивались при помощи критерия Краскела–Уоллиса. Различия между сравниваемыми показателями считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ . Корреляционный анализ выполнен по Спирмену с использованием непараметрического анализа корреляционных взаимосвязей. Коэффициент корреляции считали значимым при  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Определение молекулярно-генетического профиля у пациентов с меланомой кожи и меланоцитарными невусами осуществлялось по уровням экспрессии онкогенов микроРНК mir-21, mir-181, mir-182, mir-221, mir-222 и генов супрессоров опухолевого роста mir-214, mir-200b, mir-15b.

Проведенный сравнительный анализ показал, что экспрессии микроРНК mir-21 (рис. 1) у пациентов с меланомой кожи варьировала в пределах от 19,5 до 32,8 отн. ед. ( $26,5 \pm 0,13$  отн. ед.) по отношению к значениям показателя у пациентов с меланоцитарными невусами  $29,8 \pm 0,15$  отн. ед. (уровень экспрессии от 27,5 до 32,2 отн. ед.) ( $p_{\text{Манна-Уитни}} < 0,05$ ).

Развитие меланомы кожи сопряжено с повышением экспрессии mir-181 до  $32,3 \pm 0,16$  отн. ед. по отношению к значению параметра при невусах  $29,9 \pm 0,12$  отн. ед. ( $p_{\text{Манна-Уитни}} < 0,21$ ).

Оценка уровня экспрессии mir-182 имеет одно из первостепенных значений в клинической практике и отражает способность опухоли к инвазии и прогрессированию процесса. Результаты проведенного исследования показали, что уровень экспрессии mir-182 у пациентов, страдающих меланомой кожи, составил  $36,8 \pm 0,18$  отн. ед. по сравнению с таковым  $34,6 \pm 0,11$  отн. ед. при невусах ( $p_{\text{Манна-Уитни}} < 0,05$ ).

Представляется возможным предположить, что повышение уровней экспрессии онкогенов mir-221, mir-222 может служить предиктивным фактором трансформации меланоцитарных невусов в меланому с активацией процессов пролиферации и инвазии.

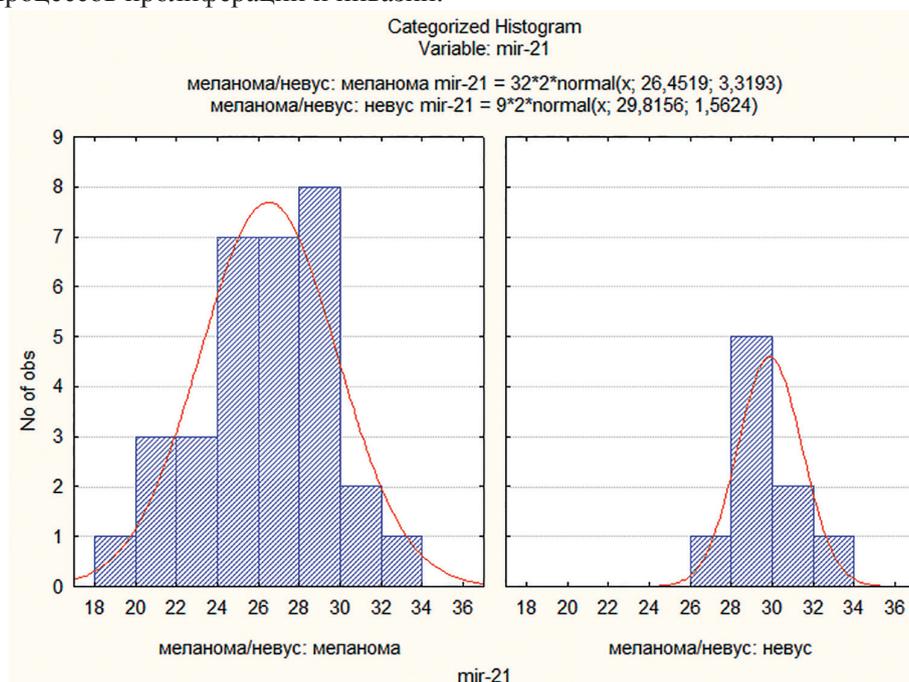


Рис. 1. Относительный уровень экспрессии mir-21 при меланоме и невусах

Fig. 1. The relative level of expression of mir-21 in melanoma and nevi

Оценка уровней экспрессии онкогенных miR-221, miR-222 у пациентов с меланоцитарными невусами показала повышение их значений до  $31,9 \pm 0,21$  и  $31,85 \pm 0,21$  отн. ед. соответственно по отношению к уровням таковых при меланоме – ( $30,5 \pm 0,15$  и  $30,4 \pm 0,17$  отн. ед. соответственно  $p_{(Манна-Уитни)} < 0,15$ ).

Прогностическими факторами повышенной биологической агрессивности опухолевого процесса является снижение уровней экспрессии генов супрессоров опухолевого роста miR-214, miR-200b, miR-15b. Полученные в ходе выполнения исследования данные (рис. 2) выявили у пациентов с меланомой кожи снижение уровня экспрессии антионкогена miR-214 до  $30,9 \pm 0,12$  отн. ед. по сравнению со значением показателя  $33,4 \pm 0,16$  отн. ед. у пациентов с невусами ( $p_{(Манна-Уитни)} < 0,05$ ).

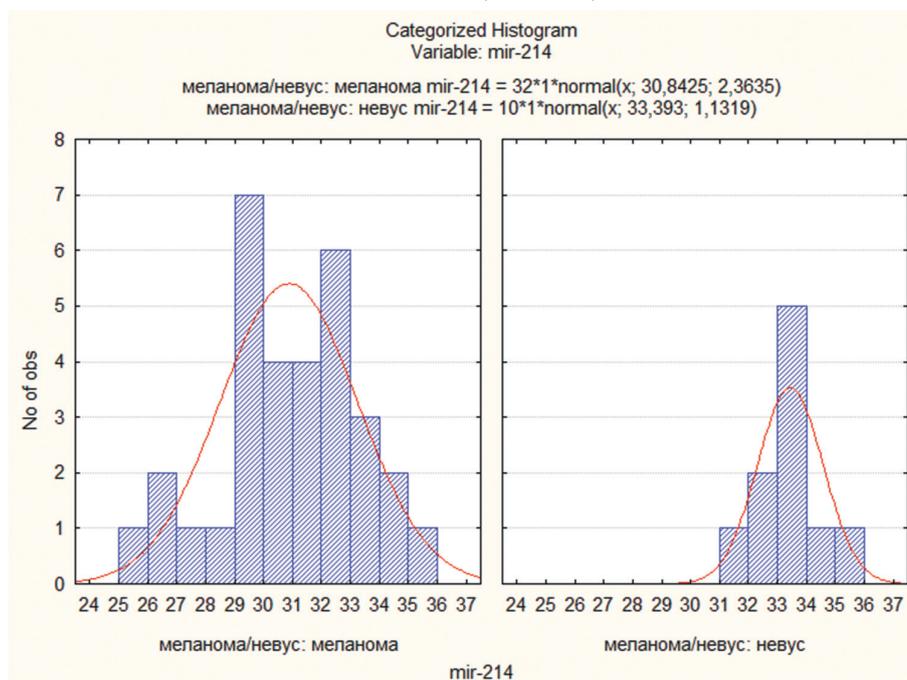


Рис. 2. Относительный уровень экспрессии miR-214 при меланоме и невусах

Fig. 2. The relative level of expression of miR-214 in melanoma and nevi

Понижение функциональной активности антионкогенов способствует усилению процессов пролиферации, неоваскуляризации, снижению чувствительности опухолевых клеток к цитостатической системной терапии. У пациентов, страдающих меланомой кожи, диагностировано понижение уровней экспрессии микроРНК miR-200b ( $30,7 \pm 0,21$  отн. ед.) и miR-15b ( $31,0 \pm 0,19$  отн. ед.), по сравнению с таковыми у пациентов с меланоцитарными невусами ( $31,7 \pm 0,12$  и  $32,4 \pm 0,14$  отн. ед. соответственно) ( $p_{(Манна-Уитни)} < 0,07$ ).

### Заключение

Таким образом, молекулярно-генетический профиль меланомы кожи характеризуется экспрессией онкогенных микроРНК miR-21, miR-181, miR-182, miR-221, miR-222 и генов супрессоров опухолевого роста miR-214, miR-200b, miR-15b.

Установлен повышенный уровень экспрессии онкогена микроРНК 182 у пациентов, страдающих меланомой кожи ( $36,8 \pm 0,18$  отн. ед.), по сравнению со значением параметра ( $34,6 \pm 0,11$  отн. ед.) при меланоцитарных невусах, что имеет высокую предсказательную значимость в дифференциальной диагностике и оценке степени биологической агрессивности опухоли ( $p_{(Манна-Уитни)} < 0,05$ ).

Нарушение функциональной активности генов супрессоров микроРНК сопряжено с активацией процессов пролиферации, неоваскуляризации, инвазивного потенциала, что характеризуется уменьшением уровней экспрессии микроРНК miR-214, miR-200b, miR-15b у пациентов с меланомой кожи, по сравнению экспрессией генов-супрессоров при доброкачественных невусах ( $p_{(Манна-Уитни)} < 0,05$ ).

### Библиографические ссылки

1. Жигулина А. Г., Ключарева С. В., Новицкая Т. А. Меланома кожи в практике врача-дерматолога // Клиническая дерматология и венерология. 2013. № 3. С. 113–117.
2. Киселев Ф. Л. МикроРНК и рак // Молекул. биология. 2014. Т. 48, № 2. С. 232–242.

3. Манихас Г. М., Мартынюк В. В. Пигментные невусы и меланома // Саркома костей, мягких тканей и опухоли кожи. 2012. № 1. С. 36–41.
4. Bertolotto C., Lesueur F. Melanoma: from melanocyte to genetic alterations and clinical options // *Scientifica*. 2013. Vol. 6, № 3. P. 203.
5. Anand S., Cheres D. A. Emerging role of micro-RNAs in regulation of angiogenesis // *Genes Cancer*. 2011. Vol. 2, № 12. P. 1134–1138.
6. Bartel D. P. MicroRNAs: target recognition and regulatory functions // *Cell*. 2009. Vol. 136. P. 215–233.
7. Howell M. P., Li X., Riker A. I., et al. MicroRNA in Melanoma // *Ochsner J*. 2010. Vol. 10, № 2. P. 83–92.
8. Inada T., Fukushima S. Murai M., et al. Hair shaft miRNA-221 levels as a new tumor marker of malignant melanoma // *J. Dermatol*. 2015. Vol. 42, № 2. P. 198–201.
9. Chan S. H., Wu C. H. MiR-21 microRNA expression in human gastric carcinomas and its clinical association // *Anticancer Res*. 2008. Vol. 28. P. 907–911.
10. Mueller D. W., Rehli M., Bosserhoff A. K. MiRNA expression profiling in melanocytes and melanoma cell lines reveals miRNAs associated with formation and progression of malignant melanoma // *J. Invest. Dermatol*. 2009. Vol. 129, № 7. P. 1740–1751.
11. Shen J., Lei Q. Q., Chen X., et al. Diagnostic performance of microphthalmia transcription factor for melanoma: a systematic review and meta-analysis // *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. 2014. Vol. 18, № 6. P. 798–805.
12. Trotter S. C., Sroa N., Winkelmann R. R. A Global Review of Melanoma Follow-up Guidelines // *J. of Clinical and Aesthetic Dermatology*. 2013. Vol. 6, № 9. P. 18–26.

## References

1. Zhigulina A. G., Klyucharyova S. V., Novitskaya T. A. [Melanoma of the skin in the practice of a dermatologist]. *Clinical dermatology and veneorology*. 2013. No. 3. P. 113–117 (in Russ.).
2. Kiselev F. L. [MicroRNA and cancer]. *Molecular biology*. 2014. Vol. 48, No. 2. P. 232–242 (in Russ.).
3. Machinas G. M., Martinyuk V. V. [Pigmentary nevuses and skin melanoma]. *Sarcoma bones, soft tissue and skin tumors*. 2012. No. 1. P. 36–41 (in Russ.).
4. Bertolotto C. Melanoma: from melanocyte to genetic alterations and clinical options. *Scientifica*. 2013. Vol. 6, No. 3. P. 203.
5. Anand S., Cheres D. A. Emerging role of micro-RNAs in regulation of angiogenesis. *Genes Cancer*. 2011. Vol. 2, No. 12. P. 1134–1138.
6. Bartel D. P. MicroRNAs: target recognition and regulatory functions. *Cell*. 2009. Vol. 136. P. 215–233.
7. Howell M. P., Li X., Riker A. I., et al. MicroRNA in Melanoma. *Ochsner J*. 2010. Vol. 10, No. 2. P. 83–92.
8. Inada T., Fukushima S. Murai M., et al. Hair shaft miRNA-221 levels as a new tumor marker of malignant melanoma. *J. Dermatol*. 2015. Vol. 42, No. 2. P. 198–201.
9. Chan S. H., Wu C. H. MiR-21 microRNA expression in human gastric carcinomas and its clinical association. *Anticancer Res*. 2008. Vol. 28. P. 907–911.
10. Mueller D. W., Rehli M., Bosserhoff A. K. MiRNA expression profiling in melanocytes and melanoma cell lines reveals miRNAs associated with formation and progression of malignant melanoma. *J. Invest. Dermatol*. 2009. Vol. 129, No. 7. P. 1740–1751.
11. Shen J., Lei Q. Q., Chen X., et al. Diagnostic performance of microphthalmia transcription factor for melanoma: a systematic review and meta-analysis. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. 2014. Vol. 18, No. 6. P. 798–805.
12. Trotter S. C., Sroa N., Winkelmann R. R. A Global Review of Melanoma Follow-up Guidelines. *J. of Clinical and Aesthetic Dermatology*. 2013. Vol. 6, No. 9. P. 18–26.

Статья поступила в редколлегию 28.06.2018  
Received by editorial board 28.06.2018

УДК 616.33-006.6-089.87]:575.191(476)

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЯ ПРИ РАКЕ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ЭКСПРЕССИИ микроРНК

*Р. М. СМОЛЯКОВА<sup>1)</sup>*

<sup>1)</sup>*Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь*

Проанализирован молекулярно-генетический профиль экспрессии онкогенных микроРНК mir-21, mir-373, mir-155, тканевых антигенов рецепторов стероидных гормонов, эпидермального фактора роста Her-2/neu и p53 при раке молочной железы. Установлено, что уровень экспрессии miR-155, miR-373, miR-21 и белка-регулятора клеточного цикла p53 являются независимыми прогностическими факторами риска развития рецидива заболевания при раке молочной железы.

**Ключевые слова:** антропогенная нагрузка; рак молочной железы; экспрессия микроРНК; экспрессия рецепторов стероидных гормонов; прогностические факторы; группы риска; безрецидивная выживаемость.

## PREDICTION OF THE COURSE OF THE BREAST CANCER BASED ON THE EVALUATION OF microRNA EXPRESSION

*R. M. SMOLIAKOVA<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>*Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus*

The molecular genetic profile of the expression of oncogenic miRNA mir-21, mir-373, mir-155, tissue antigens of steroid hormone receptors, epidermal growth factor Her-2 / neu and p53 in breast cancer are analyzed. It was found that the expression level of miR-155, miR-373, miR-21 and the cell regulating cell regulator p53 are independent prognostic risk factors for the relapse of the breast cancer.

**Key words:** anthropogenic load; breast cancer; microRNA expression; steroid hormone receptor expression; prognostic factors; risk groups; disease-free survival.

### Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения, рак молочной железы (РМЖ) занимает лидирующее место в структуре заболеваемости у женщин во всем мире. Рост числа заболевших РМЖ

---

#### Образец цитирования:

Смолякова Р. М. Прогнозирование течения заболевания при раке молочной железы на основе оценки экспрессии микроРНК // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 87–93.

#### For citation:

Smoliakova R. M. Prediction of the course of the breast cancer based on the evaluation of microRNA expression. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 87–93 (in Russ.).

---

#### Авторы:

**Раиса Михайловна Смолякова** – доктор биологических наук, доцент; заведующий кафедрой общей экологии, биологии и экологической генетики.

#### Authors:

**Raisa M. Smoliakova**, doctor of sciences (biology), associate professor; head of the department of general ecology, biology and environmental genetics  
*smol60@mail.ru*

обусловлен сочетанием нескольких факторов: высокой антропогенной нагрузкой, значительным «постарением» женского населения, происшедшими в Беларуси за последние 40 лет и истинным ростом заболеваемости [1]. Следует особо отметить, что высокий уровень заболеваемости РМЖ наблюдается у женщин трудоспособного возраста, что повышает социальную и клиническую значимость изучения данной проблемы.

Важнейшим показателем актуальности проблемы и неудовлетворенности результатами лечения пациенток с РМЖ является сохраняющаяся высокая смертность. Изучение динамики течения заболевания позволило многим исследователям заключить, что РМЖ на доклинической стадии является диссеминированным процессом. Развитие локальных рецидивов и метастазов опухоли у 40–50 % радикально пролеченных пациентов на разных этапах наблюдения подтверждает данную гипотезу.

Рак молочной железы представляет собой гетерогенную опухоль, которая включает несколько молекулярно-генетических вариантов с различными фенотипами, отличающимися по агрессивности течения заболевания, чувствительности к противоопухолевым воздействиям [2].

С углублением молекулярно-генетических знаний об особенностях РМЖ и разработкой новых противоопухолевых средств проблема оценки, прогноза и выбора оптимальной стратегии лечения приобретает все большую актуальность.

Уровень экспрессии стероидных гормонов и рецептора эпидермального фактора роста Her-2/neu, которые характеризуют клинически различные по степени агрессивности типы опухолей, изменяется во время прогрессирования опухолевого процесса и в ответ на проводимую противоопухолевую терапию. Установлено, что нарушение функционирования белка p53 – наиболее частое молекулярное изменение в злокачественных опухолях. В настоящее время однозначного мнения о клиническом значении мутаций белка p53 нет. По данным различных авторов, высокий уровень белка p53 чаще всего ассоциируется с неблагоприятными факторами прогноза течения РМЖ: опухолями молочных желез с отрицательным статусом по рецепторам стероидных гормонов, гиперэкспрессией Her-2/neu, высоким митотическим индексом, низкой степенью дифференцировки опухоли, а также низкой безрецидивной и общей выживаемостью [2].

В настоящее время особую актуальность имеет оценка нарушений экспрессии генов, кодирующих микроРНК, ассоциированных с эффективностью проводимой терапии и прогнозированием течения заболевания [3]. В отдельных научных работах авторы утверждают, что уровень экспрессии микроРНК miR-21 коррелирует с повышением активности белка Her-2/neu и функционально вовлечен в Her-2/neu-индуцированную клеточную инвазию через сигнальный путь MAPK(ERK1/2). Установлено, что при РМЖ ингибирование экспрессии miR-21 *in vitro* и *in vivo* приводит к усилению апоптоза и снижению уровня антиапоптотического фактора Bcl-2. Повышенный уровень экспрессии miR-21 клинически сопряжен с поражением лимфатических узлов, высоким пролиферативным индексом и прогрессированием опухолевого процесса [4].

Независимыми прогностическими факторами при прогнозировании раннего риска рецидива при радикальном хирургическом лечении пациенток, страдающих РМЖ II–III стадий, являются уровень экспрессии микроРНК miR-155, miR-373 и белка-регулятора клеточного цикла p53, причем при наличии умеренной/низкой экспрессии miR-155, гиперэкспрессии miR-373, p53 прогнозируют высокий риск развития рецидива заболевания в раннем послеоперационном периоде со снижением безрецидивной выживаемости [5]. Определение данных прогностических факторов позволяет выделить группы пациенток низкого, умеренного и высокого риска неблагоприятного прогноза течения заболевания.

Исследование, проведенное отдельными авторами на клеточной линии здоровой эпителиальной ткани молочной железы мышей (NMG-клетки), показало, что miR-155 является онкогеном при РМЖ и участвует в регуляции TGF-β/Smad4 сигнального пути, играющего важную роль в TGF-β/Smad4-индуцированном эпителиально-мезенхимальном переходе (ЭМП) и клеточной инвазии [6]. Установлено, что повышенная экспрессия miR-155 в NMG-клетках нарушает межклеточные взаимодействия и способствует клеточной инвазии и метастазированию за счет прямого ингибирования экспрессии гена RhoA (Ras homologous family, member A), регулирующего большое количество процессов, протекающих в клетках, включая клеточную адгезию, подвижность, поляриность, а также способность клеток образовывать прочные структуры между собой и их стабильность.

Существует точка зрения, что высокая экспрессия miR-155 ассоциирована с инвазивным РМЖ и не выявляется при неинвазивной карциноме молочной железы [7]. По данным ряда авторов, высокий уровень miR-155 коррелирует с экспрессией рецепторов Her-2/neu и стероидных гормонов, поражением регионарных лимфатических узлов, размером первичной опухоли, статусом РМЖ по белку p53, однако не установлена взаимосвязь между уровнем экспрессии miR-155 и стадией заболевания [8]. В то же время, по данным Kong с соавторами, высокая экспрессия miR-155 коррелирует со стадией опухолевого процесса, трижды-негативным РМЖ и плохим прогнозом [9].

Результаты исследований подтверждают, что повышение уровня экспрессии микроРНК miR-373 приводит к инвазии и миграции опухолевых клеток молочной железы *in vitro* и *in vivo*, но в тоже время не оказывает влияния на пролиферацию опухоли [10]. Выявлен уровень экспрессии miR-373, который выше в метастазах РМЖ, по сравнению с первичной опухолью. Установлено, что miR-373 регулирует экспрессию CD44 по принципу отрицательной обратной связи. Как отмечено авторами, экспрессия CD44 коррелирует с общей выживаемостью при РМЖ [11].

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования послужили операбельные пациентки, страдающие РМЖ II–III стадий, находившиеся на обследовании и лечении в ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова».

Материал для исследования – это образцы опухолевой ткани молочной железы, заключенной в парафиновые блоки. Пациентки включались в исследование после клинико-лабораторного, рентгенологического и эндоскопического обследования с обязательным морфологическим подтверждением диагноза. Всем пациенткам проводилось специальное противоопухолевое лечение с обязательным включением хирургического компонента.

Предметом исследования явилась экспрессия микроРНК miR-155, miR-21, miR-373, а также молекулярно-биологических прогностических факторов: маркера пролиферативной активности Ki-67, мутантного онкосупрессора 53, рецепторов эпидермального фактора роста Her-2/neu, эстрогенов и прогестерона.

По степени распространенности опухолевого процесса пациентки распределены следующим образом: ПА ст. диагностирована в 20,7 %, ПВ – 44,8 %, ПИА – 6,9 %, ПИВ – в 27,6 % случаев соответственно.

Возраст пациенток, включенных в исследование, варьировал от 32 до 63 лет, средний возраст составил 50,7±8,5 года.

У 70,4 % пациенток установлен умеренно дифференцированный рак, низкодифференцированный – у 29,6 % соответственно.

Люминальный А подтип РМЖ составил 37,98 %, люминальный В – 44,8 %, Her-2/neu+ – 10,3 %, базальный – 6,9 %.

Протоковая карцинома наблюдалась у 74 %, дольковая – 21,7 %, дольково-протоковая – у 4,3 % пациенток с РМЖ.

У пациенток, страдающих РМЖ, иммуногистохимическим (ИГХ) методом оценивали экспрессию рецепторов стероидных гормонов, Her-2/neu, индекса пролиферативной активности Ki-67, онкопротеина p53 согласно общепринятым методикам.

Оценка экспрессии тканевых антигенов с использованием ИГХ-анализа проводилась врачом-патологоанатомом. Анализ результатов исследования проводили с применением светового микроскопа при увеличении объектива ×10, ×20, ×40.

Уровень экспрессии онкопротеина Her-2/neu оценивали по интенсивности окрашивания мембраны и количеству окрашенных клеток, согласно общепринятым критериям (score 0, 1+, 2+, 3+): score 0 — полное отсутствие мембранного окрашивания или при окрашивании менее 10 % клеток; score 1+ — неполное окрашивание мембран у более 10 % клеток слабой интенсивности; score 2+ — полное окрашивание мембраны более 10 % клеток средней интенсивности; score 3+ — полное окрашивание мембраны более 10% клеток высокой интенсивности.

При оценке экспрессии Her-2/neu в 0,1+ балла — опухоль считалась отрицательной по Her-2/neu, в 3+ балла — положительной. При оценке исследуемого показателя в 2+ балла определяли уровень амплификации Her-2/neu методом флуоресцентной *in situ* гибридизации (FISH).

Опухоль считали позитивной по рецепторам стероидных гормонов при окрашивании ядер более 10 % клеток высокой интенсивности, слабопозитивной при неполном либо полном окрашивании ядер 1–10 % клеток любой интенсивности, отрицательной при окрашивании ядер менее 1 % клеток.

Пролиферативная активность опухолевых клеток оценивалась по ядерному окрашиванию более 10 % опухолевых клеток в области максимальной экспрессии маркера. Высокая пролиферативная активность опухоли соответствовала экспрессии Ki-67 в ≥20 % клеток, низкая экспрессия Ki-67 – в <20 % клеток.

Опухоль являлась положительной по p53 при окраске более 5 % ядер опухолевых клеток, причем слабо позитивной – при 6–30 %, умеренно позитивной – при 31–70 % и сильно позитивной – при 71–100 %.

Биологическим материалом для проведения молекулярно-генетических исследований явилась опухолевая ткань молочной железы, фиксированная формалином и заключенная в парафин. Определение уровня экспрессии панели микроРНК осуществлялось методом ПЦР в режиме реального времени.

Этапы метода: выделение общей фракции мРНК из образцов опухолевой ткани молочной железы; синтез двухцепочечной комплементарной дезоксирибонуклеиновой кислоты (кДНК) – реакция обратной

транскрипции (ОТ); амплификация в режиме реального времени фрагментов кДНК генов микроРНК, с использованием геноспецифичных олигонуклеотидных праймеров и анализ полученных результатов.

Выделение РНК их образцов опухолевой ткани проводили с использованием набора реагентов «miR-NeasyFFPEKit» (Qiagen, Германия) согласно инструкции производителя. Определение чистоты и концентрации выделенной общей фракции клеточной РНК проводили на спектрофотометре.

Для синтеза кДНК использовали набор «NCcode™ VILO™ miRNA cDNA Synthesis Kit» (Invitrogen, США).

Исследование экспрессии микроРНК miR-155, miR-373, miR-21 осуществляли с использованием набора реагентов EXPRESS SYBR® GreenER™ miRNA qRT-PCR Kits (Invitrogen, США).

Оценка уровня экспрессии микроРНК производилась с использованием метода  $2^{-\Delta\Delta C_p}$ . Для определения пороговых значений в экспрессии исследуемого спектра микроРНК использовали 20 образцов нормальной ткани молочной железы, забранных у пациенток, получивших хирургическое лечение по поводу доброкачественных заболеваний молочных желез.

Для определения экспрессии исследуемой панели микроРНК с помощью программы OriginPro v.8.1 получали значения максимума второй производной для каждого образца нормальной и опухолевой ткани молочной железы. Полученные численные значения обозначали как  $C_p$ .

Полимеразную цепную реакцию в режиме реального времени для выявления уровня экспрессии микроРНК проводили с использованием амплификатора 7300 Real Time PCR System фирмы «Applied Biosystems» (США).

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программного обеспечения SPSS (версия 21, США), STATISTICA (версия 10, США) и включала проверку нормальности распределения количественных показателей в выборке с использованием критерия Shapiro-Wilk. Количественные значения показателей не подчинялись нормальному закону распределения и описывались в виде медиано-квартильных характеристик: медианы, 25-го и 75-го перцентилей – Me (25–75 %). При изучении статистических различий исследуемых показателей использовали критерии Mann–Whitney и Kruskal–Wallis, для апостериорных сравнений применяли критерий Dunn. Сравнение категориальных переменных осуществляли посредством критериев Pearson's и Fisher–Freeman–Halton.

Анализ безрецидивной и скорректированной выживаемости проводился методом Kaplan–Meier, статистическая значимость полученных различий в выживаемости оценивалась при помощи теста Log-rank.

Во всех случаях различия считались статистически значимыми при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

В исследуемой группе пациенток эстроген-положительные опухоли диагностированы в 67,5 %, эстроген-отрицательные – в 32,5 % наблюдениях (рис. 1).

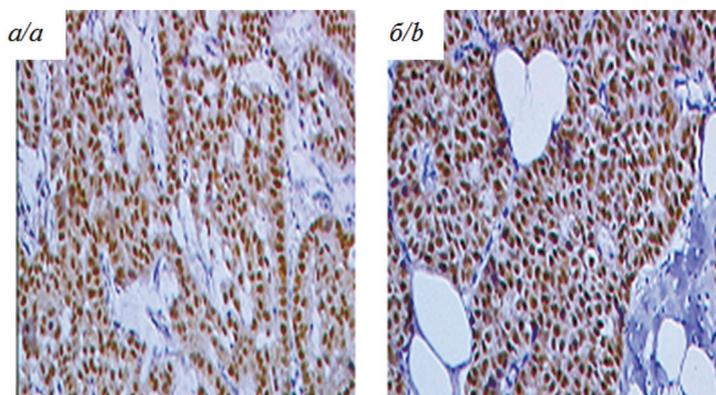


Рис. 1. Ядерная экспрессия рецепторов стероидных гормонов в опухолевых клетках при РМЖ  $\times 40$ :  
а – экспрессия рецепторов эстрогенов; б – экспрессия рецепторов прогестерона

Fig. 1. Nuclear expression of steroid hormone receptor sin tumor cells in breast cancer  $\times 40$ :  
a – expression of estrogen receptors; b – progesterone receptor expression

Положительный статус по рецепторам прогестерона в первичной опухоли отмечен у 58,3 %, у 41,7 % пациенток экспрессия рецепторов прогестерона отсутствовала.

Козэкспрессия гормональных рецепторов (РЭ+РП+), а также отсутствие их экспрессии (РЭ–РП–) диагностировано у 55,8 % и 32,5 % пациенток соответственно. Положительный статус опухоли по рецепторам эстрогенов и отрицательный по рецепторам прогестерона (РЭ+РП–) выявлен в 9,2 % наблюдениях.

Иммуногистохимический анализ экспрессии выявил положительный статус (score3+) опухоли по Her-2/neu у 32,5 % пациенток, отрицательный (score0, 1+) – 67,5 % (рис. 2).

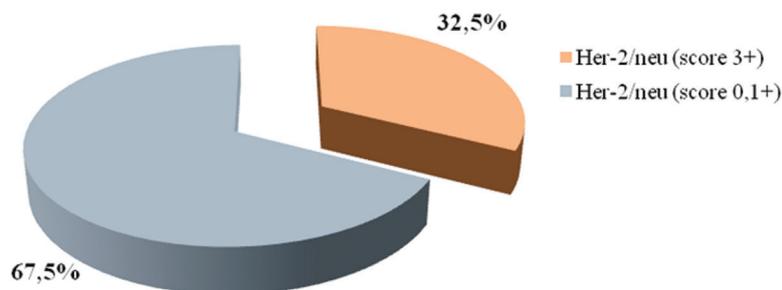


Рис. 2. Распределение пациенток в зависимости от статуса опухоли по Her-2/neu

Fig. 2. Distribution of patients depending on the status of the tumor by Her-2 / neu

Системный рецидив РМЖ установлен у 31,3 % пациенток, отсутствие возврата заболевания детектировано в 68,7 % случаях.

Высокая экспрессия белка пролиферативной активности опухоли (Ki-67  $\geq 20$  %) диагностирована у 59,5 %, низкая (Ki-67  $\leq 20$  %) – в 40,5 %.

Повышенный уровень экспрессии белка p53 выявлен у 43 % пациенток, при этом высокий (71–100 %) уровень экспрессии установлен в 11,5 % случаях, умеренный – в 16,2 %, низкий – в 14,9 % наблюдениях. Отрицательный ( $\leq 5$  %) статус опухоли по p53 установлен у 57 % пациенток, страдающих РМЖ.

Проведенный сравнительный анализ экспрессии тканевых антигенов в зависимости от гормонального статуса РМЖ показал преобладание высокой экспрессии Ki-67 у пациенток с отрицательным рецепторным статусом РМЖ ( $n = 41$ ; 78,9 %) ( $p_{\text{Pearson's } \chi^2} = 0,002$ ). В группе пациенток с наличием экспрессии рецепторов эстрогенов и прогестерона в опухоли высокий индекс пролиферативной активности Ki-67 установлен в 49,5 % случаях. У пациенток с эстроген-положительным и прогестерон-отрицательным РМЖ высокая экспрессия антигена диагностирована в 53,3 % наблюдениях.

Следует отметить, что характер экспрессии белка p53 не зависел от уровня экспрессии рецепторов стероидных гормонов в опухоли ( $p > 0,05$ ).

Анализ данных современной литературы показал, что взаимосвязь уровней экспрессии тканевых белков с клинико-морфологическими характеристиками РМЖ носит неоднозначный характер и требуют дальнейшего изучения.

В анализируемой группе пациенток, страдающих РМЖ, установлены aberrантные нарушения в экспрессии микроРНК miR-155 у 25,2 %, miR-21 – у 69,8 %, miR-373 – у 15,7 %.

У пациенток с РМЖ отмечен высокий уровень экспрессии (свыше 4,46 отн. ед.) онкогенной miR-155.

Аберрантная экспрессия miR-373 при РМЖ характеризовалась увеличением ее уровня в диапазоне от 6,15 отн. ед. до 35,9 отн. ед.

Оценка уровня экспрессии miR-21 при прогрессировании опухолевого процесса и/или развитии метастатического поражения при РМЖ имеет решающее клиническое значение для стратификации пациентов в группу неблагоприятного прогноза и персонализированной интенсификации лечения данной категории пациенток.

Результаты выполненного исследования свидетельствуют, что при повышенном значении ( $> 5,53$  отн. ед.) уровня экспрессии miR-21 у пациенток, страдающих РМЖ, отмечено развитие рецидива заболевания в раннем послеоперационном периоде и неблагоприятный прогноз в отношении выживаемости, а при пониженном значении ( $< 0,18$  отн. ед.) экспрессии данного маркера установлено увеличение общей выживаемости пациенток от 2 и более лет в раннем послеоперационном периоде.

Особо следует отметить, что повышенные уровни экспрессии miR-21 наиболее часто выявлялись при протоковой карциноме молочной железы с локальной распространенностью опухолевого процесса II стадии и умеренной или низкой степенью дифференцировки опухоли.

Анализ экспрессии онкогенных микроРНК в зависимости от возраста пациенток, стадии РМЖ, размера первичного очага, статуса регионарных лимфатических узлов, степени дифференцировки опухо-

ли, уровня экспрессии рецепторов стероидных гормонов не выявил статистически значимого различия между подгруппами ( $p > 0,05$ ).

Наряду с этим, выявлена ассоциация высокого уровня экспрессии miR-155 ( $p_{\text{Pearson's } \chi^2} = 0,009$ ) и miR-21 ( $p_{\text{Pearson's } \chi^2} = 0,006$ ) с Her-2/neu-положительными опухолями молочной железы (рис. 3).

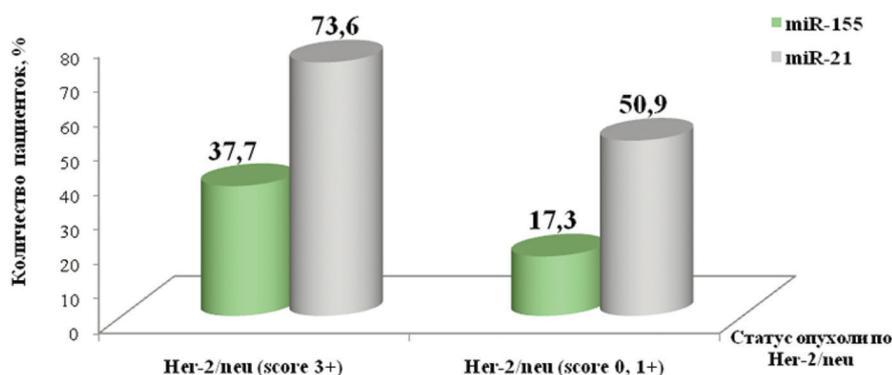


Рис. 3. Аберрантная экспрессия miR-21 и miR-155 в зависимости от статуса РМЖ по Her-2/neu

Fig. 3. Aberrant expression of miR-21 and miR-155 depending on the status of breast cancer by Her-2 / neu

Следует отметить, что уровень экспрессии miR-21 выше в группе пациенток с Her-2/neu-положительным статусом РМЖ, чем у пациенток с Her-2/neu-отрицательным РМЖ ( $p_{\text{Mann-Whitney}} = 0,006$ ).

Уровень экспрессия miR-155 при РМЖ с Her-2/neu-положительным статусом также выше, чем при Her-2/neu-отрицательных опухолях молочной железы ( $p_{\text{Mann-Whitney}} = 0,009$ ).

Проведенный углубленный анализ экспрессии тканевого антигена p53 и микроРНК miR-155, miR-373 установил высокий риск развития рецидива заболевания в раннем послеоперационном периоде (до 2 лет) со снижением безрецидивной выживаемости при наличии умеренной/низкой экспрессии miR-155, гиперэкспрессии miR-373 и p53 у пациенток, страдающих раком молочной железы.

Таким образом, анализ полученных результатов показал наличие значительных нарушений в системе онкогенных микроРНК miR-21, miR-155, miR-373 при РМЖ.

## Заключение

Таким образом, в результате исследования:

1. Аберрантные нарушения в системе микроРНК выявлены у 93,9 % пациенток, страдающих раком молочной железы. При раке молочной железы установлены высокие уровни экспрессии онкогенных микроРНК miR-21, miR-155, miR-373.

2. Высокие уровни экспрессии онкогенных микроРНК miR-21 ( $p_{\text{Pearson's } \chi^2} = 0,006$ ) и miR-155 ( $p_{\text{Pearson's } \chi^2} = 0,009$ ) преобладали при Her-2/neu-положительном раке молочной железы. Выявлена взаимосвязь высокой экспрессии антигена пролиферативной активности Ki-67 с отрицательным статусом РМЖ по рецепторам стероидных гормонов ( $p_{\chi^2} = 0,002$ ).

3. Высокий уровень экспрессии микроРНК miR-21 (свыше 5,53 отн. ед.) позволяет прогнозировать высокий агрессивный морфотип опухоли и высокий риск развития рецидива заболевания в раннем послеоперационном периоде (до 2 лет), что является независимым фактором неблагоприятного прогноза и снижение бессобытийной и общей выживаемости ( $p < 0,05$ ).

4. Установлено, что уровень экспрессии miR-155 ( $p = 0,015$ ), miR-373 ( $p < 0,001$ ) и белка-регулятора клеточного цикла p53 ( $p < 0,001$ ) являются независимыми прогностическими факторами при оценке риска рецидива заболевания у пациенток, страдающих РМЖ.

## Библиографические ссылки

1. Океанов А. Е., Моисеев П. И., Левин Л. Ф. Статистика онкологических заболеваний в Республике Беларусь (2006–2015). Минск, 2016.
2. Кулигина Е. Ш. Эпидемиологические и молекулярные аспекты рака молочной железы // Практическая онкология. 2010. Т. 11, № 4. С. 203–216.
3. Joensuu H., Isola J., Lundin M., et al. Amplification of erbB2 and erbB2 expression are superior to estrogen receptor status as risk factors for distant recurrence in pT1N0M0 breast cancer // Clin. Cancer Res. 2003. Vol. 9. P. 923–930.
4. Bombonati A., Sgroi D. C. The molecular pathology of breast cancer progression // J. Pathol. 2011. Vol. 223. P. 307–317.

5. Piva R., Spandidos D. A., Gambari R. From microRNA functions to microRNA therapeutics: Novel targets and novel drugs in breast cancer research and treatment (Review) // *International Journal of Oncology*. 2013. Vol. 43. P. 985–994.
6. Enders K. O. Ng., Chris L. P. Wong, Edmond S. K. Ma, et al. MicroRNAs as new players for diagnosis, prognosis, and therapeutic targets in breast cancer // *Journal of Oncology*. 2009. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19644558> (date of access: 16.02.2017).
7. Wang Wei, Luo Yun-ping MicroRNAs in breast cancer: oncogene and tumor suppressors with clinical potential // *Biomed & Biotech*. 2015. Vol. 16, № 1. P. 18–31.
8. Sayed D. Abdellatif M. MicroRNAs in development and disease // *Physiol. Rev*. 2011. Vol. 91. P. 827–887.
9. Hui Zeng, Cheng Fang, Seungyoon Nam, et al. The clinicopathological significance of microRNA-155 in breast cancer: a meta-analysis // *BioMed Research International*. 2014. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4137503> (date of access: 16.02.2017).
10. Eleni van Schooneveld, Hans Wildiers, Ignace Vergote, et al. Dysregulation of microRNAs in breast cancer and their potential role as prognostic and predictive biomarkers in patient management // *Breast Cancer Research*. 2015. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25849621> (date of access: 16.02.2017).
11. Clark G. M. G., Allred D. C., Hilsenbeck S. G., et al. Mitosin (a new proliferation marker) correlates with clinical outcome in node-negative breast cancer // *Cancer Res*. 1997. Vol. 57. P. 5505–5508.

## References

1. Okeanov A. E., Moiseev P. I., Levin L. F. [Statistics of oncological diseases in the Republic of Belarus (2006–2015)]. Minsk, 2016 (in Russ.).
2. Kuligina E. Sh. [Epidemiological and molecular aspects of breast cancer] *Practical oncology*. 2010. Vol. 11, No. 4. P. 203–216 (in Russ.).
3. Joensuu H., Isola J., Lundin M., et al. Amplification of erbB2 and erbB2 expression are superior to estrogen receptor status as risk factors for distant recurrence in pT1N0M0 breast cancer. *Clin. Cancer Res*. 2003. Vol. 9. P. 923–930.
4. Bombonati A., Sgroi D. C. The molecular pathology of breast cancer progression. *J. Pathol*. 2011. Vol. 223. P. 307–317.
5. Piva R., Spandidos D. A., Gambari R. From microRNA functions to microRNA therapeutics: Novel targets and novel drugs in breast cancer research and treatment (Review). *International J. of Oncology*. 2013. Vol. 43. P. 985–994.
6. Enders K. O. Ng., Chris L. P. Wong, Edmond S. K. Ma, et al. MicroRNAs as new players for diagnosis, prognosis, and therapeutic targets in breast cancer. *J. of Oncology*. 2009. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19644558> (date of access: 16.02.2017).
7. Wang Wei, Luo Yun-ping MicroRNAs in breast cancer: oncogene and tumor suppressors with clinical potential. *Biomed & Biotech*. 2015. Vol. 16, No. 1. P. 18–31.
8. Sayed D. Abdellatif M. MicroRNAs in development and disease. *Physiol. Rev*. 2011. Vol. 91. P. 827–887.
9. Hui Zeng, Cheng Fang, Seungyoon Nam, et al. The clinicopathological significance of microRNA-155 in breast cancer: a meta-analysis. *Bio Med Research International*. 2014. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4137503> (date of access: 16.02.2017).
10. Eleni van Schooneveld, Hans Wildiers, Ignace Vergote, et al. Dysregulation of microRNAs in breast cancer and their potential role as prognostic and predictive biomarkers in patient management. *Breast Cancer Research*. 2015. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25849621> (date of access: 16.02.2017).
11. Clark G. M. G., Allred D. C., Hilsenbeck S. G., et al. Mitosin (a new proliferation marker) correlates with clinical outcome in node-negative breast cancer. *Cancer Res*. 1997. Vol. 57. P. 5505–5508.

Статья поступила в редколлегию 26.06.2018  
Received by editorial board 26.06.2018

---

---

# ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

---

## INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

---

---

УДК 504.064.36:550.53(476)

### ФОРМИРОВАНИЕ ПЕДОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С. Е. ГОЛОВАТЫЙ<sup>1)</sup>, С. В. САВЧЕНКО<sup>2)</sup>, Е. А. САМУСИК<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь

<sup>2)</sup>Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,  
ул. Скорины, 10, 220114, Минск, Беларусь

На промплощадках и в зонах влияния промышленных предприятий формируются устойчивые педогео-химические аномалии, состав и контрастность которых зависят от характера производственных процессов. На территории предприятия машиностроительной отрасли педогеохимическая аномалия представлена медью и цинком, в меньшей степени никелем, хромом и свинцом. На заводе по производству цемента аномалия состоит из наличия в почвах цинка, свинца и кадмия. На предприятии, специализирующемся на литье чугуна и стали, в состав педогеохимической аномалии входят медь, цинк, хром, а также свинец, никель и мышьяк. Внутри данных аномалий выделяются ограниченные по площади ореолы загрязнения почв с более высоким содержанием и более широкой ассоциацией элементов-загрязнителей.

---

#### Образец цитирования:

Головатый С. Е., Савченко С. В., Самусик Е. А. Формирование педогеохимических аномалий в зонах воздействия промышленных предприятий // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 94–103.

#### For citation:

Golovaty S. E., Savchenko S. V., Samusik E. A. Formation of pedogeochemical anomalies in zones impacts of industrial enterprises. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 94–103 (in Russ.).

---

#### Авторы:

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

**Светлана Валентиновна Савченко** – кандидат геолого-минералогических наук; ведущий научный сотрудник.

**Елена Андреевна Самусик** – аспирант кафедры экологического мониторинга и менеджмента.

#### Authors:

**Sergey E. Golovaty**, doctor sciences (agriculture), professor; head of the department of environmental monitoring and management.

*sscience@yandex.ru*

**Svetlana V. Savchenko**, PhD (geological and mineralogical); leading researcher.

*svscience@rambler.ru*

**Elena A. Samusik**, graduate student of the department of environmental monitoring and management.

*e.samusik@mail.ru*

---

**Ключевые слова:** педогеохимическая аномалия; поллютанты; валовое содержание тяжелых металлов; промышленное предприятие; ассоциация элементов-загрязнителей.

## FORMATION OF PEDOGEOCHEMICAL ANOMALIES IN ZONES IMPACTS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

*S. E. GOLOVATY<sup>a</sup>, S. V. SAVCHENKO<sup>b</sup>, E. A. SAMUSIK<sup>a</sup>*

*<sup>a</sup>Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus*

*<sup>b</sup>Institute of Environmental Management of National Academy of Sciences of Belarus,  
Skorina street, 10, 220114, Minsk, Belarus*

*Corresponding author: S. E. Golovaty (sscience@yandex.ru)*

On industrial sites and in the zones of influence of industrial enterprises, stable pedogeochemical anomalies are formed, the composition and contrast of which depend on the nature of production processes. On the territory of the machine-building industry, the pedogeochemical anomaly is represented by copper and zinc, to a lesser extent by nickel, chromium and lead. In the soils of the cement plant, the anomaly consists of zinc, lead and cadmium. At the enterprise specializing in cast iron and steel casting, the composition of the pedogeochemical anomaly includes copper, zinc, chromium, and also lead, nickel and arsenic. Within these anomalies, there are limited areas of halo contamination of soil with a higher content and a wider association of pollutant elements.

**Key words:** pedogeochemical anomaly; pollutants; gross content of heavy metals; industrial enterprise; association of pollutant elements.

### Введение

Специфика промышленного производства способствует поступлению в окружающую среду широкого спектра химических веществ техногенного происхождения: тяжелых металлов, нефтепродуктов, ПАУ, ПХБ и др., которые накапливаются в почвах как на близлежащих к источнику загрязнения участках, так и отдаленных территориях. В частности, в почвах городов, в связи с наличием в их пределах значительного количества промышленных предприятий, идет интенсивное накопление тяжелых металлов, среднее содержание которых, рассчитанное за десятилетний период, превышает фоновые значения для цинка – в 3,3 раза, свинца – 2,4, меди – 1,7, никеля – в 1,4 раза [9].

Наибольшее накопление тяжелых металлов приурочено к зонам импактного воздействия, формирующихся на территориях около промышленных объектов, где в результате значительных потоков поллютантов и их концентрации в почвах происходит формирование положительных педогеохимических аномалий различной площади и элементного состава. Характер аномалий зависят от особенностей технологических процессов, используемого сырья, выпускаемой на предприятии продукции, а также от физических и химических характеристик почв. На формирование аномалий влияют также свойства самих элементов, их объем и интенсивность привноса в почвы.

Поступление тяжелых металлов в окружающую среду в составе выбросов, сбросов, сырья или отходов происходит преимущественно в виде газов, аэрозолей или в составе сточных вод. Так, согласно [3; 13], в пыли чугунолитейного и электрометаллургического производства содержание кадмия достигает 1,04 и 182 мг/кг, свинца 332 и 2030–23 200, меди – 306 и 183–2064, никеля – 54,2 и 340, цинка – 1977 и 112 400 мг/кг соответственно, что в сотни и тысячи раз превышает нормативы для почв.

В пыли цементного производства содержание данных поллютантов также высокое – от 0,21 до 219,1 мг/кг – кадмия, 642–3728,9 – свинца, 160–690,5 – цинка, от 31 до 1151 мг/кг – меди. При этом удельные выбросы на различных стадиях производственного процесса и при различных системах очистки составляют для кадмия – от 0,005 до 0,16 г/т, свинца – 0,62 до 8,7, ртути – 0,004–0,02, меди – 7,5–9,29, цинка – от 1,16 до 17,7 г/т.

С основным сырьем (глиной, мелом) в процесс производства цемента может поступать до 7,1–7,6 % меди, 8,8–15,0 – цинка, 28,3–44,0 – кадмия, 10,2–12,2 % – свинца, с пиритными огарками 92,1–93,0 % меди, 84,6–91,0 – цинка, 55,5–67,0 – кадмия, 87,6–89,6 – свинца, 49,6–55,9 % – ртути [3].

В отходах машиностроительного производства и строительном мусоре концентрации кадмия составляют 0,19 и 1,34 мг/кг, свинца – 16,5 и 22,9, меди – 31,8 и 43,6, никеля – 13,0 и 14,9, цинка – 110,7 и 122,4, хрома – 65,5 и 1127 мг/кг соответственно [3].

Таким образом, на территории и в зоне влияния промышленных объектов существуют условия для формирования локальных геохимических аномалий, которые представляют собой источники, объединенные одним территориальным выделом: территорией предприятия, ореолом загрязнения, состоящих из различных по площади и контрастности более мелких аномалий с индивидуальным набором элементов-загрязнителей, обусловленных точечными источниками загрязнения.

### Объекты и методы исследований

Изучение педогеохимических аномалий проводилось на территории различных по специализации промышленных объектов (предприятие по производству цемента, предприятие по производству машин и оборудованию и литейное производство) и в зоне их влияния. При обследовании промплощадок учитывалась площадь свободной от застройки территории, ее функциональное использование, местоположение по отношению к источникам загрязнения, возможные пути поступления и миграции тяжелых металлов и предполагаемые участки их аккумуляции.

В основу работы положены результаты определения в почвах рН и валового содержания кадмия, цинка, свинца, меди, никеля, хрома и мышьяка. Процедура извлечения валовых форм химических элементов из почвенных образцов проводилась методом химического экстрагирования сильными кислотами ( $\text{HF} + \text{HClO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{HCl}$ ) с последующим определением металлов на атомно-абсорбционном спектрофотометре.

Определение показателя рН производилось путем извлечения обменных катионов из почвы 1Н раствором хлористого калия при соотношении почвы и раствора 1:2,5 и последующем потенциометрическом определении рН с использованием стеклянного электрода.

Накопление в почвах химических веществ оценивалось по их относительной распространенности с использованием коэффициента концентрации ( $K_c$ ), который представляет собой отношение установленной фактической концентрации элемента или показателя к его фоновому содержанию.

В качестве фона использовались данные по концентрации химических веществ на фоновых территориях, полученные при наблюдениях за химическим загрязнением земель в рамках НСМОС [9], для хрома и мышьяка – согласно [11].

На основе  $K_c$  рассчитывался суммарный коэффициент загрязнения ( $Z_c$ ), позволяющий оценить степень загрязнения почв и контрастность образовавшейся в них педогеохимической аномалии [12]. В классическом варианте формула расчета  $Z_c$  имеет вид:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

где  $n$  – число учитываемых аномальных элементов.

На основе  $Z_c$  проводится классификация земель по категориям в зависимости от степени опасности загрязнения почв: допустимое ( $Z_c < 16$ ), умеренно опасное ( $Z_c = 16-32$ ), опасное ( $Z_c = 32-128$ ), чрезвычайно опасное ( $Z_c > 128$ ) [5].

Дополнительно проводилось сравнение содержания элементов в почвах с санитарно-гигиеническими нормативами (ПДК (ОДК)) [1].

### Результаты исследований и их обсуждение

Изучение возможности формирования на территории предприятия машиностроительной отрасли педогеохимических аномалий базировалось на комплексных исследованиях почв, в том числе их кислотно-щелочных условий, с которыми связаны процессы образования и устойчивости комплексных соединений металлов, условия их миграции и аккумуляции в почвенном покрове.

Как показала оценка показателя рН, на территории промплощадки сформировалась педогеохимическая аномалия со слабощелочными условиями почвенной среды, которая для верхних горизонтов почв по показателю рН в среднем равна 7,35. На отдельных локальных участках встречаются ореолы со слабокислой реакцией почвенного раствора. В нижележащих горизонтах слабощелочная реакция почв сохранилась (рН 7,52), что свидетельствует о радиальном распространении педогеохимической аномалии. Такое подщелачивание почв, согласно [2; 9; 14], является характерным для городских территорий, подвергающихся воздействию значительного количества различных источников загрязнения.

Оценка почв на территории предприятия машиностроительной отрасли свидетельствует, что средняя для почв промплощадки валовая концентрация кадмия в верхнем горизонте почв составляет 0,5 мг/кг с минимальным значением, равным 0,1 мг/кг, максимальным – 1,6 мг/кг, цинка – 414,2 мг/кг,

68,4 и 947,0 мг/кг, свинца – 34,2 мг/кг, 10,9 и 61,5 мг/кг, меди – 192,0 мг/кг, 25,4 и 774,0 мг/кг, никеля – 48,7 мг/кг, 12,1 и 112,1 мг/кг, хрома – 388,4 мг/кг, 23,1 и 915,0 мг/кг и мышьяка – 4,6 мг/кг, 0,3 и 7,1 мг/кг соответственно. По сравнению со средним многолетним значением, рассчитанным для почв городских территорий, почвы предприятия обогащены медью в 24,6 раза, цинком – 10,3, никелем – 9,5, свинцом – 2,7 и кадмием в 1,7 раза, что подтверждает значительную техногенную нагрузку на почвы со стороны промышленных объектов.

Сравнение валового содержания тяжелых металлов в почвах промлощадки с их фоновыми концентрациями (в качестве фоновых концентраций использовались данные наблюдений за химическим загрязнением земель на фоновых территориях НСМОС за 2015 г.) позволяет констатировать наличие на территории предприятия площадной положительной высококонтрастной педогеохимической аномалии, состоящей из широкой ассоциации элементов, которая образует следующий ряд:  $Cu_{41,7}-Zn_{33,7}-Ni_{13,2}-Cr_{10,8}-Pb_{6,3}-As_{3,1}-Cd_{1,9}$ . По коэффициенту концентрации  $Z_c=104,7$  промлощадка относится к территориям с опасным уровнем загрязнения почв, что требует постоянного контроля за ее эколого-геохимическим состоянием.

Оценка данной педогеохимической аномалии с использованием гигиенических нормативов, определяющих опасность загрязнения почв для биоты и человека, подтвердила ее наличие, при этом аномалия, рассчитанная с использованием ПДК (ОДК), имеет следующий вид:  $Zn_{7,5}-Cu_{5,8}-Cr_{3,9}-Ni_{2,4}$ .

Внутри данной аномалии выделяются ограниченные по площади ореолы загрязнения почв с более высоким содержанием поллютантов, приуроченные к локальным источникам поступления загрязняющих веществ, расположенным на территории данного промышленного объекта. В состав каждого ореола в качестве основных металлов-загрязнителей почв входят медь и цинк, содержание которых в разы и десятки раз превышает концентрации других элементов (табл. 1).

Таблица 1

**Локальные педогеохимические аномалии на территории предприятия по производству машин и оборудования**

Table 1

**Local pedo geochemical anomalies in the territory of the enterprise for the production of machinery and equipment**

Местоположение аномалии	Ассоциация элементов-загрязнителей
Территория в зоне воздействия цеха по производству дизельных корпусов и энергоцеха	$Cu_{168,3}-Zn_{77,0}-Cr_{22,3}-Ni_{13,2}-Pb_{10,4}-Cd_{3,8}-As_{3,7}$
Газон в зоне воздействия котельной	$Zn_{74,3}-Cu_{53,7}-Pb_{11,4}-Ni_{10,1}-Cd_{6,2}-Cr_{5,5}-As_{3,1}$
Газон в зоне воздействия станции регенерации масел и железно-дорожных путей	$Zn_{28,7}-Cu_{21,9}-Ni_{9,3}-Pb_{6,3}-Cr_{4,2}-Cd_{2,3}-As_{1,9}$
Территория в зоне воздействия механического цеха	$Cu_{42,9}-Zn_{39,5}-Ni_{30,3}-Cr_{20,5}-Pb_{5,1}-As_{4,7}-Cd_{3,8}$

Приоритетность остальных поллютантов индивидуальна на каждом участке исследований и обусловлена характером источника загрязнения. По суммарному коэффициенту загрязнения  $Z_c$ , равному от 97,7 до 292,7, данные участки относятся к территориям с опасным и чрезвычайно опасным уровнем загрязнения земель.

Наиболее высококонтрастная педогеохимическая аномалия с  $Z_c=292,7$ , в составе которой преобладают медь и цинк, в меньшем количестве – хром, свинец и никель, а также кадмий и мышьяк, сформировалась в зоне воздействия нескольких источников загрязнения. Содержание элементов здесь значительно выше фоновых значений – от 3,7 раза для мышьяка до 168,3 раза – для меди.

По сравнению с почвами промлощадки, концентрация меди в почвах данного ореола загрязнения выше в 4,0 раза, цинка – 2,3, хрома – 2,1, кадмия – 2,0, свинца – 1,6 и мышьяка – 1,2 раза. Значение никеля аналогично среднему, рассчитанному для почв территории промышленного объекта.

Менее контрастная аномалия с преобладанием меди, цинка, никеля и хрома с  $Z_c = 140,8$ , выявлена на участке около механического цеха, складов и химчистки. Содержание металлов на данном участке выше фона от 3,8 раза для кадмия до 42,9 раза – для меди. В то же время, по сравнению со средними значениями, рассчитанными для почв территории предприятия, здесь наблюдаются повышенные концентрации только отдельных элементов: никеля – 2,3 раза, кадмия – 2,0, хрома – в 1,9 раза, мышьяка – 1,5 и цинка в 1,2 раза.

В перечень приоритетных загрязняющих веществ, характерных для других ореолов загрязнения, сформировавшихся на промплощадке, входят медь, цинк, свинец и никель. Содержание хрома, кадмия и мышьяка в них незначительное.

С глубиной педогеохимическая аномалия, сформировавшаяся на территории предприятия, сохраняется, однако ее контрастность и микроэлементный состав уменьшается, что подтверждает техногенный характер ее происхождения, не связанный с составом почв и почвообразующих пород.

Оценка корреляционной зависимости между содержанием в педогеохимической аномалии изученных металлов выявила тесную корреляционную связь между цинком и кадмием с коэффициентом корреляции  $r = 0,91$ , цинка с медью и свинцом, а также свинца и кадмия, хрома и никеля с  $r = 0,79–0,87$  (рис. 1). Средняя корреляционная зависимость ( $+0,5 < r < +0,7$ ) отмечена для меди с кадмием, свинцом и хромом, а также для хрома и цинка, что подтверждает техногенную природу сформировавшихся в почвах аномалий.

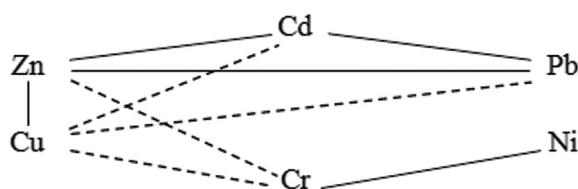


Рис. 1. Ассоциация элементов-загрязнителей в почвах на территории предприятия по производству машин и оборудования (сплошная линия –  $r > 0,7$ , штриховая линия –  $0,5 < r < 0,7$ ).

Fig. 1. Association of pollutant elements in soils on the territory of the enterprise for the production of machinery and equipment (solid line –  $r > 0.7$ , dashed line –  $0.5 < r < 0.7$ )

На удалении от источников загрязнения, расположенных на промплощадке предприятия, содержание тяжелых металлов в почвах снижается, поэтому сформировавшаяся в периферийной зоне педогеохимическая аномалия состоит из следующей последовательности:  $Zn_{4,6}–Ni_{2,3}–Cu_{2,5}–Pb_{2,0}–As_{1,7}$ . При этом, в отличие от промплощадки предприятия, с глубиной контрастность аномалии увеличивается. Сравнение фактического содержания металлов с санитарно-гигиеническими нормативами свидетельствует о наличии на данном участке аномального количества мышьяка –  $As_{1,25}$ .

Исследования почв в зоне воздействия цементного завода показали, что химический состав образующихся там отходов и выбросов существенно влияет на содержание в почвах тяжелых металлов и кислотно-щелочные характеристики почв, определяющие условия аккумуляции и рассеивания химических элементов в почвенном покрове.

В связи с интенсивным подщелачиванием земель, обусловленным цементным производством, на территории промплощадки предприятия сформировалась устойчивая педогеохимическая аномалия, характеризующаяся повышенной щелочностью почв: показатель pH здесь в верхнем горизонте составляет в среднем 8,30 с разбросом значений от pH 8,00 до 8,62. По кислотно-щелочным условиям почвы на большей части территории относятся к среднещелочным, на двух территориально ограниченных участках – к сильнощелочным [10]. На некотором удалении от источников выбросов цементной пыли встречаются участки с нейтральной реакцией почвенного раствора. Аналогичное подщелачивание почв характерно в целом для городских территорий, однако в большинстве случаев городские почвы являются нейтральными или слабощелочными с pH не более 7,5 [2].

В нижележащих горизонтах кислотно-щелочные условия почв и характер аномалии изменяются незначительно, за исключением отдельных участков, где почвы из слабощелочных переходят в группу слабокислых с pH 5,45, что более характерно для естественных, чем для антропогенно-трансформированных почв [6].

Исследования валового содержания тяжелых металлов в почвах промплощадки предприятия по производству цемента свидетельствуют, что средняя концентрация кадмия в верхнем горизонте почв составляет 0,9 мг/кг с разбросом значений от 0,1 до 2,4 мг/кг, цинка – 147,2 мг/кг, 21,1 и 424,0 мг/кг, свинца – 26,7 мг/кг, 9,0 и 65,3 мг/кг, меди – 7,0 мг/кг, 2,0 и 12,1 мг/кг, никеля – 7,2 мг/кг, 4,3 и 9,9 мг/кг, хрома – 17,9 мг/кг, 10,6 и 25,1 мг/кг и мышьяка – 11,2 мг/кг, 4,4 и 36,0 мг/кг соответственно. По сравнению с почвами городов, на территории предприятия почвы имеют повышенное содержание цинка – в 3,7 раза, кадмия – 3,1, свинца – 2,1 и никеля – в 1,4 раза, что значительно ниже, чем на предприятии по производству машин и оборудования.

Сравнение концентраций валовых форм металлов в почвах с фоновыми значениями свидетельствует о наличии на территории предприятия площадной положительной педогеохимической аномалии, состоящей из трех элементов:  $Zn_{12,0}-Pb_{4,9}-Cd_{3,5}$ . По коэффициенту концентрации  $Z_c=18,4$  промплощадка относится к территориям с умеренно опасным уровнем загрязнения почв, что не является критическим для промышленных территорий.

Сравнение средних концентраций элементов в почвах промплощадки с гигиеническими нормативами также позволяет констатировать наличие на территории предприятия аномалии, состоящей из кадмия, цинка и мышьяка:  $Zn_{2,7}-Cd_{1,8}-As_{1,1}$ . При этом ее контрастность ниже, чем при оценке загрязнения земель с использованием фоновых значений.

Внутри данной аномалии, преимущественно в центре, выделяются локальные ореолы загрязнения с более высоким содержанием и более широкой ассоциацией поллютантов, чем на территории промплощадки в целом. При этом состав аномалий существенно различается и зависит от характера источников загрязнения (табл. 2).

Таблица 2

Локальные педогеохимические аномалии на территории предприятия по производству цемента

Table 2

Local pedo geochemical anomalies on the territory of a cement production plant

Местоположение аномалии	Ассоциация элементов-загрязнителей
Территория в зоне воздействия отделения мела и помола угля	$Zn_{34,5}-Pb_{12,1}-Cd_{9,2}-As_{5,5}-Ni_{2,6}-Cu_{2,5}$
Газон в зоне воздействия цеха помола цемента	$Zn_{21,2}-Pb_{7,4}-Cd_{6,9}-As_{6,8}-Ni_{2,7}-Cu_{2,6}$
Территория в зоне воздействия газораспределительной станции	$As_{24,0}-Zn_{20,7}-Pb_{9,0}-Cd_{8,1}-Ni_{2,2}-Cu_{2,1}$
Территория в зоне воздействия участка силоса и железнодорожных путей	$Zn_{14,2}-As_{6,6}-Pb_{4,4}-Cd_{2,7}-Ni_{2,4}-Cu_{1,9}$

Наиболее контрастный ореол загрязнения с преобладанием в составе мышьяка и цинка с  $Z_c = 105,8$  сформировался на участке в зоне воздействия газораспределительной станции. Содержание металлов здесь превышает фоновые концентрации от 2,1 раза для меди до 24,0 раза – для мышьяка. По суммарному коэффициенту загрязнения данный участок относится к территориям с опасным загрязнением почв в отличие от почв промплощадки в целом, уровень загрязнения которых классифицируется как умеренно опасный.

Концентрации мышьяка на данном участке в 3,2 раза, кадмия – 2,3, свинца – 1,8, цинка – 1,7, меди – 1,4 раза выше, чем в среднем на территории завода. Содержание хрома и никеля сопоставимо с их концентрацией в почвах предприятия в целом.

Идентичная по составу, но менее контрастная по загрязнению, территория с  $Z_c = 27,2$  околнута в зоне воздействия участка силоса и железнодорожных путей, где содержания поллютантов превышают фон от 1,9 до 14,2 раза. По суммарному коэффициенту загрязнения она относится к категории с умеренно опасным загрязнением почв.

Совершенно иная по компонентному составу аномалия с  $Z_c = 61,4$  выявлена в зоне воздействия нескольких источников поступления в почвы загрязняющих веществ (отделения мела и помола угля). Она представлена широким перечнем элементов-загрязнителей, приоритетным из которых является цинк, в меньшей степени – свинец, кадмий, мышьяк, никель и медь. Содержание металлов здесь превышает фоновые значения – от 2,5 раза для меди до 34,5 раза – для цинка.

По сравнению со средними значениями, рассчитанными для почв территории предприятия, здесь наблюдаются повышенные концентрации цинка – в 2,9 раза, кадмия – 2,7, свинца – 2,4, меди – 1,6, хрома – 1,4 и никеля – в 1,3 раза. Концентрации мышьяка ниже, чем на территории завода.

Аналогичный состав педогеохимической аномалии с  $Z_c = 42,6$  имеет участок в зоне воздействия цеха помола цемента, где содержание металлов превышает фон от 2,6 раз для меди до 21,2 раз – для цинка. По сравнению со средними концентрациями для почв завода, здесь отмечается накопление цинка – в 1,8 раза, кадмия – 2,0, меди – 1,7, свинца – 1,5, хрома и никеля – в 1,4 раза. Концентрации мышьяка, как и на предыдущем участке, ниже, чем в среднем в почвах промплощадки.

С глубиной контрастность, площадь и химический состав аномалии, сформировавшейся на территории предприятия, снижается, что подтверждает ее техногенное происхождение, не связанное с естественными процессами почвообразования.

Оценка корреляционной зависимости между валовым содержанием изученных элементов подтвердила тесную корреляционную связь между свинцом, цинком и кадмием с коэффициентом корреляции  $r = 0,95-0,98$ , а также медью и никелем с  $r = 0,90$  (рис. 2). Средняя корреляционная зависимость ( $+0,5 < r < +0,7$ ) характерна для меди с кадмием, свинцом, цинком и хромом, а также для хрома и никеля. Это подтверждает взаимосвязь между поступлением металлов в почву и их аэротехногенным привносом, обусловленным наличием на предприятии по производству цемента значительного количества источников загрязнения.

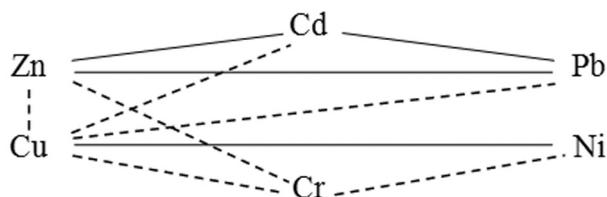


Рис. 2. Ассоциация элементов-загрязнителей в почвах на территории предприятия по производству цемента

Fig. 2. Association of pollutant elements in soils on the territory of a cement production plant

На удалении от промплощадки завода содержание валовых форм тяжелых металлов в верхнем слое почв снижается, за исключением мышьяка, в связи с чем сформировавшаяся здесь педогеохимическая аномалия представлена следующим рядом:  $As_{9,4}-Pb_{4,7}-Zn_{2,3}-Ni_{1,4}$ . Сравнение концентрации элементов с гигиеническими нормативами выявила на данной территории моноэлементную аномалию, представленную мышьяком.

Источником загрязнения почв тяжелыми металлами на предприятиях, специализирующихся на литье чугуна и стали, может являться пыль чугунолитейного и электрометаллургического производства, котельные установки, склад горюче-смазочных материалов, железнодорожный и автомобильный транспорт.

Как и на других исследованных промплощадках, кислотность почв территории, попадающей в зону воздействия литейного производства, крайне низкая и составляет в среднем 7,51 с разбросом значений от pH 6,74 до 8,14, что характеризует реакцию почвенной среды от нейтральной до среднещелочной [10].

Как показала оценка микроэлементного состава почвенного покрова в пределах промплощадки предприятия, здесь фиксируется интенсивное накопление широкого спектра загрязняющих веществ. Разброс значений кадмия в верхнем слое почв составил от 0,1 мг/кг до 2,4 мг/кг со средним значением, равным 0,3 мг/кг. Для цинка данные показатели достигают 38,8 мг/кг, 1208,5 и 146,7 мг/кг соответственно, свинца – 9,6 мг/кг, 218,2 и 36,2 мг/кг, меди – 9,0 мг/кг, 218,2 и 69,7 мг/кг, никеля – 3,8 мг/кг, 50,0 и 14,2 мг/кг, хрома – 54,0 мг/кг, 1332,0 и 361,6 мг/кг и мышьяка – 0,8 мг/кг, 9,3 и 3,5 мг/кг соответственно. По сравнению с городской территорией почвы промплощадки предприятия обогащены медью в 8,9 раза, цинком – 3,6, никелем и свинцом – в 2,8 раза. Содержание кадмия находится на уровне концентраций данного элемента в городских почвах.

Сравнение валового содержания изученных поллютантов в почвах с фоновыми величинами свидетельствует о наличии на промплощадке литейного завода среднеконтрастной педогеохимической аномалии с  $Z_c = 44,9$ , состоящей из следующего ряда элементов:  $Cu_{15,2}-Zn_{11,9}-Cr_{10,0}-Pb_{6,7}-Ni_{3,8}-As_{2,3}$ . По суммарному коэффициенту загрязнения земли предприятия относится к территориям с опасным уровнем загрязнением почв.

Если оценивать загрязнение почв промплощадки с использованием санитарно-гигиенических нормативов, то контрастность и микроэлементный состав аномалии, как и на других промышленных предприятиях, несколько снижается:  $Cr_{3,6}-Zn_{2,7}-Cu_{2,1}$ .

Более контрастные, ограниченные по площади, ореолы повышенного содержания поллютантов формируются в зоне воздействия конкретного источника загрязнения, при этом содержание и перечень входящих в них металлов выше, чем в целом на территории предприятия (табл. 3).

Локальные педогеохимические аномалии на территории литейного производства

Table 3

Local pedo geochemical anomalies in the foundry

Местоположение аномалии	Ассоциация элементов-загрязнителей
Газоны в зоне воздействия литейного цеха	Zn <sub>98,3</sub> -Cu <sub>43,8</sub> -Pb <sub>40,1</sub> -Cr <sub>16,9</sub> -Ni <sub>13,5</sub> -Cd <sub>9,2</sub> -As <sub>6,2</sub>
	Cu <sub>47,4</sub> -Cr <sub>37,0</sub> -Zn <sub>14,5</sub> -Pb <sub>4,7</sub> -Ni <sub>3,1</sub> -As <sub>1,8</sub> -Cd <sub>1,2</sub>
Газон в зоне воздействия литейного цеха, цеха шихты и формовочных материалов	Cu <sub>30,0</sub> -Cr <sub>19,2</sub> -Zn <sub>14,2</sub> -Pb <sub>6,7</sub> -Cd <sub>4,2</sub> -Ni <sub>3,8</sub> -As <sub>1,6</sub>
Территория в зоне воздействия скрапоразделочного цеха	Pb <sub>21,0</sub> -Cr <sub>20,3</sub> -Cu <sub>16,4</sub> -Zn <sub>13,7</sub> -Ni <sub>6,1</sub> -As <sub>2,2</sub> -Cd <sub>1,9</sub>
Территория в зоне воздействия гаражей	Cu <sub>25,6</sub> -Cr <sub>16,0</sub> -Pb <sub>12,6</sub> -Zn <sub>9,9</sub> -Ni <sub>3,9</sub> -As <sub>1,8</sub> -Cd <sub>1,2</sub>
Газон в зоне воздействия градирни	Cu <sub>25,3</sub> -Zn <sub>9,9</sub> -Pb <sub>4,9</sub> -Ni <sub>4,4</sub> -Cr <sub>4,0</sub> -Cd <sub>1,5</sub> -As <sub>1,2</sub>

Наиболее выраженные высококонтрастные аномалии с  $Z_c = 222,0$  и  $Z_c = 103,7$ , представленные преимущественно цинком, медью и свинцом, а также медью и хромом, сформировались в почвах в зоне воздействия непосредственно литейного производства с разбросом значений от 1,2 до 98,3 раз превышающих фоновый уровень. При этом содержание вышеперечисленным металлов в них значительно выше, чем остальных элементов.

По сравнению со средними значениями, рассчитанными для почв территории литейного завода, в первой из аномалий наблюдаются повышенное содержание цинка – в 8,2 раза, кадмия – 8,0, свинца – 6,0, никеля – 3,5, меди – 2,9, мышьяка – 2,6 и хрома – в 1,7 раза. Концентрации остальных элементов в пределах или ниже значений, установленных для почв на территории завода в целом. Во второй аномалии концентрации хрома превышает среднее для промплощадки значение в 3,7 раза, меди – 3,1 и цинка – в 1,2 раза, остальных элементов – в пределах или ниже установленных значений.

Контрастная педогеохимическая аномалия с  $Z_c = 73,7$ , в составе которой преобладает медь, хром и цинк, в меньшем количестве – свинец, кадмий, никель и мышьяк, сформировалась в зоне воздействия нескольких источников загрязнения (литейного цеха, цеха шихты и формовочных материалов). Содержание металлов здесь выше фоновых значений – от 1,6 раза для мышьяка до 30,0 раза – для меди. При этом концентрации кадмия на данном участке в 3,7 раза, меди – 2,0, хрома – 1,9 и цинка – в 1,2 раза выше, чем в среднем на территории предприятия.

На участке в зоне воздействия скрапоразделочного цеха концентрации металлов в педогеохимической аномалии выше фоновых значений от 1,9 раза для кадмия до 21,0 раза для свинца с суммарным коэффициентом загрязнения  $Z_c$ , равным 75,6. По отношению к почвам предприятия в целом почвы данной территории отличаются повышенным содержанием свинца – в 3,1 раза, хрома – 2,0, кадмия – 1,7, никеля – 1,6 и цинка – в 1,2 раза.

Медь как основной элемент-загрязнитель присутствует в ореолах загрязнения в почвах около гаражей и градирни, при этом педогеохимические аномалии с  $Z_c = 65,0$  и  $Z_c = 45,2$  относятся к территориям с опасным уровнем загрязнения почв. Содержание металлов здесь выше фоновых значений – от 1,2 для кадмия и мышьяка до 25,6 раза для меди. При этом концентрации свинца в почвах около гаражей в 1,9 раза, меди – 1,7, хрома в 1,6 раза выше, чем на территории предприятия в целом. Для почв газона около градирни характерно повышенное по сравнению с территорией завода содержание меди и кадмия – в 1,7 и 1,3 раза соответственно.

Оценка корреляционных связей между элементами, распространенными в почвах на территории завода, подтвердила тесную корреляционную зависимость между свинцом, цинком, кадмием и никелем с коэффициентом корреляции  $r = 0,72-0,89$ , а также медью и хромом с  $r = 0,78$ , мышьяком с никелем и цинком с  $r = 0,72$  и  $0,80$  соответственно (рис. 3). Средняя корреляционная зависимость отмечена для мышьяка с кадмием и свинцом, меди с цинком и никелем, а также для меди и кадмия, что обусловлено воздействием литейного производства на почвенный покров близлежащей территории.

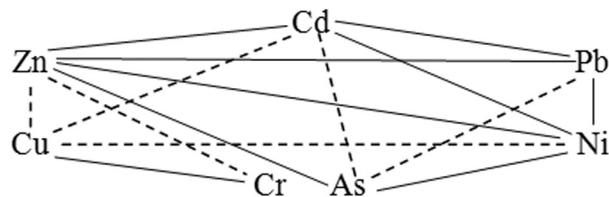


Рис. 3. Ассоциация элементов-загрязнителей в почвах на территории литейного производства

Fig. 3. Association of pollutant elements in soils in the territory foundry

На удалении от промплощадки предприятия валовое содержание исследованных металлов снижается незначительно, сформировавшаяся здесь педогеохимическая аномалия представлена следующим рядом:  $Cr_{7,1}-Cu_{7,0}-Zn_{5,1}-Pb_{3,2}-Ni_{2,4}-As_{2,2}$ . Сравнение концентрации элементов с гигиеническими нормативами выявила на данной территории полиэлементную аномалию, представленную цинком, хромом и мышьяком.

### Заключение

В связи с наличием на территории промышленных объектов большого количества источников загрязнения педогеохимические аномалии, формирующиеся на промплощадках, в большинстве случаев отличаются полиэлементным составом и характеризуются повышенным накоплением определенной группы химических веществ, обуславливающих состав геохимической аномалии.

Как свидетельствуют проведенные исследования, на промплощадках изученных промышленных объектов формируются устойчивые педогеохимические аномалии, состав и контрастность которых зависят от характера источника загрязнения. Высококонтрастная педогеохимическая аномалия, сформировавшаяся на территории предприятия машиностроительной отрасли, имеет следующий состав:  $Cu_{41,7}-Zn_{33,7}-Ni_{13,2}-Cr_{10,8}-Pb_{6,3}-As_{3,1}-Cd_{1,9}$ .

На предприятии по производству цемента педогеохимическая аномалия состоит только из трех элементов:  $Zn_{12,0}-Pb_{4,9}-Cd_{3,5}$ . На заводе, специализирующемся на литье чугуна и стали, сформировалась педогеохимическая аномалия, состоящая из следующего ряда элементов-загрязнителей:  $Cu_{15,2}-Zn_{11,9}-Cr_{10,0}-Pb_{6,7}-Ni_{3,8}-As_{2,3}$ .

По коэффициенту концентрации  $Z_c$ , который составляет для почв предприятия, специализирующегося на литейном производстве – 44,9, для предприятия машиностроительной отрасли – 104,7, данные промплощадки относятся к территориям с опасным уровнем загрязнения почв, что требует постоянного контроля за их эколого-геохимическим состоянием. Почвы на промплощадке цементного завода имеют  $Z_c = 18,4$ , свидетельствующем об умеренно опасном уровне загрязнения почв, что не является критическим для промышленных территорий.

Внутри аномалий выделяются локальные ореолы загрязнения с более высоким содержанием и более широкой ассоциации поллютантов, при этом набор элементов в них индивидуален и зависит от характера источника загрязнения и преобладающих на предприятии производственных процессов.

Оценка корреляционных связей между элементами подтвердила тесную корреляционную зависимость между свинцом, цинком и кадмием в почвах промплощадок всех промышленных объектов, что подтверждает техногенный характер их происхождения, обусловленный промышленным производством.

### Библиографические ссылки

1. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве: ГН 2.1.7.12-1-2004, утв. пост. Главн. гос. санит. врача Республики Беларусь 25.02.2004. № 28.
2. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. и др. Городская среда: геоэкологические аспекты. Минск, 2013.
3. Какарека С. В., Хомич В. С., Кухарчик Т. И. и др. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: опыт оценки удельных показателей. Минск, 1998.
4. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: метод. указания / под ред. И. М. Богдевича. Минск, 2006.
5. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М., 1982.
6. Натаров В. М., Лукашев О. В., Савченко В. В. Комплексный геохимический фоновый мониторинг в Березинском биосферном заповеднике. Минск, 2013.

7. Нормативы предельно допустимых концентраций валового содержания ртути и мышьяка в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных типов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов: Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 04.08.2010 №107.

8. Нормативы предельно допустимых концентраций подвижных форм никеля, меди и валового содержания свинца в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов: Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 19.11.2009 № 125.

9. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. URL: <http://www.ecoinfo.by/uploads/archive/Book2015/1-soil-25-11.pdf> (дата обращения: 11.03.2018).

10. Орлов Д. С. Химия почв. М., 1992.

11. Петухова Н. Н., Кузнецов В. А. Геохимическое состояние почвенного покрова Беларуси // Природные ресурсы. 1999. № 4. С. 40–49.

12. Саёт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. Т. Геохимия окружающей среды. М., 1990.

13. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. и др. Пространственная структура, уровни и источники загрязнения почв г. Минска // Природные ресурсы. 2003. № 4. С. 42–53.

14. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск, 2004.

## References

1. The list of maximum permissible concentrations (MPC) and approximately permissible concentration (ODC) of chemical substances in the soil: GN 2.1.7.12-1-2004 approved by the decision of the chief State doctor of the Republic of Belarus.

2. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kuharchik T. I., et al. [Urban environment: geoeological aspects]. Minsk, 2013 (in Russ.).

3. Kakareka S. V., Khomich V. S., Kuharchik T. I., et al. [Emissions of heavy metals into the atmosphere: the experience of assessing the specific indicators]. Minsk, 1998 (in Russ.).

4. Bogdevich I. M. (ed.) [Large-scale agrochemical and radiological survey of soils of agricultural lands of the Republic of Belarus]. Minsk, 2006 (in Russ.).

5. [Methodological recommendations on the geochemical assessment of urban pollution by chemical elements]. Moscow, 1982.

6. Natarov V. M., Lukashev O. V., Savchenko V. V. [Comprehensive geochemical background monitoring in the Berezinsky Biosphere Reserve]. Minsk, 2013.

7. Norms of the maximum permissible concentrations of the total content of mercury and arsenic in land (including soils) located within the boundaries of settlements for different types of territorial zones for the predominant functional use of the territories of settlements: Decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 04.08.2010 № 107.

8. Norms of maximum allowable concentrations of mobile forms of nickel, copper and lead content in lands (including soils) located within the boundaries of populated areas for different types of territorial zones for the predominant functional use of the territories of settlements: Decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 19.11.2009 No. 125.

9. National environmental monitoring system in the Republic of Belarus. [Electronic resource]. URL: <http://www.ecoinfo.by/uploads/archive/Book2015/1-soil-25-11.pdf>. (date of access: 11.03.2018).

10. Orlov D. S. [Soil chemistry]. Moscow, 1992 (in Russ.).

11. Petukhova N. N., Kuznetsov V. A. [Geochemical state of the soil cover of Belarus]. *Natural Resources*. 1999. No 4. P. 40–49.

12. Sayet Yu. E., Revish B. A., Yanin E. P. [Geochemistry of the environment]. Moscow, 1990.

13. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kuharchik T. I. [Spatial structure, levels and sources of soil contamination in Minsk]. *Natural Resources*. 2003. No. 4. P. 42–53 (in Russ.).

14. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kuharchik T. I. [Ecogeochemistry of urban landscapes of Belarus]. Minsk, 2004.

Статья поступила в редколлегию 28.06.2018  
Received by editorial board 28.06.2018

УДК 628.31

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. СЛУЦКА И ВАРИАНТЫ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

*И. М. ГУРСКАЯ<sup>1)</sup>, И. А. РОВЕНСКАЯ<sup>2)</sup>, С. В. ПОДШИВАЛЕНКО<sup>1)</sup>*

<sup>1)</sup>*Квазар-ТЕХНО, ул. Тимирязева, 65б, 220035, г. Минск, Беларусь*

<sup>2)</sup>*Белорусский государственный университет,  
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь*

Проведена оценка состояния очистных сооружений г. Слуцка. Установлено, что, несмотря на высокий износ технологического оборудования сооружений (до 90–100 %), большинство показателей качества очистки сточных вод соответствуют нормативным. Исследован образующийся на очистных сооружениях осадок сточных вод. Показано, что по содержанию тяжелых металлов осадок может быть использован в зеленом строительстве, для биологической рекультивации нарушенных земель и др. Используя результаты проведенного анализа, предложено четыре варианта реконструкции очистных сооружений.

**Ключевые слова:** хозяйственно-бытовые сточные воды; городские очистные сооружения; реконструкция; интенсификация процессов удаления азота и фосфора; механическое обезвоживание осадков.

## ANALYSIS OF WASTE WATER TREATMENT FACILITIES IN SLUTSK AND VARIANTS FOR ITS RECONSTRUCTION

*I. M. HURSKAYA<sup>a</sup>, I. A. RAVENSKAYA<sup>b</sup>, S. V. PODSHIVALENKO<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>*Kvazar-TECHNO, Temirjazeva street, 65b, 220035, Minsk, Belarus*

<sup>b</sup>*Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,  
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus  
Corresponding author: S. V. Podshivalenko (swetik97tab@gmail.com)*

The state of waste water treatment facilities in Slutsk was assessed. It is established that, despite the high wear of technological equipment of the plant (up to 90–100 %), most of the quality indicators for treated water correspond to normative ones. The sewage sludge formed at the plant was studied. The sediment can be used in green construction, for biological reclamation of disturbed lands etc. by the content of heavy metals, is shown. The four ways for the reconstruction of treatment facilities were proposed on the basis of the conducted analysis.

**Key words:** domestic wastewater; urban waste water plant; reconstruction; intensification of nitrogen and phosphorus removal processes; mechanical dehydration of precipitation.

---

### Образец цитирования:

Гурская И. М., Ровенская И. А., Подшиваленко С. В. Анализ состояния очистных сооружений г. Слуцка и варианты их реконструкции // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 3. С. 104–109.

### For citation:

Hurskaya I. M., Ravenskaya I. A., Podshivalenko S. V. Analysis of waste water treatment facilities in Slutsk and variants for its reconstruction. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 104–109. (in Russ.).

---

### Авторы:

*Ирина Мечиславовна Гурская* – главный инженер проектов.

*Ирина Александровна Ровенская* – доцент кафедры экологического мониторинга и менеджмента.

*Светлана Викторовна Подшиваленко* – инженер по разработке раздела «Охрана окружающей среды».

### Authors:

*Irina M. Hurskaya*, chief project engineer.  
1092239@gmail.com

*Irina A. Ravenskaya*, associate professor of the department of environmental monitoring and management.  
rovenskayaia@rambler.ru

*Svetlana V. Podshivalenko*, engineer for the development of the section «Environmental protection».  
swetik97tab@gmail.com

## Введение

Большинство сооружений Республики Беларусь были спроектированы и построены в 60–70-х годах прошлого столетия, однако в настоящее время они устарели морально и физически, пришли в негодность и не соответствуют современным требованиям. В этот период очистные сооружения городов проектировались с учетом преимущественного удаления органической части загрязнений. Следует отметить, что резкое увеличение количества и использования стиральных машин-автоматов в быту привело к изменению состава хозяйственно-бытовых сточных вод. Постепенно увеличивается содержание в сточных водах биогенных элементов (азота и фосфора), так как разрабатываются новые составы моющих средств, защищающих нагревательные элементы стиральных машин от накипи, улучшающих стирку загрязненного белья и др. В этих условиях очистные сооружения не справляются с увеличением нагрузки, что приводит к поступлению чрезмерного количества фосфор- и азотсодержащих соединений в водоемы. Увеличение их концентрации вызывает бурный рост водорослей, особенно сине-зеленых (эвтрофикацию). При этом повышается температура воды, ухудшается цвет, у воды появляется неприятный привкус и запах. Продукты метаболизма водорослей могут вызывать кожные аллергические реакции и желудочно-кишечные заболевания у людей и животных [1].

Наиболее эффективным методом удаления биогенных элементов из сточных вод является глубокая биологическая очистка, позволяющая избавиться от 98–99 % соединений азота и фосфора (при классической биологической очистке выводится лишь 35–50 % этих соединений) [2]. Снижение концентрации соединений азота и фосфора происходит за счет чередования в аэротенке аэробных и анаэробных зон. Азот удаляется при последовательном чередовании процессов нитрификации и денитрификации, осуществляемом консорциумом микроорганизмов активного ила. При этом извлекается и фосфор, накапливаясь в клетках микроорганизмов активного ила.

При реконструкции очистных сооружений нельзя использовать типовые решения, которые применяются при проектировании новых объектов. Реконструкция требует нестандартных, творческих подходов. Первым шагом для разработки рекомендаций и предпроектных решений реконструкции сооружений является проведение трудоемких предварительных исследований: анализа сложившейся ситуации, технологического обследования сооружений, изучение состояния строительных конструкций. Для минимизации капитальных вложений в объекты и возможности применения современных технологий очистки сточных вод особенно важно максимально использовать существующие емкости и строения, пригодные для каждого конкретного объекта или сооружения [3].

Цель исследования – проведение анализа состояния очистных сооружений г. Слуцка и предложение вариантов для их реконструкции. В соответствии с поставленной целью необходимо было решить следующие задачи: изучить существующую систему сбора и очистки сточной воды города; провести оценку состояния очистных сооружений города; предложить варианты реконструкции очистных сооружений.

## Объекты и методы исследования

Объект исследования – очистные сооружения г. Слуцка. Для оценки состояния сооружений проводили визуальный осмотр их конструкций. Дополнительно анализировалась документация КУП «Слуцкий ЖКХ». Качественный состав сточной воды проводился лабораторией КУП «Слуцкое ЖКХ».

Для исследования направлений использования осадков сточных вод, образующихся на канализационных очистных сооружениях, были отобраны их пробы с иловых площадок. Анализ проб осадка сточных вод проводился Брестской областной лабораторией аналитического контроля.

## Результаты исследования и их обсуждение

Город Слуцк является административным центром Слуцкого р-на, город областного подчинения, узел железнодорожных и автомобильных дорог. Площадь района составляет 1,821 тыс. км<sup>2</sup>. Его площадь – 2460 га; население – более 62 тыс. чел.

В настоящее время в промышленном секторе района функционирует 23 промышленных предприятия, 8 из которых относятся к пищевой и перерабатывающей отраслям: сахарорафинадный комбинат, мясокомбинат, сыродельный завод, льнозавод, хлебозавод, комбинат хлебопродуктов, консервный завод. В городе также работают деревообрабатывающие предприятия, завод художественных промыслов, текстильная фабрика, завод «Эмальпосуда» и др.

Единственным поставщиком услуг водоснабжения и водоотведения в городе является жилищно-коммунальное хозяйство г. Слуцка (КУП «Слуцкое ЖКХ»).

В г. Слуцке действует сложившаяся централизованная система хозяйственно-бытовой и производственной канализации, которая выполнена по полной раздельной системе с отводом хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод на городские очистные сооружения полной биологической очистки. Охват города канализационной сетью составляет 89 %. Сеть дождевой канализации находится под контролем и эксплуатируется КУП «Слуцкое ЖКХ».

Сбор и отведение хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод г. Слуцка осуществляется системой самотечных и напорных коллекторов, общей протяженностью 153,9 км. Из них протяженность главных коллекторов составляет 40,0 км, уличной канализационной сети – 67,0 км, внутриквартальной и внутридворовой сети – 46,9 км. По данным КУП «Слуцкое ЖКХ», система канализации находится в удовлетворительном состоянии. Однако некоторые участки сети повреждены и имеют многочисленные течи. Значительный объем инфильтрационной воды и дождевых вод проникает в систему.

Очистные сооружения канализации г. Слуцка расположены в 10 км на юго-восток от городской черты и предназначены для полной биологической очистки сточных вод. Первая очередь очистных сооружений, производительностью 18500 м<sup>3</sup>/сут, введена в эксплуатацию в 1976 г., вторая очередь, производительностью 8500 м<sup>3</sup>/ч, – в 1990 г.

Очистные сооружения принимают сточные воды жилой застройки, коммунально-бытовых и промышленных предприятий. До 62 % общего сброса производственных сточных вод приходится на два предприятия: ОАО «Слуцкий сыродельный комбинат» и ОАО «Слуцкий мяскокомбинат». Качество производственных сточных вод, сбрасываемых в городскую канализационную сеть, соответствует установленным ПДК по всем показателям, за исключением водородного показателя у ОАО «Слуцкий сыродельный комбинат» (рН 9, при норме – 6,5–8,5).

Существующая схема очистки сточных вод – полная биологическая с доочисткой на биологических прудах. Сточные воды поступают на площадку очистных сооружений от канализационных насосных станций в приемную камеру. Далее сточные воды проходят сооружения механической очистки (решетки-дробилки, песколовки, преаэратор, первичные отстойники), сооружения биологической очистки (аэротенки), вторичные отстойники и контактный резервуар. Доочистка сточных вод производится в биологических прудах каскадного типа. Предусмотрен также пруд-накопитель, который при нарушениях в работе комплекса биологической очистки позволяет предотвратить сброс недостаточно очищенных сточных вод в водный объект. Обработка осадка очистных сооружений предусмотрена на иловых площадках.

Качество очистки сточных вод регулярно контролируется лабораторий КУП «Слуцкое ЖКХ». В настоящее время концентрации загрязняющих веществ в очищенной воде очистных сооружений соответствовали установленным нормативам, и только в единичных случаях концентрации общего фосфора и анионных СПАВ превышали установленные нормативы сброса (табл. 1). Объяснить это можно значительным увеличением использования в быту синтетических моющих средств, а также возможными залповыми сбросами их на пищевых предприятиях во время мойки технологического оборудования.

Визуальный осмотр состояния очистных сооружений показал высокую степень износа основного технологического оборудования, включая трубопроводы технологических коммуникаций. Наблюдается разрушение емкостных сооружений и подводящих лотков. Полностью изношены и корродированы металлические шиберы и щитовые затворы, что не позволяет отключать отдельные сооружения для производства ремонтных работ без прекращения процесса очистки сточных вод. Износ металлических конструкций сооружений достигает 90–100 %. Вышли из строя и не используются следующие сооружения: решетки-дробилки, песколовки с круговым движением воды, вертикальные илоуплотнители. Демонтирован цех механического обезвоживания осадка и хлораторная. Исчерпаны возможности существующих иловых площадок и насосной станции иловых вод. С 2009 г. осадки сточных вод подаются на временную площадку, в качестве которой, по согласованию с инспекцией по охране природы, использован существующий песчаный карьер. Очистка биологических прудов не производилась более 10 лет.

Таблица 1

Параметры сточных вод, контролируемые на очистных сооружениях г. Слуцка

Table 1

Parameters of waste water, controlled at treatment facilities

Параметр	Концентрация в исходной сточной воде, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрация в очищенной воде, мг/дм <sup>3</sup>	Допустимая концентрация, мг/дм <sup>3</sup>
рН	6,8 ÷ 7,4	7,6 ÷ 7,9	6,5 ÷ 8,5
<b>Общий фосфор</b>	<b>6,9 ÷ 18,2</b>	<b>4 ÷ 6</b>	<b>4,5</b>
Фосфаты по Р	4,8 ÷ 13,3	2,7 ÷ 3,17	не нормируется
Азот общий	27,4 ÷ 42,2	6,5 ÷ 10,64	20
Азот аммонийный	23,9 ÷ 46,2	3,6 ÷ 9	не нормируется
Азот нитритный	0,009 ч 0,71 ÷	0,16 ÷ 0,6	не нормируется
Азот нитратный	0,11 ÷ 1,3	0,42 ÷ 4,3	не нормируется
Взвешанные вещества	171 ÷ 223	11,7 ÷ 15,8	25
Сухой остаток	873 ÷ 1595	718 ÷ 873	1000
Сульфаты	59 ÷ 102	39 ÷ 66	100
Хлориды	151 ÷ 294	150 ÷ 206	300
Железо общее	1,13 ÷ 3,3	0,34 ÷ 0,98	не нормируется
ХПК	518 ÷ 707	27,7 ÷ 41,8	80
БПК <sub>5</sub>	249 ÷ 428	9,7 ÷ 15,1	20
<b>СПАВ-анионные</b>	<b>0,27 ÷ 0,66</b>	<b>0,14 ÷ 0,6</b>	<b>0,4</b>
Хром общий	< 0,05	0,001 ÷ 0,05	не нормируется
Цинк	< 0,005	0,005 ÷ 0,05	не нормируется
Медь	< 0,02	< 0,02	не нормируется
Никель	< 0,005	< 0,005	не нормируется

Столь высокая степень износа технологических сооружений позволяет говорить о том, что окончательный выход из строя очистных сооружений – лишь дело времени. В любой момент неочищенные сточные воды могут попасть в р. Случь и Солигорское водохранилище, расположенное в нескольких километрах ниже по течению и оказывающее большое влияние на технологическую и рекреационную обстановку в регионе.

Вопросам обработки осадков сточных вод уделяют меньшее внимание по сравнению с параметрами очистки сточных вод. Тем не менее осадок представляет собой потенциальную угрозу для окружающей среды, так как содержит большое количество микроорганизмов, в том числе патогенных, может содержать токсичные соединения (особенно ионы тяжелых металлов) и, кроме того, является крупнотоннажным отходом. Согласно официальному классификатору отходов, образующихся в Республике Беларусь, большинство отходов, образующихся на очистных сооружениях, относится к III классу, за исключением песка, который относится к IV классу.

При оценке количества образующихся на очистных сооружениях г. Слуцка отходов было установлено, что в 2016 г. на очистных сооружениях образовалось 1613,89 м<sup>3</sup> в сутки смеси избыточного активного ила и сырого осадка влажностью 99,5 %. При этом исследуемые пробы осадков по содержанию тяжелых металлов соответствовали марке УОСВ-2 (ТУ ВУ 300003249.001-2009). Таким образом, образующийся осадок может применяться в промышленном цветоводстве, зеленом строительстве, лесных и декоративных питомниках, а также для биологической рекультивации нарушенных земель и полигонов твердых коммунальных отходов (табл. 2).

Качественный состав осадков сточных вод

Table 2

Quality compound of sewage sludge

Показатели	Фактическое значение	Требования ТУ РБ		
		УОСВ-1	УОСВ-2	УОСВ-3
Кадмий, мг/кг	5	5	15	30
Хром, мг/кг	37,5	300	500	1000
Медь, мг/кг	729,5	300	750	1500
Никель, мг/кг	14,8	100	200	400
Свинец, мг/кг	65	200	250	500
Цинк, мг/кг	745	500	1750	3500

Результаты исследования свидетельствуют о том, что необходима реконструкция очистных сооружений канализации г. Слуцка с выбором ее оптимального варианта, направленного на обеспечение эффективного отведения и качества очистки всего объема сточных вод и утилизации образующегося осадка на данный момент и расчетную перспективу развития города.

Нами предлагается к рассмотрению несколько вариантов реконструкции очистных сооружений. При этом окончательными критериями отбора должны являться: капитальные и эксплуатационные затраты, технические преимущества и недостатки рассматриваемых вариантов.

Реконструкция будет включать строительство новой приемной камеры; здания решеток с установкой ступенчатых механизированных решеток (в настоящее время задержания твердых отходов не производится); монтаж установки для промывки и обезвоживания песка; ремонт первичных отстойников с заменой изношенных конструкций.

Для узла биологической очистки предусматривается два варианта реконструкции: первый – очистка сточных вод будет производиться по существующей традиционной схеме (аэротенк-смеситель) с ремонтом и заменой основных конструктивных элементов аэротенка; второй – реконструкция будет осуществляться с выделением функциональных зон для интенсификации процессов удаления азота и фосфора из сточных вод. При этом понадобится монтаж дополнительных перегородок для зонирования аэротенка и установка мешалок. Также предусмотрен ремонт вторичных отстойников.

Перед сбросом в реку необходимо обеззараживание очищенных сточных вод. На площадке очистных сооружений уже имеется контактный резервуар, поэтому предлагается обеззараживание производить привозным гипохлоритом натрия. С этой целью необходимо выполнить реконструкцию контактного резервуара и строительство станции дозирования обеззараживающего раствора в очищенные сточные воды.

Осадки, образующиеся в процессе очистки сточных вод (песок из песколовок, осадок первичных отстойников, избыточный активный ил и др.), должны подвергаться обезвоживанию, стабилизации, снижению запаха, обеззараживанию, улучшению физико-механических свойств, обеспечивающих возможность их экологически безопасной утилизации или размещения (хранения и /или захоронения) в окружающей среде.

Промытый и обезвоженный песок необходимо собирать и вывозить отдельно, а осадок из первичных отстойников и избыточный активный ил мы предлагаем смешивать, обрабатывать и использовать для рекультивации территории существующих иловых площадок. Наиболее перспективными, по нашему мнению, являются два варианта обработки осадков: первый – строительство биогазового комплекса с механическим обезвоживанием осадка; второй – строительство комплекса механического обезвоживания осадка.

### Заключение

Таким образом, возможны четыре основных варианта полной реконструкции очистных сооружений г. Слуцка:

- 1) реконструкция аэротенков-смесителей по существующей схеме со строительством цеха механического обезвоживания осадка;
- 2) реконструкция аэротенков с интенсификацией процессов удаления биогенных элементов со строительством цеха механического обезвоживания осадка;
- 3) реконструкция аэротенков-смесителей по существующей схеме со строительством биогазового комплекса;

4) реконструкция аэротенков с интенсификацией процессов удаления биогенных элементов со строительством биогазового комплекса.

Окончательный выбор варианта реконструкции всей площадки очистных сооружений возможен только после детального обсуждения всех затрат на реализацию проекта, а также сопоставления достоинств и недостатков предложенных схем.

### Библиографические ссылки

1. Саломеев В. П., Гогина Е. С., Макиша Н. А. Решение вопросов удаления биогенных элементов из бытовых сточных вод // Водоснабжение и канализация. 2012. № 11–12. С. 31–39.
2. Ручай Н. С., Маркевич Р. М. Экологическая биотехнология. Минск, 2006.
3. Саломеев В. П., Рыжков А. Д. Реконструкция и модернизация очистных сооружений водоотведения в Московской области // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2013. № 11 (143). С. 38–41.

### References

1. Salomeev V. P., Gogina E. S., Makisha N. A. [Decision of problems of removal of biogenous elements from domestic wastewater]. *Water service and sewerage*. 2012. No 11–12. P. 31–39 (in Russ.).
2. Ruczaj N. S., Markiewicz R. M. [Ecological biotechnology]. Minsk, 2006 (in Russ.).
3. Salomeev V. P., Ryzhov A. D. [Reconstruction and modernization of sewage disposal plants in Moscow region]. *Plumbing, heating, conditioning*. 2013. No 11 (143). P. 38–41 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 26.06.2018  
Received by editorial board 26.06.2018

УДК 631.41

## УГЛЕРОДСЕКВЕСТРИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И МИНЕРАЛИЗУЕМОСТЬ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА РАЗНЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

**Н. Н. ЦЫБУЛЬКО<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси,  
ул. Казинца, 90, 220108, г. Минск, Беларусь

В составе активного пула органического вещества легко минерализуемая фракция составляет 24,3–49,1 %, а трудно минерализуемая – 50,9–76,0 %. Наблюдается снижение ее величины с увеличением эрозионной деградации почв. Минерализационная способность торфяных почв ниже, чем дерново-подзолистых, в которых доля потенциально минерализуемого углерода в составе общего органического вещества составляет всего 1,7 %. Углеродсеквестрирующая емкость дерново-подзолистых почв изменяется в пределах 14,7–20,5, торфяных почв – 58,2–60,1. Органическое вещество незэродированных почв является более стабильным по сравнению с почвами, подверженными эрозионной деградации.

**Ключевые слова:** органическое вещество почвы; стабильность; минерализуемость; углерод; секвестрирующая емкость.

## CARBON SEQUESTERING ABILITY AND MINERALIZABILITY OF ORGANIC MATTER OF DIFFERENT SOILS OF BELARUS

**M. M. TSYBULKA<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise The Institute for Soil Science and Agrochemistry,  
Kazinets street, 90, 220108, Minsk, Belarus

In the active pool of organic matter, the mineralizable fraction is easily 24.3–49.1 %, and it is difficult to mineralize – 50.9–76.0 %. There is a decrease in its value with increasing erosion degradation of soils. The mineralization capacity of peat soils is lower than that of sod-podzolic soils, in which the share of potentially mineralized carbon in the total organic matter is only 1.7 %. The carbon-sequestering capacity of sod-podzolic soils varies within the limits of 14.7–20.5, peat soils – 58.2–60.1. The organic matter of non-eroded soils is more stable compared to soils subject to erosive degradation.

**Key words:** soil organic matter; stability; mineralizability; carbon; sequestering capacity.

### Введение

Динамика запасов органического углерода в почвах, скорости разложения органических материалов и время оборачиваемости различных пулов углерода при разных условиях являются количественными

---

#### Образец цитирования:

Цыбулько Н. Н. Углеродсеквестрирующая способность и минерализуемость органического вещества разных почв Беларуси // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 2. С. 110–117.

#### For citation:

Tsybulka M. M. Carbon sequestering ability and mineralizability of organic matter of different soils of Belarus. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 3. P. 110–117 (in Russ.).

---

#### Автор:

**Николай Николаевич Цыбулько** – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; заместитель директора по научной работе.

#### Author:

**Mikalai M. Tsybulka**, doctor of science (agriculture), associate professor; deputy director for science.  
nik.nik1966@tut.by

прогностическими параметрами глобальных изменений природной среды и климата [1–3]. В 2017 г. под эгидой ФАО подготовлена Глобальная карта почвенного органического углерода (GSOCmap), которая показывает, что в мире на глубине первых 30 см почвенного покрова содержится около 680 млрд т углерода. Это почти вдвое больше, чем в атмосфере, и более значительный объем по сравнению с углеродом, хранящимся во всей растительности мира (560 млрд т). Деградация одной трети мировых почв уже вызвала огромный выброс углерода в атмосферу. Восстановление этих почв может привести к поглощению до 63 млрд т углерода, что в значительной степени будет способствовать смягчению последствий изменения климата [4].

Возросший интерес к изучению цикла углерода явился одной из причин более глубоких исследований органического вещества почв (ОВП), являющегося в педосфере основным природным генератором и источником углеродосодержащих газов (прежде всего,  $\text{CO}_2$ ), поступающих в атмосферу. Кроме этого, ОВП является лимитирующим фактором продуктивности экосистем, от качественного и количественного состава его зависит почвенное плодородие.

Органическое вещество почвы представляет собой сложный гетерогенный континуум материалов и соединений, отличающихся по стабильности, скорости оборачиваемости и продолжительности существования, которое в силу особенностей химического строения, биологической доступности, высокой энергоемкости определяет функционирование основных свойств и режимов почв [5].

Важной характеристикой органического вещества (ОВ) является его стабильность – способность сохранять свои свойства и функции во времени [6]. Способность ОВ трансформироваться в малодоступное для почвенных микроорганизмов состояние – важное его свойство, а само явление стабилизации представляет характерную стадию динамики углерода. В агрономическом аспекте предпочтительнее нахождение в почве лабильного, потенциально минерализуемого и быстро оборачиваемого органического вещества, которое высвобождало бы элементы питания для растений [7]. В глобальном экологическом аспекте для ограничения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере желательно, чтобы ОВП было устойчивым, а поступающее ОВ быстрее стабилизировалось, обеспечивая почвенную секвестрацию углерода – перевод  $\text{C-CO}_2$  через биомассу растений в ОВП для долговременного сохранения в почвенном пуле [1; 8].

Постоянство ОВП может зависеть от генезиса и свойств почв. Показано, что основным путем стабилизации ОВП является агрегация почвы, а агрегаты основным местом аккумуляции органического углерода ( $\text{C}_{\text{орг}}$ ) в почве [9; 10]. Органическое вещество служит связующим материалом и ядром формирующихся агрегатов, выполняет ведущую роль в стабилизации агрегатов, что подтверждается зависимостью между оборачиваемостью агрегатов и динамикой  $\text{C}_{\text{орг}}$  в почве [11; 12]. Около 90 % органического углерода верхнего горизонта почвы находится в составе агрегатов, включая 20–40 % – в виде микроагрегатов [9].

Стабилизация ОВ существенно зависит от гранулометрического состава почв, а содержание глины и пыли в гранулометрическом составе и удельная поверхность почвенных минералов служат индикаторами углеродсеквестрирующей способности почвы [11; 13]. Установлено, что ОВ песчаной фракции наиболее подвержено минерализации и содержание углерода в ней уменьшается быстрее, чем во фракциях пыли и ила [14; 15].

Значительная часть  $\text{C}_{\text{орг}}$ , содержащегося в минеральных почвах, стабильна, поскольку находится в химически или физически защищенном состоянии, либо в составе малодоступных микробам гумусовых образований. Образующиеся при разложении свежего органического вещества гидрофильные компоненты быстро связываются с гидрофобными центрами гуминовых веществ, подвергаясь химической стабилизации. Органическое вещество микроагрегатов и органо-минеральных комплексов физически защищено от ферментативного и микробного воздействия. Разлагаемое ОВ, содержащееся в порах, диаметр которых меньше размера бактерий, становится недоступным для разложения. Органический углерод торфяных почв, напротив, менее стабилен, поскольку представлен веществами, в значительной степени подверженными разложению и минерализации, а также в силу низкого содержания в них минеральной составляющей, определяющей физическую стабилизацию  $\text{C}_{\text{орг}}$  [6].

Сельскохозяйственное использование земель также может приводить как к увеличению стабильности ОВП, так и к его дестабилизации. Интенсивное использование торфяных почв приводит к минерализации торфа, сопровождающееся увеличением количества водорастворимых соединений и быстрым их окислением. Далее наступает некоторая стабилизация состояния ОВП. Вследствие этого уменьшается абсолютное и относительное количество легкоразлагаемого  $\text{C}_{\text{орг}}$  и увеличивается доля устойчивых к разложению фракций. Использование минеральных почв приводит, с одной стороны, к увеличению стабильной фракции в «старом» ОВ, а с другой – усиливает поступление в почву с растительными остатками «нового»  $\text{C}_{\text{орг}}$ , который подвергается последующей стабилизации [16; 17].

Цель данного исследования – изучить структуру, минерализуемость органического вещества и углеродсеквестрирующую способность разных почв Беларуси.

## Материалы и методы исследования

Объект исследований – это почвы: дерново-подзолистая легкосуглинистая на лессовидных суглинках; дерново-подзолистая легкосуглинистая среднеэродированная на лессовидных суглинках; дерново-подзолистая легкосуглинистая сильноэродированная на лессовидных суглинках; дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая намытая на лессовидных суглинках; дерново-подзолистая автоморфная супесчаная на водноледниковых рыхлых супесях; дерново-подзолистая глееватая супесчаная на водноледниковых рыхлых супесях; торфяно-глеевая маломощная на хорошо разложившемся древесно-осоковом торфе с зольностью 70 %, подстилаемом песками; торфяно-болотная маломощная на хорошо разложившемся древесно-осоковом торфе с зольностью до 20 %, подстилаемая песком.

Почвенные образцы, отобранные из верхнего (0–20 см) слоя и просеянные через сито с диаметром отверстий < 6 мм, высушивали до воздушно-сухого состояния. Навески почв по 100 г воздушно-сухой массы помещали в инкубационные камеры, конструкция которых позволяет улавливать  $\text{CO}_2$  с помощью 0,2 н раствора NaOH при постоянном и естественном газообмене между почвой и атмосферой в течение инкубации [18]. Перед началом инкубации одну часть образца почв увлажняли до 60 % полной полевой влагоёмкости (ППВ) и выдерживали в течение 10 сут для инициирования микробной активности. Другую часть за сутки до эксперимента высушивали при 65 °С в течение 24 ч. После проверки уровня влажности в предварительно инкубированных образцах и увлажнения до 60 % ППВ высушенных образцов, инкубационные камеры соединялись с приемниками, содержащими щелочь. В начале опыта выделяющийся из почвы С- $\text{CO}_2$  учитывали с экспозицией менее суток, в последствии через каждые 1, 3 и 5 сут. Продолжительность инкубации – 150 сут. Повторность – двукратная. Температура инкубированной почвы в течение всего периода составляла  $22 \pm 1$  °С.

В исследованиях применяли метод биокинетического фракционирования ОВП, газохроматографическое измерение концентрации С- $\text{CO}_2$  [16; 17]. Метод основан на разной доступности микроорганизмам углерода из различных компонентов ОВП в течение длительной инкубации почвы, которая количественно устанавливается по скорости продуцирования С- $\text{CO}_2$ . Содержание потенциально-минерализуемого углерода ( $C_0$ ) в почве определяли по кумулятивному количеству С- $\text{CO}_2$ , выделившегося за весь период инкубации (уравнение 1). Аппроксимируя кумулятивные кривые продуцирования С- $\text{CO}_2$  за период инкубации трехкомпонентным уравнением экспоненциальной регрессии (уравнение 2), определяли содержание углерода легко ( $C_1, k_1 > 0,1 \text{ сут}^{-1}$ ), умеренно ( $C_2, k_2 > 0,01 \text{ сут}^{-1}$ ) и трудно минерализуемых ( $C_3, k_3 > 0,001 \text{ сут}^{-1}$ ) фракций активного ОВП. Если с помощью трехкомпонентного уравнения получались недостоверные коэффициенты, то использовали двухкомпонентные уравнения 3 и 4, выделяя в этом случае легко ( $C_1$ ) и умеренно ( $C_2$ ) минерализуемые фракции, либо легко ( $C_1$ ) и трудно ( $C_3$ ) минерализуемые.

$$C_t = C_{\text{нм}} \cdot [1 - \exp(-k_0 \cdot t)] \quad (1)$$

$$C_t = C_1 \cdot [1 - \exp(-k_1 \cdot t)] + C_2 \cdot [1 - \exp(-k_2 \cdot t)] + C_3 \cdot [1 - \exp(-k_3 \cdot t)] \quad (2)$$

$$C_t = C_1 \cdot [1 - \exp(-k_1 \cdot t)] + C_2 \cdot [1 - \exp(-k_2 \cdot t)] \quad (3)$$

$$C_t = C_1 \cdot [1 - \exp(-k_1 \cdot t)] + C_3 \cdot [1 - \exp(-k_3 \cdot t)] \quad (4)$$

где  $C_t$  – кумулятивное количество С- $\text{CO}_2$  (мг/100 г) за время  $t$  (сут);  $C_{\text{нм}}$  – содержание (мг/100 г) потенциально минерализуемого углерода;  $C_1, C_2, C_3$  – содержание (мг/100 г) углерода легко, умеренно и трудно минерализуемых фракций активного пула ОВП;  $k_0, k_1, k_2, k_3$  – константы скорости минерализации органического вещества соответствующих фракций ( $\text{сут}^{-1}$ ).

Биокинетические параметры  $C_n$  и  $k_n$  рассчитывали по значениям  $C_t$  и  $t$  методом нелинейной оценки программы Statistica 6,0. Коэффициенты уравнений 1–4 с уровнем значимости  $P > 0,05$  отвергались. Полученные величины  $C_n$  и  $k_n$  применяли для расчета таких показателей состояния ОВП, как время оборачиваемости ( $T=1/k_n, \text{сут}$ ) и период полураспада ( $T_{0,5} = \ln 2/k_n, \text{сут}$ ) фракции в почве, интенсивность минерализации ( $V = C_n \cdot k_n, \text{мг/100 г в сут}$ ).  $C_{\text{мб}}$  в почве определяли по кумулятивному количеству С- $\text{CO}_2$ , образующегося при инкубировании предварительно высушенной почвы в течение 13–14 сут, аппроксимируя кривую однокомпонентным уравнением кинетики первого порядка (уравнение 5).

$$C_t = 0,45 \cdot C_{\text{мб}} [1 - \exp[-k \cdot t]] + V \cdot t, \quad (5)$$

где  $C_t$  – кумулятивное количество С- $\text{CO}_2$  (мг/100 г), выделившегося при инкубировании предварительно высушенной почвы за время  $t$  (сут);  $C_{\text{мб}}$  – содержание углерода микробной биомассы (мг/100 г);  $k$  – константа скорости,  $\text{сут}^{-1}$ ; 0,45 – доля углерода почвенного субстрата, минерализованного микроорганизмами до С- $\text{CO}_2$ ;  $V$  – константа, характеризующая равновесие между приростом и отмиранием биомассы при полной утилизации начального запаса субстрата.

## Результаты исследования и их обсуждение

Содержание органического углерода в почве отражает эволюционно-генетическую специфику биогенно-аккумулятивных почвенных процессов, их зависимость от поступления и отчуждения органического вещества, аэрации и гидротермических условий, минералогического и гранулометрического состава почвы, других внутрипочвенных и внешних факторов.

Содержание органического углерода и общего азота ( $N_{\text{общ}}$ ) в изучаемых почвах, которые использовались под сельскохозяйственные земли, зависело от их генезиса, гранулометрического состава, степени гидроморфизма и эродированности. В дерново-подзолистых почвах содержание  $C_{\text{орг}}$  и  $N_{\text{общ}}$  колебалось в пределах 1,25–1,50 % и 660–970 мг/кг почвы соответственно. В торфяно-глеевой почве с зольностью торфа 70 % значения этих показателей составили 9,24 % и 8435 мг/кг почвы, а в торфяно-болотной почве с зольностью торфа 20 % – 27,88 % и 19 780 мг/кг почвы соответственно. С увеличением эрозионной деградации дерново-подзолистой почвы наблюдалось снижение содержания органического углерода и общего азота. Соотношение углерода к азоту ( $C : N$ ) в дерново-подзолистых почвах изменялось от 15,5 до 19,2. В торфяных почвах этот показатель был ниже – 11,0–14,1 (табл. 1).

Органическое вещество почвы по времени оборачиваемости подразделяется на три пула: активный ( $T < 3-10$  лет), медленный ( $T = 10-100$  лет) и пассивный ( $T > 100$  лет) [19]. Активный (лабильный) пул образует свежее ОВ высокого энергетического и питательного статуса, быстро утилизируемое микроорганизмами и расходуемое при макроагрегации; химически и физически не защищенное ОВ, способное к химическим и биохимическим реакциям (фрагменты растительных и животных остатков, микробная биомасса, моно- и полисахариды, водо- и солерастворимое и взвешенное ОВ, фракция песка и др.).

Таблица 1

Общее содержание органического углерода и общего азота в исследуемых почвах

Table 1

The total content of organic carbon and total nitrogen in the investigated soils

Почва	$C_{\text{орг}}$ %	$N_{\text{общ}}$ мг/кг почвы	$C : N$
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	1,50	970	15,5
Дерново-подзолистая легкосуглинистая среднеэродированная	1,33	690	19,2
Дерново-подзолистая легкосуглинистая сильноэродированная	1,25	660	18,9
Дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая намытая	1,33	800	16,6
Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная	1,35	830	16,2
Дерново-подзолистая глееватая супесчаная	1,44	885	16,3
Торфяно-глеевая маломощная	9,24	8435	11,0
Торфяно-болотная маломощная	27,88	19780	14,1

Медленный (промежуточный) пул состоит из физически защищенного и исходно прочного ОВ (аминосахара, гликопротеины, фракции лигнина, меланина и липидов, ОВ макро- и микроагрегатов, мобильные гуминовые вещества, фракция мелкого песка и крупной пыли).

Пассивный (устойчивый, стабильный) пул представляет недоступное микроорганизмам по биохимическим характеристикам и (или) связанное минеральной частью почвы ОВ (кутины, суберины, модифицированный лигнин, часть липидов, гумин, негидролизующее ОВ, защищенное металлоорганическими связями и гидрофобными взаимодействиями, фракции тонкой пыли и глины). По литературным данным, на долю активного пула ОВП в слое почвы 0–20 см приходится от <1 до 8 % от всего  $C_{\text{орг}}$ . В медленном пуле сосредоточено от 35 до 72 %, в устойчивом пуле – от 39 до 64 % [20; 21].

Основным источником минерализуемого углерода в почве являются непрочные и недостаточно защищенные органические вещества и соединения со временем оборачиваемости от трех до десяти лет, совокупность которых представляет собой пул активного органического вещества [22]. При биокинетическом фракционировании в составе активного ОВ выделяются три или две фракции углерода с константами скорости их минерализации, отличающимися на порядок [19].

Нами определен активный пул ОВ почв, а также установлены особенности распределения углерода между фракциями активного пула органического вещества исследуемых почв. Во всех почвах выделено две фракции углерода с разными константами скорости их минерализации, а именно легко минерализуемая фракция ( $C_1$ ) со временем оборачиваемости менее 10 сут и трудно минерализуемая фракция ( $C_3$ ) со временем оборачиваемости 10–1000 сут с константами скорости минерализации соответственно  $k_1$  и  $k_3$  (сут<sup>-1</sup>). По степени минерализации отсутствовала умеренно минерализуемая фракция ( $C_2$ ) (табл. 2).

Таблица 2

Содержание активного пула органического вещества и структура распределения углерода между фракциями в исследуемых почвах

Table 2

The content of the active pool of organic matter and the distribution structure carbon between fractions in the investigated soils

Почва	АОВ		C <sub>1</sub>			C <sub>2</sub>		
	мг/кг почвы	% от C <sub>орг</sub>	мг/кг почвы	% от АОВ	k <sub>1</sub> , сут <sup>-1</sup>	мг/кг почвы	% от АОВ	k <sub>2</sub> , сут <sup>-1</sup>
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	873	5,8	233	26,7	0,256	640	73,3	0,012
Дерново-подзолистая легкосуглинистая среднеэродированная	839	6,3	220	26,2	0,233	619	73,8	0,012
Дерново-подзолистая легкосуглинистая сильноэродированная	812	6,5	195	24,0	0,248	617	76,0	0,011
Дерново-подзолистая легкосуглинистая намытая	988	7,4	290	29,3	0,229	698	70,7	0,013
Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная	958	7,1	317	33,1	0,165	641	66,9	0,009
Дерново-подзолистая глееватая супесчаная	905	6,3	318	35,1	0,143	587	64,9	0,009
Торфяно-глеевая	1932	2,1	949	49,1	0,107	983	50,9	0,007
Торфяно-болотная	6140	2,2	1491	24,3	0,155	4649	75,7	0,009

В дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почвах содержание активного пула органического вещества составляло от 812 до 988 мг/кг почвы или 5,8–7,4 % от общего количества органического углерода. В торфяных почвах содержание его было значительно выше по сравнению с минеральными почвами – в торфяно-глеевой почве в среднем 1932 мг/кг почвы, в торфяно-болотной почве – 6140 мг/кг почвы. В то же время в органогенных почвах удельный вес АОВ в составе C<sub>орг</sub> составлял только 2,1–2,2 %.

В составе активного пула органического вещества на долю легко минерализуемой фракции приходилось от 24,3 до 49,1 %, а трудно минерализуемой фракции – от 50,9 до 76,0 %. В дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах содержание фракции C<sub>1</sub> составляло 195–290 мг/кг почвы или 24,0–29,3 % от АОВ. Наблюдалось снижение ее величины и доли в составе активного органического вещества с увеличением эродированности почвы. В дерново-подзолистых супесчаных почвах легко минерализуемая фракция занимала 33,1–35,1 % от АОВ, в торфяно-глеевой почве – 49,1 %.

Минерализуемый пул ОВП включает в себя все доступные микроорганизмам вещества и соединения независимо от их природы, химического состава, структуры и свойств, хотя вклад растворимых, простых, низкомолекулярных и свободных более существенен, чем нерастворимых, сложных, высокомолекулярных, связанных с минеральной частью почвы. Размеры минерализуемого пула ОВП зависят в первую очередь от количества и качества поступающих в почву органических материалов, степени защищенности компонентов ОВП и факторов, влияющих на микробную деятельность [1].

В наших исследованиях абсолютные значения потенциально минерализуемого углерода (C<sub>пм</sub>) колебались от 674–845 мг/кг на минеральных почвах до 1510–4705 мг/кг – на торфяных почвах (табл. 3).

Таблица 3

Содержание потенциально минерализуемого углерода (C<sub>пм</sub>) в исследуемых почвах

Table 3

The content of potentially mineralized carbon (C<sub>pm</sub>) in the investigated soils

Почва	C <sub>пм</sub> , мг/кг почвы	% от C <sub>орг</sub>
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	696	4,6
Дерново-подзолистая легкосуглинистая среднеэродированная	674	5,1
Дерново-подзолистая легкосуглинистая сильноэродированная	731	5,7
Дерново-подзолистая легкосуглинистая намытая	845	6,6
Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная	740	5,5
Дерново-подзолистая глееватая супесчаная	683	4,2
Торфяно-глеевая	1510	1,7
Торфяно-болотная	4705	1,7

Процентное содержание  $C_{\text{ПМ}}$  от общего количества органического углерода характеризует минерализационную способность органического вещества почвы. Как свидетельствуют данные, из минеральных почв наиболее высокой минерализационной способностью характеризовалась дерново-подзолистая легкосуглинистая намытая почва – 6,6. Минерализационная способность торфяных почв была ниже, чем дерново-подзолистых. Доля  $C_{\text{ПМ}}$  в составе общего органического вещества составляла всего 1,7 %.

Под стабилизацией органического вещества понимаются процессы, которые увеличивают устойчивость его к биотическим и абиотическим воздействиям и ведут к увеличению времени оборачиваемости органического вещества в почве за счет приобретенного защищенного состояния. Дестабилизация – обратный стабилизации процесс, в результате которого компоненты ОВ становятся менее устойчивыми к деградации и более доступными для использования микроорганизмами [23; 24].

Оценка стабильности органического вещества почвы и его отдельных компонентов основывается на нескольких подходах [25]. Показателем стабильности ОВП служит отношение устойчивого к минерализации углерода ( $C_{\text{орг}} - C_{\text{ПМ}}$ ) к его потенциально-минерализуемому ( $C_{\text{ПМ}}$ ) количеству, установленному биокинетическим методом. Количество стабилизированного и удерживаемого в составе ОВП углерода характеризует его секвестрирующую емкость (SCSC). Чем выше стабильность ОВП, тем меньше размеры продукции диоксида углерода, поэтому секвестрирующая емкость ОВП обратно пропорциональна его минерализационной способности [1; 6; 26].

В наших исследованиях наблюдалась закономерность повышения индекса углеродсеквестрирующей емкости исследуемых почв по мере снижения их минерализационной способности (рис.).

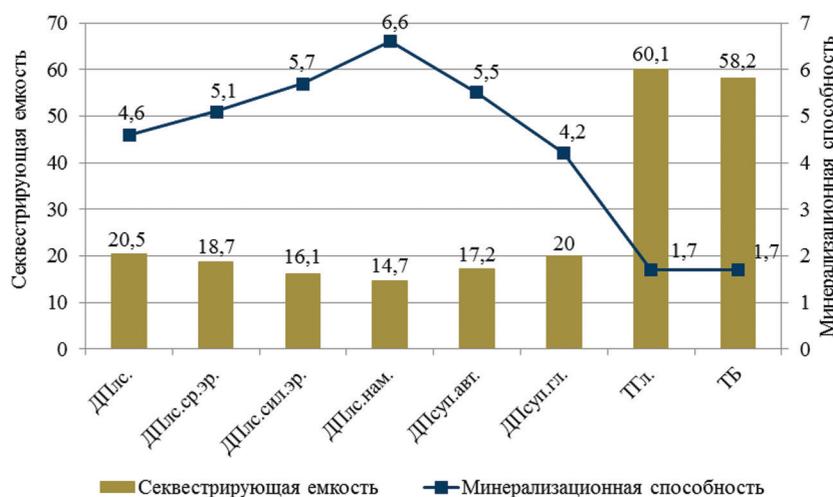


Рис. Зависимость углеродсеквестрирующей емкости почв от их минерализационной способности:

ДП лс. – дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, ДПлс. ср.эр. – дерново-подзолистая легкосуглинистая среднеэродированная почва, ДПлс. сил.эр. – дерново-подзолистая легкосуглинистая сильноэродированная почва, ДПлс. нам. – дерново-подзолистая намытая почва, ДПсуп. авт. – дерново-подзолистая супесчаная автоморфная почва, ДПсуп. гл. – дерново-подзолистая супесчаная глееватая почва, ТГл. – торфяно-глеевая почва, ТБ – торфяно-болотная почва

Fig. Dependence of the carbon-sequestering capacity of soils on their mineralization ability:

SP II. – sod-podzolic light loamy soil, SP II. m.er. – sod-podzolic light loamy medium eroded soil, SP II. st.er. – soddy-podzolic light loamy strongly eroded soil, SP II. soil. – sod-podzolic soiled soil, SP sand. loamy – sod-podzolic sandy loamy automorphic soil, SP sand. loam. – sod-podzolic sandy loamy soil, PG – peat-grey soil, PB – peat-bog soil

Углеродсеквестрирующая емкость дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почв изменялась в пределах 14,7–20,5. Органическое вещество неэродированных почв характеризовалось более высокой стабильностью по сравнению с почвами, подверженными эрозионной деградации. Это объясняется тем, что под воздействием эрозионных процессов происходит разрушение почвенных агрегатов и, следовательно, снижение защищенности ОВ. Минимальной углеродсеквестрирующей емкостью (14,7) характеризовалась дерново-подзолистая легкосуглинистая намытая почва. Наиболее высокой стабильностью органического вещества (58,2–60,1) отличались органогенные торфяно-глеевая и торфяно-болотная почвы.

## Заключение

Таким образом, содержание активного пула органического вещества в минеральных почвах существенно ниже, чем в органогенных почвах. В дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных

почвах содержание его составляет 812–988 мг/кг почвы, в торфяно-глеевой почве – 1932 и в торфяно-болотной почве – 6140 мг/кг почвы. В то же время в органомных почвах удельный вес АОВ в составе  $C_{\text{орг}}$  не превышает 2,2 %, тогда как в минеральных почвах достигает 7,4 % от общего количества органического углерода.

В составе активного пула органического вещества легко минерализуемая фракция составляет от 24,3 до 49,1 %, трудно минерализуемая фракция – от 50,9 до 76,0 %. Наблюдается снижение ее величины и доли с увеличением эрозийной деградации почв. Из минеральных почв наиболее высокой минерализационной способностью характеризуются дерново-подзолистые намытые почвы – 6,6. Минерализационная способность торфяных почв ниже, чем дерново-подзолистых, в которых доля потенциально минерализуемого углерода в составе общего органического вещества составляет всего 1,7 %.

Наблюдается закономерное повышение углеродсеквестрирующей емкости почв по мере снижения их минерализационной способности. Углеродсеквестрирующая емкость дерново-подзолистых почв изменяется в пределах 14,7–20,5, торфяно-глеевой и торфяно-болотной почв – 58,2–60,1. Органическое вещество незеродированных почв характеризуется более высокой стабильностью по сравнению с почвами, подверженными эрозийной деградации. Это объясняется тем, что под воздействием эрозийных процессов происходит разрушение почвенных агрегатов и, следовательно, снижение защищенности органического вещества. Минимальной углеродсеквестрирующей емкостью характеризуются намытые почвы.

### Библиографические ссылки

1. Семенов В. М., Иванникова Л. А., Кузнецова Т. В. и др. Минерализуемость органического вещества и секвестрирующая емкость почв зонального ряда. // Почвоведение. 2008. № 7. С. 1–14.
2. Davidson, E. A. Janssens I. A. Temperature Sensitivity of Soil Carbon Decomposition and Feedbacks to Climate Change. Nature. 2006. Vol. 440, № 7081. P. 165–173.
3. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change // Geoderma. 2004. Vol. 123, – № 1–2. P. 1–22.
4. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство) / под ред. А. И. Бедрицкого. М., 2018.
5. Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии Нечерноземья / под ред. Н. З. Милащенко. М., 1993.
6. Семенов В. М., Козум Б. М. Почвенное органическое вещество. М., 2015.
7. Janzen H. H. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? // Soil. Biol. Biochem. 2006. Vol. 38, № 3. P. 419–424.
8. Six, J. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and nature grassland soils // Soil. Sci. Soc. Amer. J. – 1998. – V. 62. – P. 1367–1377.
9. Jastrow J. D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral associated organic matter // Soil Biology and Biochemistry. 1996. Vol. 28, № 4–5. P. 665–676.
10. Six J., Paustian K., Elliott E. T., et al. Soil Structure and Organic Matter: I. Distribution of Aggregate-Size Classes and Aggregate-Associated Carbon // Soil. Sci. Soc. Amer. J. 2000. Vol. 64, № 2. P. 681–689.
11. Six J., Conant R. T., Paul E. A., et al. Soil Structure and: I. Distribution of Aggregate-Size Classes and Aggregate-Associated Carbon Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils // Plant and Soil. 2002. Vol. 241, № 2. P. 155–176.
12. Bronick C. J., Lal R. Soil structure and management: a review // Geoderma. 2005. Vol. 124, № 1–2. P. 3–22.
13. Baldock J. A., Skjemstad J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack // Organic Geochem. 2000. Vol. 31, № 7–8. P. 697–710.
14. Dalal R. C., Mayer R. J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. IV. Loss of organic carbon from different density fractions // Aust. J. Soil Res. 1986. Vol. 24. P. 301–309.
15. Skjemstad J. O., Dalal R. C., Barron P. F. Spectroscopic investigations of cultivation effects on organic matter of vertisols // Soil Sci. Soc. Am. J. 1986. Vol. 50. P. 354–359.
16. Цыбулько Н. Н. Стабильность органического вещества дерново-подзолистых супесчаных и торфяных почв в зависимости от их использования // Природные ресурсы. 2011. № 1. С. 27–34.
17. Tulina A. S., Semenov V. M., Tsybulka N. N., et al. The role of mineralization of the organic matter of soddy-podzolic and peat bog soils in the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  by plants // Eurasian Soil Science. 2010. Vol. 43, № 10. P. 1109–1119.
18. Иванникова Л. А. Способы определения минерализации органического вещества в почве по количеству продуцируемого  $\text{CO}_2$  // Методы исследований органического вещества почв. М., 2005. С. 376–385.
19. Семенов В. М., Иванникова Л. А., Кузнецова Т. В. и др. Роль растительной биомассы в формировании активного пула органического вещества почвы // Почвоведение. 2004. № 11. С. 1350–1359.
20. Muller T., Hoper H. Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model application // Soil Biol. Biochem. 2004. Vol. 36, № 6. P. 877–888.
21. Schwendenmann L., Pandal E. Response of organic matter dynamics to conversion from tropical forest to grassland as determined by long-term incubation // Biol. Fert. Soils. 2008. Vol. 44, № 8. P. 1053–1062.
22. Jastrow J. D., Boutton T. W., Miller R. M. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance // Soil Science Soc. of Amer. J. 1996. Vol. 60, № 3. P. 801–807.

23. Six J., Frey S. D., Thrieth R. K., et al. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems // *Soil Science Soc. of Amer. J.* 2006. Vol. 70, № 2. P. 555–569.
24. Swift R. S. Sequestration of carbon by soil // *Soil Science*. 2001. Vol. 166, № 11. P. 858–871.
25. Sollins, P., Homann P., Caldwell B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls // *Geoderma*. 1996. Vol. 74, № 1–2. P. 65–105.
26. Lützwon von M. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review // *Europ. J. of Soil Science*. 2006. Vol. 57, № 4. P. 426–445.

## References

1. Semenov V. M., Ivannikova L. A., Kusnezova T. V., et al. [Mineralizuyemost organicheskogo veshchestva i sekvistiruyushchaya yemkost pochv zonalnogo ryada]. *Pochvovedeniye*. 2008. No 7. – P. 1–14 (in Russ.).
2. Davidson Ye. A. Temperature Sensitivity of Soil Carbon Decomposition and Feedbacks to Climate Change. *Nature*. 2006. Vol. 440, No 7081. P. 165–173.
3. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*. 2004. Vol. 123, No 1–2. P. 1–22.
4. Bedritskij A. I. (ed.) [Natsionalnyy doklad «Globalnyy klimat i pochvennyy pokrov Rossii: otsenka riskov i ekologo-ekonomicheskikh posledstviy degradatsii zemel. Adaptivnye sistemy i tekhnologii ratsionalnogo prirodopolzovaniya (selskoe i lesnoe khozyaystvo)]. Moscow, 2018 (in Russ.).
5. Milashchenko N. Z. (ed.) [Rasshirennoye vosproizvodstvo plodorodiya pochv v intensivnom zemledelii Nechernozemya]. Moscow, 1993 (in Russ.).
6. Semenov V. M., Kogut B. M. [Pochvennoye organicheskoye veshchestvo]. Moscow, 2015 (in Russ.).
7. Janzen H. H. The soil carbon dilemma: Shell we hoard it or use it? *Soil. Biol. Biochem.* 2006. Vol. 38, No 3. P. 419–424.
8. Six J., Elliott E. T., Paustian K., et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and nature grassland soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 1998. Vol. 62. P. 1367–1377.
9. Jastrow J. D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral associated organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. 1996. Vol. 28, No 4–5. P. 665–676.
10. Six J., Paustian K., Elliott E. T., et al. Soil Structure and Organic Matter: I. Distribution of Aggregate-Size Classes and Aggregate-Associated Carbon. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 2000. Vol. 64. No 2. P. 681–689.
11. Six J., Conant R. T., Paul E. A., et al. Soil Structure and: I. Distribution of Aggregate-Size Classes and Aggregate-Associated Carbon Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*. 2002. Vol. 241, No 2. P. 155–176.
12. Bronick C. J., Lal R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*. 2005. Vol. 124, No 1–2. P. 3–22.
13. Baldock J. A., Skjemstad J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic Geochem.* 2000. Vol. 31, No 7–8. P. 697–710.
14. Dalal R. C., Mayer R. J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. IV. Loss of organic carbon from different density fractions. *Aust. J. Soil Res.* 1986. Vol. 24. P. 301–309.
15. Skjemstad J. O., Dalal R. C., Barron P. F. Spectroscopic investigations of cultivation effects on organic matter of vertisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1986. Vol. 50. P. 354–359.
16. Tsybulko N. N. [Stabilnost organicheskogo veshchestva dernovo-podzolistykh supeschanykh i torfyanykh pochv v zavisimosti ot ikh ispolzovaniya]. *Prirodnyye resursy*. 2011. No 1. P. 27–34 (in Russ.).
17. Tulina A. S., Semenov V. M., Tsybulko N. N., et al. The role of mineralization of the organic matter of soddy-podzolic and peat bog soils in the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  by plants. *Eurasian Soil Science*. 2010. Vol. 43, No 10. P. 1109–1119.
18. Ivannikova L. A. [Sposoby opredeleniya mineralizatsii organicheskogo veshchestva v pochve po kolichestvu produktsiruyemogo  $\text{SO}_2$ ]. *Metody issledovaniy organicheskogo veshchestva pochv*. Moscow, 2005. P. 376–385 (in Russ.).
19. Semenov V. M., Ivannikova L. A., Kusnezova T. V., et al. [Rol rastitelnoy biomassy v formirovanii aktivnogo pula organicheskogo veshchestva pochvy]. *Pochvovedeniye*. 2004. No 11. – P. 1350–1359 (in Russ.).
20. Muller T., Hoper H. Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model application. *Soil Biol. Biochem.* 2004. Vol. 36, No 6. P. 877–888.
21. Schwendenmann L., Pandal E. Response of organic matter dynamics to conversion from tropical forest to grassland as determined by long-term incubation. *Biol. Fertil. Soils*. 2008. Vol. 44, No 8. P. 1053–1062.
22. Jastrow J. D., Boutton T. W., Miller R. M. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Science Soc. of Amer. J.* 1996. Vol. 60, No 3. P. 801–807.
23. Six J., Frey S. D., Thitu R. K., et al. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Science Soc. of Amer. J.* 2006. Vol. 70, No 2. P. 555–569.
24. Swift R. S. Sequestration of carbon by soil. *Soil Science*. 2001. Vol. 166, No 11. P. 858–871.
25. Sollins P., Homann P., Caldwell B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*. 1996. Vol. 74, No 1–2. P. 65–105.
26. Lützwon von M. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review. *Europ. J. of Soil Science*. 2006. Vol. 57, No 4. P. 426–445.

Статья поступила в редколлегию 26.06.2018  
Received by editorial board 26.06.2018

# СОДЕРЖАНИЕ

## СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

- Лепская Н. Д.* Экологизация науки: основные векторы проблемы ..... 4  
*Позняк С. С., Шенк Ю.* К вопросу реализации Повестки дня 2030 в Республике Беларусь ..... 9

## ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

- Гончарова Н. В., Жильцова Ю. В., Ковалёв В. Ф., Позняк С. С.* Антиоксидантный статус растений как инструмент исследования их устойчивости к антропогенному воздействию ..... 21  
*Лозинская О. В.* Оценка состояния экологической среды в Республике Беларусь с различной антропогенной нагрузкой по показателям полиморфных маркеров клевера ползучего *Trifolium repens* L. .... 34  
*Лях Ю. Г.* Боровая и полевая дичь, ее причастность к распространению бактериальных инфекций ..... 43  
*Рогинский А. С., Гляковская Е. И.* Поврежденность личинками каштановой минирующей моли листовых пластинок конского каштана обыкновенного в зеленых насаждениях г. Гродно в летний период ..... 51

## РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Ерошов А. И., Марцуль И. Н., Антоненков А. И.* Исследования содержания естественных радионуклидов в различных объектах природной среды Республики Беларусь ..... 56  
*Литвяк В. В., Батян А. Н., Кравченко В. А.* Модификация физико-химических и экологических свойств крахмала в результате его электронного облучения ..... 62

## МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Кокорина Н. В., Каленкович Т. Ю., Грак Л. В., Альферович Е. Н.* Перинагальные исходы у женщин программы вспомогательных репродуктивных технологий в условиях антропогенной нагрузки ..... 73  
*Смолякова Р. М.* Молекулярно-генетический профиль экспрессии микроРНК при меланоме кожи ..... 80  
*Смолякова Р. М.* Прогнозирование течения заболевания при раке молочной железы на основе оценки экспрессии микроРНК ..... 87

## ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Головатый С. Е., Савченко С. В., Самусик Е. А.* Формирование педогеохимических аномалий в зонах воздействия промышленных предприятий ..... 94  
*Гурская И. М., Ровенская И. А., Подшиваленко С. В.* Анализ состояния очистных сооружений г. Слуцка и варианты их реконструкции ..... 104  
*Цыбулько Н. Н.* Углеродсеквестрирующая способность и минерализуемость органического вещества разных почв Беларуси ..... 110

# CONTENTS

## SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

- Lepskaya N. D.* Greening of science: main vectors of the problem ..... 4  
*Pazniak S. S., Schenk Yu.* To realize the 2030 agenda in the Republic of Belarus ..... 9

## THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

- Goncharova N. V., Zhiltsova Yu. V., Kavaliou V. F., Pazniak S. S.* Plants antioxidant status as a tool for studying its resistance to anthropogenic impact ..... 21  
*Lozinskaya O. V.* Estimation of environmental situation in the Republic of Belarus with various anthropogeneous load by the indicators of polymorphic markers clover creeping *Trifolium repens* L. .... 34  
*Liakh Yu. G.* Upland and field fowl, its involvement in the bacterial infections ..... 43  
*Roginsky A. S., Hliakouskaya K. I.* Damage of the foliage of horse chestnut by larvae of chestnut leaf-mining moth in Grodno green areas during summer ..... 51

## RADIOECOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

- Eroshov A. I., Martsul I. N., Antonenkov A. I.* The analysis of naturally occurring radionuclides in different objects of the environment in the Republic of Belarus ..... 56  
*Lityyak V. V., Batian A. N., Kravchenko V. A.* Modification of physical-chemical and ecological properties of starch as a result of its electron exposure ..... 62

## MEDICAL ECOLOGY

- Kokorina N. V., Kalenkovich T. Yu., Grac L. V., Alferovich E. N.* Perinatal outcomes in women of the program of assisted reproductive technologies in conditions of anthropogenic load ..... 73  
*Smoliakova R. M.* Molecular genetic microRNA expression profile for skin melanoma ..... 80  
*Smoliakova R. M.* Prediction of the course of the breast cancer based on the evaluation of microRNA expression ..... 87

## INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

- Golovaty S. E., Savchenko S. V., Samusik E. A.* Formation of pedogeochemical anomalies in zones impacts of industrial enterprises ..... 94  
*Hurskaya I. M., Ravenskaya I. A., Podshivalenko S. V.* Analysis of waste water treatment facilities in Slutsk and variants for it's reconstruction ..... 104  
*Tsybulka M. M.* Carbon sequestering ability and mineralizability of organic matter of different soils of Belarus ..... 110

*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. 2018**

Учредитель:  
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,  
220030, Минск.

Почтовый адрес: ул. Долгобродская, 23/1, каб. 205-2, 302,  
220070, Минск.

Тел. 398-89-34, 398-93-44.

E-mail: bulletin@iseu.by

«Журнал Белорусского государственного  
университета. Экология» издается с сентября 2017 г.  
До августа 2017 г. выходил под названием  
«Экологический вестник»  
(ISSN 1994-2087).

Редакторы *Л. М. Корневская, Т. А. Лавринович*  
Технический редактор *М. Ю. Мошкова*  
Корректор *А. В. Красуцкая*

Подписано в печать 19.09.2018.  
Тираж 100 экз. Заказ 291.

Республиканское унитарное предприятие  
«Информационно-вычислительный центр  
Министерства финансов Республики Беларусь»  
ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014.  
Ул. Кальварийская, 17, 220004, Минск.

© БГУ, 2018

**Journal  
of the Belarusian State University. Ecology.  
No. 3. 2018**

Founder:  
Belarusian State University

Registered address: Nezavisimosti ave., 4,  
220030, Minsk.

Correspondence address: Dolgobrodskaya str., 23/1, office 205-2, 302,  
220070, Minsk.

Tel. 398-89-34, 398-93-44.

E-mail: bulletin@iseu.by

«Journal of the Belarusian State University. Ecology»  
published since September, 2017.  
Until August, 2017 named «*Ekologicheskii vestnik*»  
(ISSN 1994-2087).

Editors *L. M. Korenevskaya, T. A. Lavrinovich*  
Technical editor *M. Yu. Moshkova*  
Proofreader *A. V. Krasutskaya*

Signed print 19.09.2018.  
Edition 100 copies. Order number 291.

RUE "Information Computing Center of the Ministry  
of Finance of the Republic of Belarus".  
License for publishing No. 02330/89, 3 March, 2014.  
Kalvaryjskaya str., 17, 220004, Minsk.

© BSU, 2018