



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**

**2019**

---

МИНСК  
БГУ

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Главный редактор** **МАСКЕВИЧ С. А.** – доктор физико-математических наук, профессор; Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.  
E-mail: direktor@iseu.by
- Заместитель главного редактора** **ПОЗНЯК С. С.** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.  
E-mail: pazniak@iseu.by
- Ответственный секретарь** **ЛЫСУХО Н. А.** – кандидат технических наук, доцент; Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.  
E-mail: nlysukha@mail.ru
- Батян А. Н.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Герменчук М. Г.** ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности» МЧС Республики Беларусь, Минск, Беларусь.
- Голубев А. П.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Головатый С. Е.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Гричик В. В.** Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Дардынская И. В.** Центр всемирного здоровья «Великие озера», Чикаго, США.
- Зафранская М. М.** Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Кильчевский А. В.** Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Коровин Ю. А.** Обнинский институт атомной энергетики – Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Обнинск, Россия.
- Ленгфельдер Э.** Радиологический институт здоровья и окружающей среды имени Отто Хуга, Мюнхен, Германия.
- Либератос Г.** Афинский технический университет, Афины, Греция.
- Логинов В. Ф.** Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Медведев С. В.** ГНУ «Объединенный институт проблем информатики» Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Степанов С. А.** Международный независимый эколого-политологический университет, Москва, Россия.
- Стожаров А. Н.** Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь.
- Тарутин И. Г.** ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова», Минск, Беларусь.
- Шишко Я.** Варшавский университет сельского хозяйства, Варшава, Польша.

## EDITORIAL BOARD

- Editor-in-chief** **MASKEVICH S. A.**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor; International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
E-mail: direktor@iseu.by
- Deputy editor-in-chief** **POZNYAK S. S.**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor; International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
E-mail: pazniak@iseu.by
- Executive secretary** **LYSUKHA N. A.**, PhD (engineering), Associate Professor; International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.  
E-mail: nlysukha@mail.ru
- 
- Batyan A. N.** International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Hermenchuk M. G.** State Scientific and Technical Institution «Center for Nuclear and Radiation Safety» of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus.
- Golubev A. P.** International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Golovaty S. E.** International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Grichik V. V.** Belarusian State University, Minsk, Belarus
- Dardynskaya I. V.** Great Lakes Center for Occupational and Environmental Safety and Health, Chicago, USA.
- Zafranskaya M. M.** International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Kilchevsky A. V.** National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Korovin Y. A.** Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia.
- Lengfelder E.** Otto Hug Radiological Institute for Health and Environment, Munich, Germany.
- Lyberatos G.** Athens Technical University, Athens, Greece.
- Loginov V. F.** National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Medvedev S. V.** The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Stepanov S. A.** International Independent Ecological and Political University, Moscow, Russia.
- Stozharov A. N.** Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus.
- Tarutin I. G.** N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Belarus.
- Szyszko J.** Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

---

---

# СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

---

## SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

---

---

УДК 614.253:614.253.83

### ПРОЕКТ ЮНЕСКО «НАЦИОНАЛЬНАЯ ШКОЛА-ЛАБОРАТОРИЯ ПО БИОЭТИКЕ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ – ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ ПОВЕСТКИ 2030 В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ»

**Н. В. ГОНЧАРОВА<sup>1)</sup>**

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

Дана оценка значимости программы ЮНЕСКО по биоэтике, рассматриваются методы, аспекты и роль в связи с применением ее в экологическом образовании. Анализируются положения проекта ЮНЕСКО, выполняемого в Международном государственном экологическом институте имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета. Выделяются такие основополагающие принципы экологического образования, как непрерывности, постепенности и этапности становления личности; фундаментальности, рефлексивности, самоанализа, осмысления, самопонимания личности; взаимосвязи профессионального и экологического образования; региональности; междисциплинарности и внедрение их в учебный и воспитательный процесс. Обсуждается гуманистическое направление биоэтики в качестве общемировой тенденции устойчивого развития.

**Ключевые слова:** ЮНЕСКО; биоэтика; инновационные технологии; экологическое образование.

---

#### **Образец цитирования:**

Гончарова НВ. Проект ЮНЕСКО «Национальная школа-лаборатория по биоэтике для школьников – инструмент реализации Повестки 2030 в Республике Беларусь». *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;3:4–8.

#### **For citation:**

Goncharova NV. UNESCO project «National school-laboratory on bioethics for schoolchildren – instrument of implementing the Agenda 2030 in the Republic of Belarus». *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;3:4–8. Russian.

---

#### **Авторы:**

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

#### **Author:**

**Nadezhda V. Goncharova**, PhD (biology), docent; associate professor at the department of environmental monitoring and management.  
[goncharova@iseu.by](mailto:goncharova@iseu.by)

---

## UNESCO PROJECT «NATIONAL SCHOOL-LABORATORY ON BIOETHICS FOR SCHOOLCHILDREN – INSTRUMENT OF IMPLEMENTING THE AGENDA 2030 IN THE REPUBLIC OF BELARUS»

*N. V. GONCHAROVA<sup>a</sup>*

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

The author assesses the significance of UNESCO's bioethics programs, various methods and aspects of its application, and its role in environmental education. The principal statements of the UNESCO project carried out at the International Sakharov Environmental Institute Belarusian State University are reviewed. The Basic principles of environmental education such as continuity, gradualness, stages of personality formation and their implementation in the education process are discussed.

**Key words:** UNESCO; bioethics; innovative technologies; environmental education.

### Введение

Развитое этическое и экологическое сознание – важная составляющая мировоззрения человека. Биоэтика – междисциплинарное научное направление. Оно тесно связано с исследованиями в области философии, этики, биологии, медицины, социологии, юриспруденции, экологии. Актуализация задач биоэтики в настоящее время обусловлена развитием научно-технического прогресса. В связи с ними встают многочисленные проблемы: экология – этика–медицина; экологическая культура человека; нравственное отношение к природе. Природа – родительское лоно человека. Но, признавая ценность природы, человек все же стремился использовать ее богатства для удовлетворения своих постоянно развивающихся потребностей. Следовательно, вопросы биоэтики нуждаются в глубоком переосмыслении и всестороннем изучении в социальном контексте.

Значимость этических принципов приобретает все большее значение и на международном уровне, в частности, благодаря биоэтической программе, которая была начата в рамках ООН, а именно в такой ее структуре, как ЮНЕСКО. Программа по биоэтике была основана в 1993 г., а с 2002 г. она стала одним из приоритетных направлений деятельности ЮНЕСКО [1]. Благодаря совместным усилиям государств, отдельных организаций, в том числе взаимодействию в рамках ООН, современные международные этические стандарты находят свое выражение в принятии международных договоров, деклараций, конвенций и дальнейшем внедрении новых разрабатываемых принципов в национальные законодательства. Что касается биоэтических принципов, то они нашли отражение во Всемирной Декларации по биоэтике и правам человека, принятой 19 октября 2005 г. на 33 сессии Генеральной Ассамблеи ЮНЕСКО [2].

В настоящее время базовая программа по биоэтике, разработанная на основании Всемирной декларации о биоэтике и правах человека ЮНЕСКО, получила широкое распространение. Многие из учреждений высшего образования выдвинули предложение том, что ознакомление с основными этическими принципами может осуществляться не только студентами высших заведений и колледжей, но и учениками в рамках школьной программы [3].

Одной из задач экологического образования на современном этапе является формирование у будущих специалистов современного экологического мировоззрения, развивающего способность осуществлять свою профессиональную деятельность в соответствии с возможностями природы, исходя из принципа «ALARA». Сегодня система экологического образования строится внутри действующей системы образования, являясь ее важной составляющей. Экология стала интегральной наукой, связанной почти со всеми естественными и техническими дисциплинами. Она преподается в том или ином объеме во всех учебных заведениях, становится основной при принятии решений о поддержке инновационных проектов.

Главная цель экологического образования: формирование у учащейся молодежи и общества в целом экологического мировоззрения на основе единства научных и практических знаний, ответственного и положительного эмоционально-ценностного отношения к своему здоровью, окружающей среде, улучшению качества жизни, удовлетворению потребностей человека. Для достижения этой цели акцент учебного процесса должен быть поставлен на:

- формировании знаний, необходимых для понимания процессов, происходящих в системе «человек–общество–техника–природа», содействии решению локальных социально-экологических проблем;

- воспитании бережного отношения к природе и выработке активной гражданской позиции, основанной на чувстве сопричастности к решению социально-экологических проблем и ответственности за состояние окружающей среды;

- умении анализировать экологические проблемы и прогнозировать последствия деятельности человека в природе, способностей самостоятельного и совместного принятия и реализации экологически значимых решений.

Одной из задач экологического образования является формирование экологической культуры подрастающего поколения. Экологическая культура – это достижение экологических знаний, развитие экологического сознания, приобретение навыков в поведении людей, направленных на сохранение природных условий, необходимых для развития общества, гармоничное взаимоотношение между обществом и природой.

Основу экологической культуры составляют следующие компоненты:

- экологическое сознание (естественно-научные, технические знания и ценностно-ориентированные отношения);

- экологическое мышление (способность устанавливать причинно-следственные, вероятные, прогностические и другие виды связей);

- экологически оправданное поведение, которое характеризуется переходом экологических знаний, экологического мышления в повседневную форму поведения.

Для построения системы формирования экологической культуры нами выделены ведущие принципы, которые определяют требования к экологическому образованию, разработку и использование методов и средств обучения, обеспечивают единство знаний, доступность и целенаправленность.

Наиболее важные специфические из них, на которые следует опираться при обучении:

- принцип непрерывности вытекает из постепенности и этапности становления и развития экологической культуры, предполагает организацию обучения, воспитания и развития подрастающего поколения на всех этапах: семейное, дошкольное, школьное, профессиональное, вузовское;

- принцип фундаментальности является ведущим принципом при отборе содержания эколого-профессионального образования будущего выпускника среднего специального заведения, обеспечивающим гарантии его образовательного потенциала; фундаментальность подготовки предполагает овладение студентами экологическими и профессиональными знаниями, обобщенными видами экологической и профессиональной деятельности, обеспечивает возможность адаптации в широкой сфере профессиональной деятельности;

- принцип рефлексивности предполагает создание в образовательном процессе условий для осмысления, самоанализа, самопонимания личности для осознания своего внутреннего мира;

- принцип взаимосвязи профессионального и экологического образования предусматривает экологизацию содержания образовательных программ профессионального обучения, учета экологического компонента в стандартах средних специальных учебных заведений;

- принцип региональности предполагает учет в экологическом образовании регионального компонента: природных и социально-экономических условий, использование в содержании экологического образования информации, характерной для данного региона, национальных и культурных традиций;

- принцип личностности направлен на обращение к обучающему, студенту для преобразования общественной необходимости сохранения природы во внутренние личностные потребности и интересы, нормы поведения будущих специалистов по отношению к природе;

- принцип междисциплинарности отражает взаимосвязь философских, естественно-научных, гуманитарных, правовых, экономических и других аспектов экологического образования; предполагает согласованное распределение элементов экологического содержания в структуре отдельных учебных дисциплин, скоординированное развитие на основе междисциплинарных связей экологических знаний и видов экологической деятельности с учетом возрастных особенностей обучающихся, а также поэтапную интеграцию экологических знаний и применение их в экологической деятельности.

Использование в учебном процессе современных образовательных технологий вырабатывает умения и навыки системного мышления, пробуждает у студентов стремление к поиску новых идей, к творчеству и коллективному взаимодействию, способствует формированию готовности к собственному оптимальному взаимодействию с природой посредством усвоения студентами экологических знаний, эмоционально-ценностных отношений, способов деятельности, соответствующих убеждений и потребностей.

Экологическое образование способствует формированию экологического мировоззрения обучающихся, их экологической компетентности. Технология развития критического мышления основана на творческом сотрудничестве участников образовательного процесса, на развитии аналитического подхода к любому материалу, рассчитана на постановку проблемы и поиск ее решения. Она повышает

мотивацию студентов к изучению учебной дисциплины, помогает глубже понять и усвоить изучаемый материал. В ходе применения технологии формируются социально значимые качества личности, критическое мышление, способность анализировать информацию с позиции логики, различных научно обоснованных подходов и личностного понимания с тем, чтобы выносить взвешенные решения, а также применять полученные результаты как в стандартных, так и нестандартных ситуациях, вопросах и проблемах. Технология развития критического мышления – это формирование умения использовать полученные знания при решении практически-познавательных, ценностно-ориентированных и коммуникативных задач в учебной деятельности, желание активно участвовать в экологической деятельности по выявлению и устранению экологических проблем.

Применение современных образовательных технологий (метода проектов, деловых игр, технологии развития критического мышления, информационных технологий) способствует формированию экологической компетентности, повышению мотивации к изучаемому материалу. Экологические знания лишь тогда становятся основой экологического сознания, когда они приводят к экологически правильным действиям. Повестка дня 2030 г., принятая Организацией Объединенных Наций в 2015 г., представляет собой значительный шаг вперед в плане признания науки, технологий и инноваций в качестве движущей силы устойчивого развития в ее трех основных направлениях – экологическом, социальном и экономическом. Результаты обсуждений и размышлений о том, как кафедры ЮНЕСКО могут способствовать достижению Повестки дня 2030 г., выражаются в форме «Женевского этапа» («THE GENEVA MILESTONE»). «THE GENEVA MILESTONE» способствует руководству будущими усилиями кафедр ЮНЕСКО по естественным наукам в тесном сотрудничестве с семьей ЮНЕСКО и ее национальными комиссиями в качестве плана потенциальных направлений деятельности и сотрудничества на всех направлениях. Именно эти факты явились толчком к подготовке и подаче заявки в Программу ЮНЕСКО – Участия 2018–2019 [4].

Идея проекта «НАЦИОНАЛЬНАЯ ШКОЛА-ЛАБОРАТОРИЯ ПО БИОЭТИКЕ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ – ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ ПОВЕСТКИ 2030 В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ» – внедрение гуманистических принципов биоэтики в систему школьного образования. Сегодня разработка проблем биоэтики признана общемировой тенденцией стратегии устойчивого развития, что связано как с успехами, так и с издержками научно-технического прогресса. В Республике Беларусь актуальность биоэтических исследований и образования обусловлена целями защиты населения, реабилитации загрязненных радионуклидами территорий, а также необходимостью сохранения здоровья нации в условиях активного применения новых технологий. Формирование такого уровня нравственного сознания обеспечивается непрерывностью эколого-этического и биоэтического образования. Оно должно начинаться со средней школы, давать фундаментальное обоснование актуальным экологическим и моральным нормам в учреждении высшего образования, получать свое логическое развитие и завершение в системе последипломного образования экологов, биоисследователей, инженеров, агрономов, экономистов, педагогов и других специалистов.

Все вышеизложенное определяет актуальность и содержание проекта, ориентированного на организацию национальной школы-лаборатории по биологической этике. Следует отметить, что учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» БГУ имеет хорошую материально-методическую базу для его выполнения. В институте создана рабочая группа специалистов-экспертов в области биоэтики, экологической этики, этико-экологического воспитания и образования; разработаны пять учебных программ для непрерывного эко-этического обучения, методические рекомендации по внедрению их в систему общего и профессионального образования. Цель проекта – создание национальной школы-лаборатории для школьников, которая будет работать в режиме сезонных сессий (зимняя, летняя, осенняя). В реализацию проекта вовлечены естественно-научные кафедры ЮНЕСКО Республики Беларусь и ассоциированные школы ЮНЕСКО, а также Национальный Комитет по биоэтике Республики Беларусь.

Основные задачи проекта:

- ознакомление школьников с основами биоэтики, ее структурой, функциями, принципами, социальными аспектами и «открытыми» проблемами;
- методическое и методологическое обеспечение просвещения школьников в области биоэтики;
- подготовка учащейся молодежи к участию в реализации основных направлений Повестки 2030.

В ходе реализации проекта национальная школа-лаборатория в Республике Беларусь откроет возможность школьникам ассоциированных школ ЮНЕСКО, гимназий, колледжей получать базовые знания по биоэтике. Образовательной программой в рамках проекта предусматривается:

- обсуждение гуманистических оснований и острых проблем биоэтики;
- цикл лекций и обсуждение проблемы за круглым столом для старшего школьного возраста;

- система занятий практикума для детей среднего школьного возраста;
- тренинговые, игровые занятия для младших школьников (5–6 кл.).

Основные направления деятельности в рамках проекта:

1. Теоретическо-методическая разработка модели национальной школы-лаборатории по биоэтике.
2. Методическое обеспечение занятий в школе-лаборатории.
3. Организационно-практическая работа.
4. Организация и проведение лекций, практикумов, тренингов.

### Заключение

Таким образом, стратегия проекта направлена на создание в Республике Беларусь национальной школы-лаборатории по биоэтике. Он носит образовательно-воспитательный характер. Его выполнение предполагает применение комплексной методологии и методики. Идеи проекта имеют эффект переноса в районные и сельские школы Республики Беларусь. После завершения его действия школа-лаборатория продолжит свое существование. Три раза в год будут собираться школьники различных возрастных категорий для того, чтобы обсудить новые направления развития науки и биоэтики.

### Библиографические ссылки

1. Заховаева АГ. ОТ БИОЭТИКИ К ЭКОБИОЭТИКЕ. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований [Интернет]. 2014 [прочитано 29 августа 2019 г.]. 2014;6. Доступно по: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5172>
2. ЮНЕСКО, Всеобщая Декларация о Биоэтике и правах человека. [Интернет]. [Прочитано 29 августа 2019 г.]. Доступно по: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/declarations/pdf/ioethics\\_and\\_hr.pdf](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/pdf/ioethics_and_hr.pdf)
3. Международная сеть кафедры ЮНЕСКО по биоэтике. Австрия. [Интернет]. [Прочитано 29 августа 2019 г.]. Доступно по: <http://www.unesco-chair-bioethics>
4. UNITWIN/UNESCO Chairs Programm [Интернет]. [Прочитано 28 августа 2019 г.]. Доступно по: <https://en.unesco.org/unitwin-unesco-chairs-programme>

### References

1. Zakhovaev AG. FROM BIOETHICS TO ECOBIOETHICS. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy* [Internet]. 2014 [cited 2019 August 29]. 2014;6. Available from: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5172>. Russian.
2. UNESCO, Universal Declaration on Bioethics and Human Rights [Internet]. [Cited 2019 August 29]. Available from: [http://www.un.org/en/documents/decl\\_conv/declarations/pdf/bioethics\\_and\\_hr.pdf](http://www.un.org/en/documents/decl_conv/declarations/pdf/bioethics_and_hr.pdf). Russian.
3. *Mezhdunarodnaja set' kafedry YuNESKO po bioetike. Avstria* [The international network of the UNESCO Chair in Bioethics. Austria]. [Internet]. [Cited 2019 August 29]. Available from: <http://www.unesco-chair-bioethics>. Russian.
4. UNITWIN / UNESCO Chairs Programm [Internet]. [Cited 2019 August 28]. Available from : <https://en.unesco.org/unitwin-unesco-chairs-programme>.

Статья поступила в редколлегию 26.08.2019.  
Received by editorial board 26.08.2019.

---

---

# ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

---

## THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

---

---

УДК 502.6:581.331.2

### ПЕРСПЕКТИВЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН РАСТЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

С. С. ПОЗНЯК<sup>1)</sup>, К. А. ПРУДНИКОВА<sup>2)</sup>, О. М. КОНОПЕЛЬКО<sup>3)</sup>, А. Н. ХОХ<sup>4)</sup>

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

<sup>2)</sup>Белорусский государственный медицинский университет,  
пр. Дзержинского, 83, 220116, г. Минск, Беларусь

<sup>3)</sup>Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю  
радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды,  
пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Беларусь

<sup>4)</sup>Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь,  
ул. Филимонова, 25, 220114, г. Минск, Беларусь

---

#### Образец цитирования:

Позняк СС, Прудникова КА, Конопелько ОМ, Хох АН. Перспективы мониторинга состояния природной среды с использованием спорово-пыльцевых зерен растений Республики Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;3:9–17.

#### For citation:

Pazniak SS, Prudnikova KA, Konopelko OM, Khokh AN. Perspectives of monitoring of the natural environment using spore-dusty grains of plants in the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;3:9–17. Russian.

---

#### Авторы:

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

**Ксения Александровна Прудникова** – преподаватель-стажер кафедры биологической химии.

**Ольга Михайловна Конопелько** – магистр технических наук, ведущий инженер-эколог.

**Анна Николаевна Хох** – заведующий лабораторией исследования материалов, веществ и изделий.

#### Author:

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

*pazniak@iseu.by*

**Ksenia A. Prudnikova**, lecturer-probationer at the department of biological chemistry.

*prudnikovaksjusha@rambler.ru*

**Olga M. Konopelko**, master of science (engineering); leading environmental engineer.

*olga95\_kon@mail.ru*

**Anna N. Khokh**, head of the laboratory for the study of materials, substances and products.

*lann1hoh@gmail.com*

Рассматриваются основные направления экологической палинологии как одной из самостоятельных сфер мониторинга состояния окружающей среды в настоящем и перспективе. Отмечается, что пыльца является хорошим биологическим индикатором экологических загрязнений, чувствительна к внешним негативным факторам (радиация, вулканическая деятельность, повышенная солнечная активность, выбросы тяжелых металлов). Негативное влияние внешней среды отражается на ее строении (она становится стерильной). Оцениваются традиционные принципы мониторинга. Апробируется палинологический метод, основанный на изучении таксономического состава спорово-пыльцевых спектров. Проведено исследование пыльцевых зерен растений, наиболее распространенных в Республике Беларусь (ива белая, мать-и-мачеха, ветреница дубравная, каштан конский обыкновенный, нарцисс желтый, примула весенняя, береза повислая, черешня, вишня обыкновенная, резуха короткоплодная, яблоня лесная, самшит, айва японская, рябина обыкновенная, крокус весенний). Установлено, что у большинства из них истончена спородерма, являющаяся довольно устойчивой структурой к внешнему воздействию. Предполагается, что ее истончение – результат длительного негативного воздействия факторов окружающей среды на растения. Подтверждена возможность использования таксономического состава пыльцевых спектров древесных и травянистых растений, их морфологического строения для мониторинга состояния окружающей среды, ретроспективного анализа и прогнозирования состояния экосистем.

**Ключевые слова:** пыльцевые зерна; спородерма; таксономический состав; световая оптическая микроскопия; морфология пыльцевых зерен; временные препараты.

## PERSPECTIVES OF MONITORING OF THE NATURAL ENVIRONMENT USING SPOTER-DUSTY GRAINS OF PLANTS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

S. S. PAZNIAK<sup>a</sup>, K. A. PRUDNIKOVA<sup>b</sup>, O. M. KONOPELKO<sup>c</sup>, A. N. KHOKH<sup>d</sup>

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

<sup>b</sup>Belarusian State Medical University,  
83 Dzarzhynskaga Avenue, Minsk 220116, Belarus

<sup>c</sup>Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring,  
110 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220114, Belarus

<sup>d</sup>Scientific and Practical Centre of the State Forensic Examination Committee of the Republic of Belarus,  
25 Philimonova Street, Minsk 220114, Belarus

Corresponding author: S. S. Pazniak (pazniak@iseu.by)

The paper presents the guidelines of the environmental palynology as one of the independent areas of environmental monitoring both current and prospective. It is shown that pollen is a valuable biological indicator of environmental contamination, sensitive to external negative factors (radiation, volcanic activity, heavy metals pollution).

In the course of implementation, a sampling and research was carried out using a microscope of pollen grains of the most common plants of the Republic of Belarus: white willow, coltsfoot, young anemone, horse chestnut, yellow narcissus, spring primrose, hanging birch, sweet cherry, cherry short-fruited, forest apple, boxwood, Japanese quince, mountain ash, spring crocus. As a result of research, it has been established that the majority of the pollen grains studied have thinned sporoderma, which is a very resistant structure to external influences, which is apparently the result of a prolonged negative impact of environmental factors on plants. The possibility of using the taxonomic composition of pollen spectra of woody and herbaceous plants, their morphological structure for monitoring the state of the environment, retrospective analysis and forecasting the status of ecosystems was confirmed.

**Key words:** pollen grains; sporoderma; taxonomic composition; light optical microscopy; the morphology of pollen grains; temporary preparations.

### Введение

Загрязнение окружающей среды стало одной из острейших проблем современности. Оно вызывает негативные, часто необратимые нарушения, приводящие к изменению и деградации экосистем, а также ухудшению здоровья людей. В настоящее время среди известных научных течений стали выделяться новые, прогрессивные направления, которые занимаются исследованием уровня загрязнения природной среды. Одним из них является экологическая палинология. Это молодое и активно развивающееся отдельное, самостоятельное звено в цепи мониторинга состояния окружающей среды в настоящем и будущем.

Пыльца высших растений является хорошим биологическим индикатором экологических загрязнений (радиации, вулканической деятельности, повышенной солнечной активности, выбросов тяжелых

металлов и т. д.). Под влиянием перечисленных и многих других факторов происходят изменения морфологической структуры пыльцевых зерен: изменяются размеры и форма, количество и тип апертур, их расположение относительно друг друга, скульптура поверхности, количество слоев и толщина оболочки пыльцевого зерна [1]. Чем интенсивнее влияние внешних негативных факторов, тем серьезнее и очевиднее изменения, происходящие в морфологическом строении пыльцы. Важным моментом является то, что большая часть такой пыльцы теряет свою главную функцию, – она становится стерильной.

Негативные факторы воздействия индустриализованной среды на живую природу нарушают процессы жизнедеятельности растений и приводят к продуцированию большого количества тератоморфных пыльцевых зерен. Чем выше загрязненность окружающей среды, тем больше тератоморфной пыльцы попадает в атмосферные аэрозоли [2]. Аэропалинологический мониторинг в комплексе с морфологическим и биохимическим контролем качества пыльцы в зонах загрязнения и вблизи них помогает решению ряда сложных медицинских и природоохранных проблем. Существует Национальная система мониторинга окружающей среды, которая на данный момент решает только часть задач по ее оценке, в том числе с помощью объектов растительного мира [3].

Использование традиционных методов оценки воздействия на окружающую среду зачастую не позволяет получать адекватную информацию о происходящих в ней качественных изменениях. В связи с этим требуется оптимизация существующих и поиск новых инновационных методов мониторинга. Весьма перспективным, с нашей точки зрения, является применение методов биологической индикации, которые позволяют оценивать не только отдельные компоненты, но и в целом состояние биосферы. Существующие в настоящее время апробированные методы биоиндикации имеют ряд таких недостатков, как сложность выполнения, высокая стоимость и узкая область применения [4]. По нашему мнению, палинологический метод – достойное перспективное направление, не имеющее вышеуказанных недостатков. Он основан на изучении таксономического состава спорово-пыльцевых спектров в комплексе и с учетом отклонений в морфологическом строении зерен, непосредственным анализом специфики этих отклонений.

Цель исследования заключается в изучении таксономического состава пыльцевых спектров древесных и травянистых растений, их морфологического строения для оценки состояния окружающей среды, ретроспективного анализа и прогнозирования состояния экосистем.

Задачи исследования:

– Осуществить отбор экспериментального материала пыльцы растений, наиболее распространенных в Республике Беларусь, в период массового цветения.

– Выполнить палинологические исследования пыльцевых зерен с помощью светового и сканирующего электронного микроскопов по параметрам: форма пыльцевого зерна, размер пыльцевого зерна, количество апертур, характер расположения и тип апертур, толщина и количество слоев спородермы, характер и тип скульптуры спородермы, нарушение симметрии пыльцевого зерна.

– Выявить тератоморфные, стерильные и фертильные пыльцевые зерна, свидетельствующие о состоянии окружающей среды.

## Материалы и методы исследования

Палинологические исследования включают в себя подготовку препаратов из пыльцы и их изучение с помощью микроскопии. В нашем исследовании мы использовали пыльцу «свежую» и гербарную. Были изучены календари пыления растений и выбраны наиболее благоприятные дни для сбора пыльцы.

В период массового цветения цветки растений срезались и сушились в течение трех дней. После этого пыльца с каждого цветка стряхивалась на предметное стекло или в пробирки эппендорф, в зависимости от цели получения пыльцевых зерен. Данный метод сбора пыльцевых зерен позволяет избежать попадания пыльцы других растений в смесь пыльцевых зерен, необходимую нам для анализа, и собрать пыльцевые зерна с минимальными повреждениями [5].

Далее проводилось приготовление временных препаратов из пыльцы. Временный препарат – это материал, используемый в течение непродолжительного времени. В качестве дисперсной среды при приготовлении препаратов чаще всего применялась вода, иногда – смесь из глицерина и воды в соотношении 1:1. Препараты с глицерином могут храниться продолжительное время [6]. Приготовление временного препарата как для нативной, так и для гербарной пыльцы начиналось с подготовки предметного и покровного стекол: тщательно протиралось спиртом, чтобы в препарат не попало ничего постороннего. При изготовлении препарата из нативной пыльцы на предметное стекло помещался пыльник и разрушалась его оболочка, отделялись пыльцевые зерна, а на них наносилась капля дистиллированной воды. После того, как препарат подсохнет, пыльцу, фиксировали каплей 76 % спирта, слабо окрашенного фуксином. На предметном стекле появлялось жирное кольцо, которое удалялось ватным тампоном, смоченным спиртом. Затем препарат заливали каплей разогретого глицерин-желатина и накрывали покровным стеклом, придерживая его с одной стороны препаровальной иглой [7].

При изготовлении препарата из гербарной пыльцы на предметное стекло помещали пыльник, на него наносили несколько капель 96 % спирта, и потом добавляли несколько капель дистиллированной воды. Стекло подогревали до полного испарения воды. Затем препаративной иглой разрушали оболочку пыльника, пыльцевые зерна фиксировали несколькими каплями 96 % спирта, слабо окрашенного фуксином, и заливали глицерин-желатином, затем накрывали покровным стеклом. Излишки глицерин-желатина удаляли фильтровальной бумагой и сушили в течение 3–4 дней. После протирали препарат спиртом и изучали при помощи светового оптического микроскопа Nikon Eclipse E200 [8] с использованием иммерсионных объективов.

Для сравнения экспериментально полученного морфологического строения пыльцевых зерен с имеющимися нормальными характеристиками, мы использовали «Информационную систему идентификации растительных объектов на основе карпологических, палинологических и анатомических данных» Московского государственного университета [9]. В данной информационной системе размещены фотографии и информация о нормальном морфологическом строении пыльцевых зерен и структурных тканей различных видов растений (рис. 1).

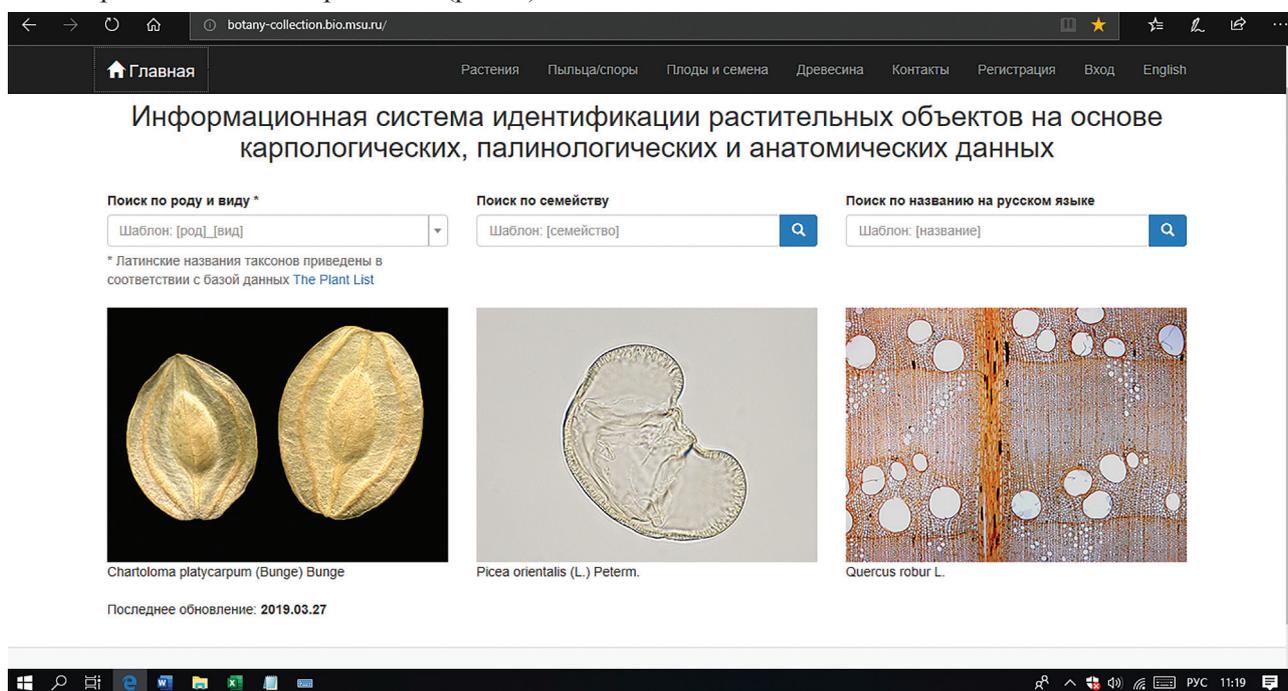


Рис. 1. Изображение главной страницы информационной системы

Fig. 1. The main page of the information system

Преимуществом данной системы перед существующими палинологическими атласами является ее доступность и простота использования. Каждый исследователь может получить информацию о строении и морфологии растений или пыльцевых зерен, территории их распространения, используя лишь доступ в интернет. Следует отметить, что большинство атласов являются дорогостоящими изданиями, некоторые из них созданы для определенной небольшой местности, где произрастает небольшое количество видов растений.

## Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования изучена морфология пыльцевых зерен 17 видов растений, которые произрастали в местах с различной антропогенной нагрузкой. Полученные изображения пыльцы сравнивали с банком данных нормальных фотографий из Информационной системы идентификации растительных объектов на основе карпологических, палинологических и анатомических данных.

**Ива белая (*Salix alba* L.)** в нормальном состоянии имеет пыльцевые зерна, содержащие 3 апертуровые ячейки среднего размера, имеющие бороздчатый тип и сетчатую скульптуру, размеры ячеек сетки уменьшаются с приближением к апертуре (рис. 2, а).

В отобранных образцах пыльцевые зерна средних размеров собраны в тетрады, количество апертур не изменено. В некоторых зернах наблюдается увеличение размера ячеек сетки с приближением к апертуре (рис. 2, б), что является отклонением от нормы. Толщина оболочки зерна не изменена. Пыльцевые зерна фертильны.

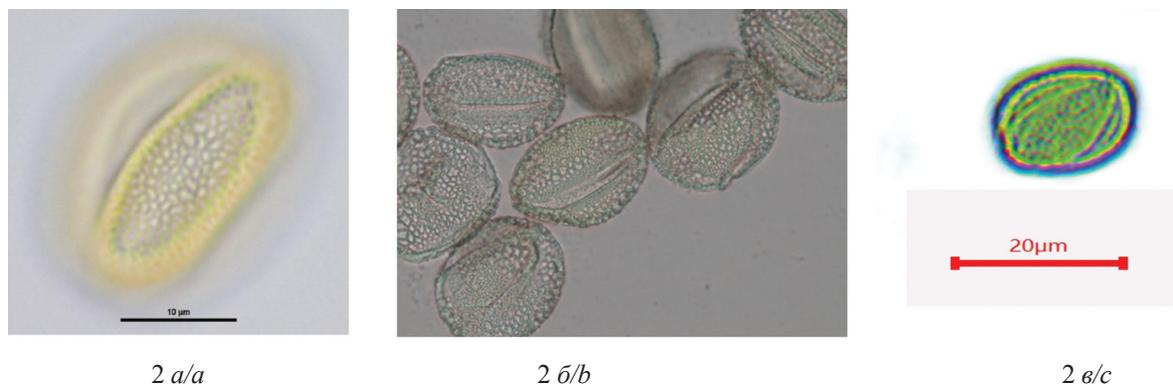


Рис. 2. Строение пыльцевого зерна ивы белой

Fig. 2. Structure of the pollen grain of white willow

**Мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.).** Нормальное пыльцевое зерно мать-и-мачехи имеет средний размер, шиповатую скульптуру, содержащую высокие, конические шипы. На оболочке находятся три расположенные экваториально апертуры бороздно-орового типа (рис. 3, а).

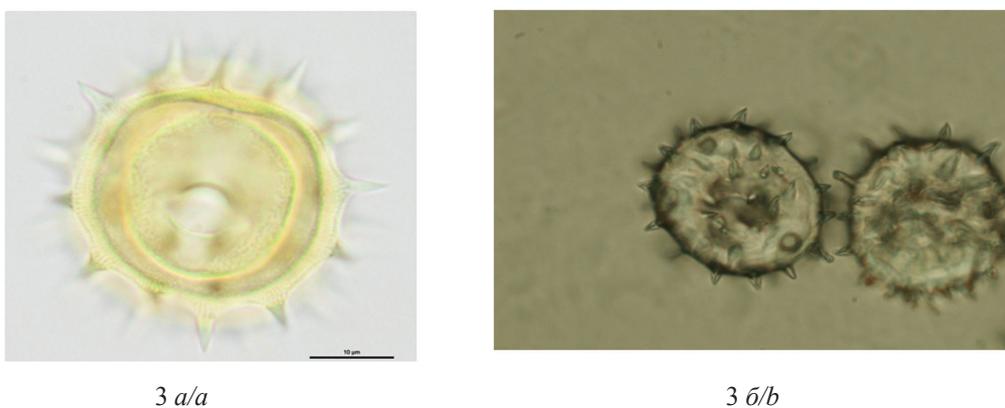


Рис. 3. Строение пыльцевого зерна мать-и-мачехи

Fig. 3. Structure of the pollen grain of coltsfoot

Полученные нами изображения пыльцевых зерен мать-и-мачехи среднего размера, скульптура состоит из высоких конических шипов (рис. 3, б). Количество и расположение апертур соответствует норме, хотя оболочка пыльцевого зерна истончена. Пыльцевые зерна фертильны.

**Ветреница дубравная (*Anemone nemorosa* L.).** Нормальное строение пыльцевого зерна ветреницы дубравной среднего размера, бугорчатой скульптуры. Оболочка содержит три апертуры бороздчатого типа, расположенные экваториально (рис. 4, а).

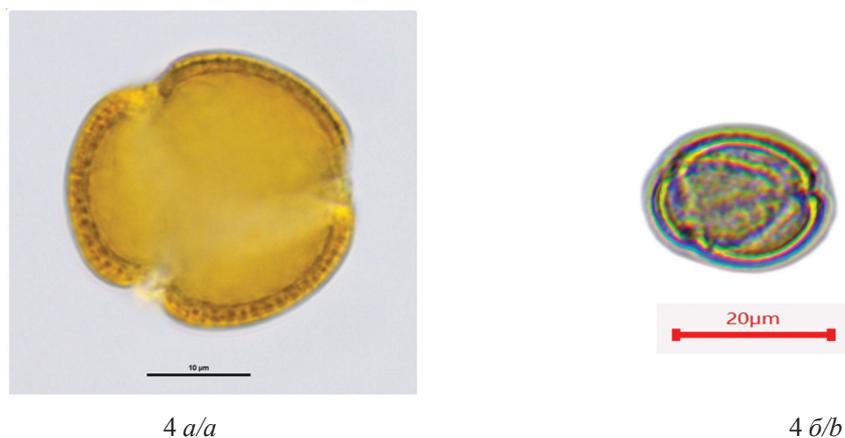


Рис. 4. Строение пыльцевого зерна ветреницы дубравной

Fig. 4. Structure of the pollen grain of young anemone

Полученное изображение пыльцевого зерна ветреницы дубравной имеет средний размер. Изменений в морфологической структуре нет. Строение оболочки соответствует норме. В строении скульптуры есть небольшие сглаживания бугорчатости (рис. 4, б). Пыльцевые зерна фертильны.

**Конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.).** Пыльцевое зерно конского каштана среднего размера. Скульптура зерна струйчатая, на поверхности экваториально расположены 3 апертурны бороздно-орового типа. Мембраны апертурны содержат шипики (рис. 5, а).

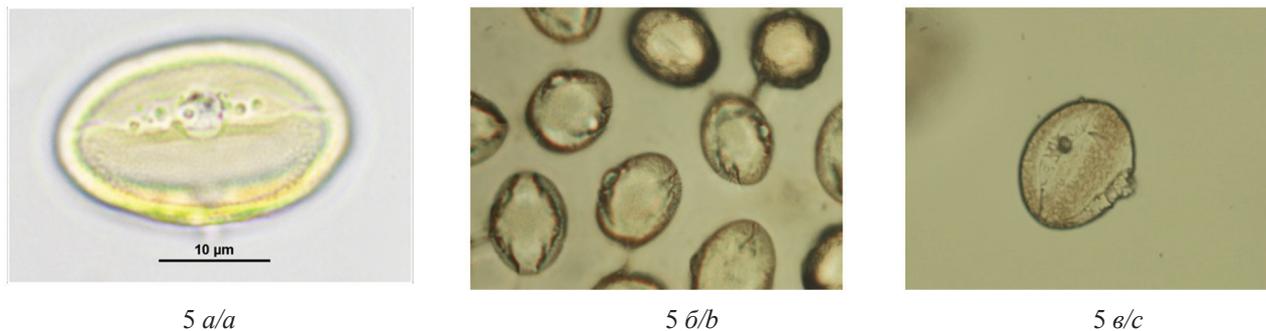


Рис. 5. Строение пыльцевого зерна конского каштана обыкновенного

Fig. 5. Structure of the pollen grain of horse chestnut

Пыльцевые зерна образцов средних размеров, образуют тетрады (рис. 5, б). Отклонений в морфологическом строении нет. Количество апертур соответствует норме. Наблюдается небольшие истончения оболочки пыльцевых зерен (рис. 5, в). Пыльцевые зерна фертильны.

**Нарцисс желтый (*Narcissus pseudonarcissus* L.).** Пыльцевое зерно нарцисса желтого имеет нормальное морфологическое строение, средних размеров, мелкосетчатой скульптуры. На оболочке дистально расположена одна бороздчатая апертюра (рис. 6, а).

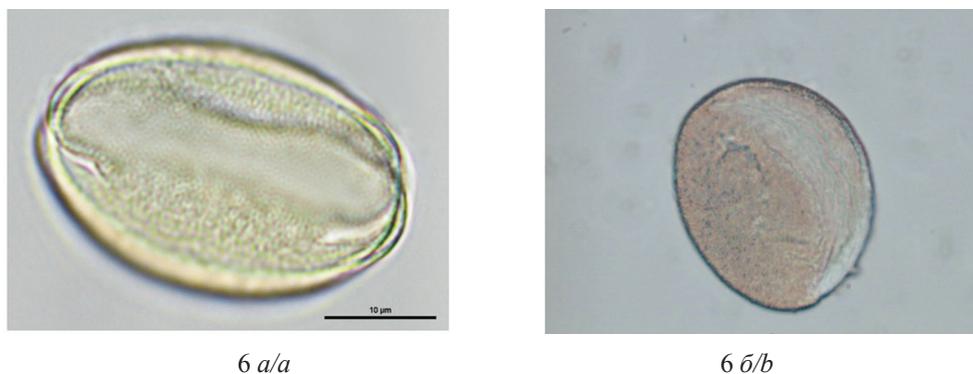


Рис. 6. Строение пыльцевого зерна нарцисса желтого

Fig. 6. Structure of the pollen grain of yellow narcissus

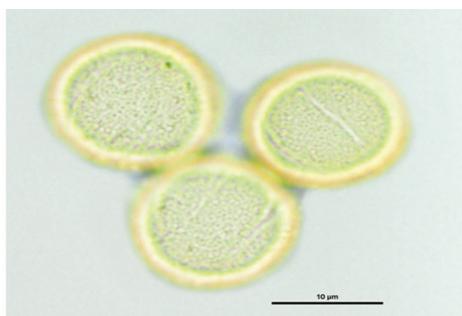
Фотография пыльцевого зерна нарцисса желтого, сделанная нами в ходе исследования, средних размеров. Скульптура мелко сетчатая. Апертюра одна, расположена дистально. Тип апертурны – борозда. Границы апертурны выражены нечетко (рис. 6, б). Пыльцевые зерна фертильны.

**Примула весенняя (*Primula veris* L.).** Нормальное строение пыльцевых зерен примулы весенней: зерна мелкие, с сетчатой скульптурой, апертурны расположены экваториально, насчитывается больше 6 апертур бороздчатого типа (рис. 7, а).

Пыльцевое зерно примулы весенней в эксперименте мелкое, скульптура сетчатая. Четко видно большое количество экваториально расположенных апертур. Сильно истончена оболочка пыльцевого зерна (рис. 7, б). Пыльцевые зерна фертильны.

**Береза повислая (*Bétula péndula* L.).** Нормальное строение пыльцевого зерна березы повислой: зерна среднего размера, апертурны четко выражены, расположены экваториально. Всего насчитывается 3 апертурны – пора. Особенностью строения апертурны является то, что они камерные (рис. 8, а).

В эксперименте пыльцевые зерна березы повислой среднего размера. Количество апертур отличается от нормы. На некоторых зернах можно увидеть 2 или 1 апертурны, которые выражены нечетко (рис. 8, б). Толщина оболочки пыльцевого зерна не изменена. Пыльцевые зерна фертильны.



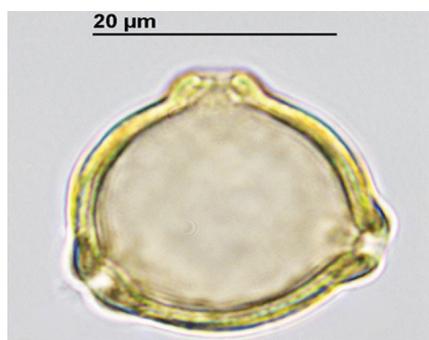
7 a/a



7 б/б

Рис. 7. Строение пыльцевого зерна примулы весенней

Fig. 7. Structure of the pollen grain of spring primrose



8 a/a

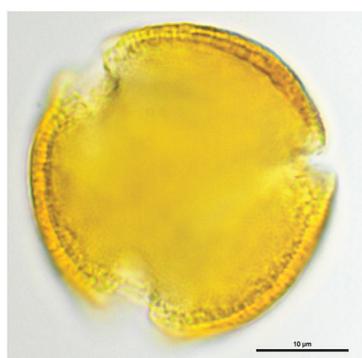


8 б/б

Рис. 8. Строение пыльцевого зерна березы повислой

Fig. 8. Structure of the pollen grain of hanging birch

**Вишня обыкновенная (*Prúnus cérasus* L.).** Строение пыльцевого зерна вишни обыкновенной в норме: зерна средних размеров, скульптура струйчатого типа. На поверхности экваториально расположены 3 бороздно-оровые апертуры (рис. 9, a).



9 a/a



9 б/б

Рис. 9. Строение пыльцевого зерна вишни обыкновенной

Fig. 9. Structure of the pollen grain of sweet cherry

Полученные экспериментально пыльцевые зерна вишни обыкновенной средних размеров. Апертуры бороздно-орового типа строения, расположены экваториально. Скульптура нормальная струйчатого типа. Оболочка пыльцевого зерна не изменена (рис. 9, б). Пыльцевые зерна фертильны.

**Яблоня лесная (*Malus sylvestris* L.).** Нормальное строение пыльцевого зерна яблони лесной: зерно средних размеров, скульптура струйчатая. Экваториально расположены 3 хорошо просматривающиеся апертуры. Тип апертур – бороздно-оровый (рис. 10, a). В эксперименте строение пыльцевого зерна яблони лесной: средних размеров, количество апертур и их расположение соответствует норме. Апертуры

хорошо просматриваются. Скульптура струйчатая. Оболочка пыльцевого зерна истончена (рис. 10, б). Пыльцевые зерна фертильны.



10 a/a



10 б/б

Рис. 10. Строение пыльцевого зерна яблони лесной

Fig. 10. Structure of the pollen grain of forest apple

**Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.).** Нормальное строение пыльцевого зерна рябины обыкновенной: среднего размера, скульптура струйчатая, на пыльцевом зерне насчитывается 3 бороздноровые апертуры, расположенные экваториально (рис. 11, а).



11 a/a



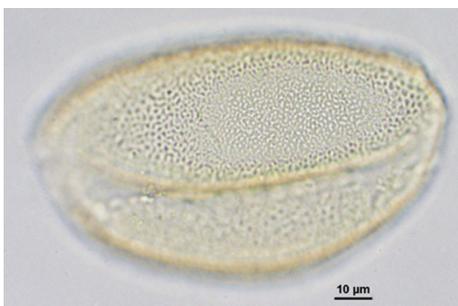
11 б/б

Рис. 11. Строение пыльцевого зерна рябины обыкновенной

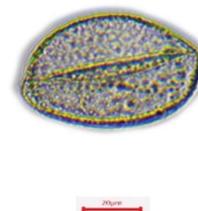
Fig. 11. Structure of the pollen grain of mountain ash

Пыльцевые зерна рябины обыкновенной, полученные нами в ходе исследования, среднего размера, скульптура не изменена. Апертуры ярко выражены и хорошо просматриваются. Количество апертур соответствует норме. Оболочка пыльцевого зерна в некоторых местах истончена (рис. 11, б). Пыльцевые зерна фертильны.

**Крокус весенний (*Crocus vernus* L.).** Пыльцевые зерна крокуса весеннего крупные с характерной сетчатой скульптурой. На зерне находится 1 бороздчатая апертура, которая расположена дистально (рис. 12, а).



12 a/a



12 б/б

Рис. 12. Строение пыльцевого зерна крокуса весеннего

Fig. 12. Structure of the pollen grain of spring crocus

Изображение пыльцевого зерна крокуса весеннего, полученное в ходе исследования, крупного размера с сетчатой скульптурой, соответствует норме. На каждом зерне дистально расположена 1 апертура, оболочка пыльцевого зерна не изменена (рис. 12, б). Пыльцевые зерна фертильны.

### Заключение

Изучение таксономического состава пыльцевых спектров древесных и травянистых растений позволило сделать вывод о пригодности морфологического строения пыльцевых зерен для оценки состояния окружающей среды, ретроспективного анализа и прогнозирования состояния экосистем.

Полученные нами результаты свидетельствуют о нормальном морфологическом строении апертур, скульптуры и формы пыльцевого зерна. В то же время большинство пыльцевых зерен обследованных растений в зонах повышенной антропогенной нагрузки имеют морфологические отклонения от своего нормального строения. Наиболее распространенным отклонением является утончение оболочки пыльцевого зерна – спородермы. Наблюдается истончение как внутреннего слоя спородермы – интины, которая является внутренней, неустойчивой оболочкой пыльцевого зерна, так и наружного слоя – экзины, представляющей собой устойчивую оболочку пыльцевого зерна, защищающую содержимое пыльцевого зерна от любых воздействий внешних факторов.

Мы связываем факт отклонения морфологического строения пыльцевых зерен от нормального строения с негативным воздействием на пыльцевые зерна окружающей среды, поскольку большинство образцов пыльцы растений было собрано в зонах воздействия промышленных предприятий.

### Библиографические ссылки

1. Lavrentev NV. Paleocologic Situation of Late Paleolithic in Zapadny Manych River Valley. *European Researcher*. 2012;28:1385–1398.
2. Лазарева ОВ, Лаврова НБ. Методические аспекты анализа функциональных особенностей пыльцы в целях палиноиндикации. *Геология и полезные ископаемые Карелии*. 2012;15:28–35.
3. Новенко ЕЮ, Мазей НГ, Зерницкая ВП. Рецентные спорово-пыльцевые спектры заповедных территорий европейской части России как ключ к интерпретации результатов палеоэкологических исследований. *Nature Conservation Research. Заповедная наука*. 2017;2(2):55–65.
4. Информационная система идентификации растительных объектов на основе карпологических, палинологических и анатомических данных [Интернет]. [Прочитано 05 июля 2019]. Доступно по: <http://botany-collection.bio.msu.ru>
5. Нестерова ЛА, Морозов ДА, Малоземова ОВ. Палеогеохимические и палинологические реконструкции юго-восточного склона Вепсовской возвышенности. *Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена*. 2014. 165 р.
6. Кезина ТВ. Морфология характерных спор из пограничных отложений мела и палеогена Приамурья. *Вестник АмГУ*. 2014; 65:102.
7. Болховитина НА. О номенклатуре и классификации ископаемых пыльцы и спор. *Проблемы палинологии*. 1973;4:59–64.
8. Дзюба ОФ. Терагоморфные пыльцевые зерна в современных и палеопалинологических спектрах и некоторые проблемы палиностратиграфии. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2007;2:34–39.
9. Дзюба ОФ. Изучение пыльцы из поверхностных проб для оценки качества окружающей среды. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2006; 1:42–56.

### References

1. Lavrentev NV. Paleocologic Situation of Late Paleolithic in Zapadny Manych River Valley. *European Researcher*. 2012;28:1385–1398.
2. Lazareva OV, Lavrova NB. Methodical aspects of the analysis of the functional characteristics of pollen for the purpose of palinoindication. *Geologija i poltzyne iskopaemye Karelii*. 2012;15:28–35. Russian.
3. Novenko EYU, Mazei NG, Zernitskaya VP. Receptive spore-pollen spectra of protected areas of the European part of Russia as the key to the interpretation of the results of paleoecological studies. *Nature Conservation Research. Zapovednaja nauka*. 2017;2(2):55–65. Russian.
4. Information system for identification of plant objects based on carpological, palynological and anatomical data [Internet]. [Cited 2019 July 05]. Available from: <http://botany-collection.bio.msu.ru>.
5. Nesterov LA, Morozov DA, Malozemova OB. Paleogeochemical and palynological reconstructions of the southeastern slope of the Veps hill. *Izvestija Rossijskogo pedagogičeskogo universiteta imeni A. I. Hertseny*. 2014. 165 p. Russian.
6. Kezina TV. The morphology of the characteristic dispute from the boundary deposits of the Cretaceous and Paleogene of the Amur Region. *Vestnik AmGU*. 2014; 65:102. Russian.
7. Bolkhovitina ON. On the nomenclature and classification of fossil pollen and spores. *Problemy palinologii*. 1973;4:59–64. Russian.
8. Dziuba OF. Terato-morphic pollen grains in modern and paleopalynological spectra and some problems of palynostratigraphy. *Neftegazovaja geologija. Teorija i praktika*. 2007;2:34–39. Russian.
9. Dziuba OF. Study of pollen from surface samples to assess environmental quality. *Neftegazovaja geologija. Teorija i praktika*. 2006.1:42–56. Russian.

Статья поступила в редакцию 15.07.2019.  
Received by editorial board 15.07.2019.

УДК 574.52

## БИОИНДИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННОГО ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОДОЕМОВ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. Г. СЫСА<sup>1)</sup>, А. В. ДЕРЖАНСКАЯ<sup>1)</sup>

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

Проведен структурный анализ фито- и зоопланктона, выявлены виды-индикаторы сапробности водоемов среди фотосинтезирующих организмов и беспозвоночных животных. Выполнен сравнительный анализ данных, полученных методом биоиндикации, с данными гидрохимических показателей районного центра гигиены и эпидемиологии. Показано, что методы биоиндикации не уступают по информативности гидрохимическим методам и могут также широко применяться при изучении санитарного состояния поверхностных вод экосистем, а также активно использоваться в лабораторной практике. Дана комплексная оценка фито- и зоопланктона как объекта биоиндикации в водотоках и водоемах бассейна р. Днепр при разных типах природного и антропогенного воздействия. Исследованы р. Березина (Бобруйский р-н) – правый приток р. Днепр и р. Оlsa (Кличевский р-н) – левый приток р. Березина, протекающие по территории Могилевской обл. Таким образом, одноклеточные фотосинтезирующие простейшие (водоросли и беспозвоночные животные), которые чувствительны к различным видам загрязнений, могут использоваться в качестве биоиндикаторов эвтрофирования водоемов.

**Ключевые слова:** качество воды; загрязнение; организмы-индикаторы; фитопланктон; зоопланктон; эвтрофирование; биоиндикация.

## BIOINDICATION OF ANTHROPOGENIC EUTROPHICATION OF WATER RESOURCES IN MOGILEV REGION

G. SYSA<sup>a</sup>, A. V. DERZHANSKAYA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University,  
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk, 220070, Belarus  
Corresponding author: A. G. Sysa (aliaksei.sysa@iseu.by)

The structural analysis of phyto- and zooplankton was carried out, species-indicators of saprobity of reservoirs among photosynthetic organisms and invertebrates were identified. A comparative analysis of the data obtained by bioindication with the data of hydrochemical parameters of the district center of hygiene and epidemiology was also carried out. It is shown that bioindication methods are not inferior in informativeness to hydrochemical methods and can also be widely used in studying the sanitary state of the surface waters of ecosystems, as well as being actively used in laboratory practice.

The aim of research is a comprehensive assessment of phyto- and zooplankton as a bioindication object in water resources of the Dnieper basin under various types of natural and anthropogenic effects. Object of study: rivers flowing on the territory of the Mogilev region – Berezhina (Bobruisk district), which is the right tributary of Dnieper, and Olsa (Klichev district),

---

### Образец цитирования:

Сыса АГ, Держанская АВ. Биоиндикация антропогенного эвтрофирования водоемов Могилевской области. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;3:18–31.

### For citation:

Sysa AG, Derzhanskaya AV. Bioindication of anthropogenic eutrophication of water resources in Mogilev region. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;3:18–31. Russian.

---

### Авторы:

**Алексей Григорьевич Сыса** – кандидат химических наук, доцент; декан факультета экологической медицины.  
**Анастасия Викторовна Держанская** – магистрант кафедры экологической химии и биохимии.

### Author:

**Aliaksei G. Sysa**, PhD (chemistry), docent; dean of the environmental medicine faculty.  
aliaksei.sysa@iseu.by  
**Anastasia V. Derzhanskaya**, master student at the department of environmental chemistry and biochemistry.

---

which is the left tributary of Berezina. The subject of the study is single-cell photosynthetic protozoa, algae and invertebrates, which are sensitive to various types of pollution and can be used as bioindicators for the eutrophication of water bodies.

**Key words:** quality of water; pollution; organisms-indicators; phytoplankton; zooplankton; eutrophication; bioindication.

## Введение

Антропогенное загрязнение и эвтрофирование водных экосистем – глобальные задачи современности. Особенно остро стоит вопрос снижения качества и без того ограниченного запаса пресных вод. Следовательно, необходимо проведение ряда целенаправленных исследований в области мониторинга водных экосистем, которые позволят оценить экологическое состояние водоемов. Функционирование водных экосистем в значительной мере определяется антропогенным и естественным поступлением биогенных элементов из окружающей среды. Таким образом, для определения экологически обоснованных норм антропогенного поступления биогенных элементов в экосистему водоема необходимо выявить особенности структуры фито- и зоопланктона, макрофитов, а также определить концентрацию химических элементов, содержащихся в воде.

Настоящая работа существенно расширяет взгляды на роль отдельных представителей фито- и зоопланктона как индикаторов состояния гидроэкосистем бассейна р. Днепр на разных уровнях организации и на использование их в количественных методах оценки состояния лотических систем.

Цель исследования: дать комплексную оценку фито- и зоопланктона как объекта биоиндикации в водотоках и водоемах бассейна Днепра при разных типах природного и антропогенного воздействия. Исследуются р. Березина (Бобруйский р-н) и р. Ольса (Кличевский р-н), протекающие по территории Могилевской обл.

**Географическая и гидрохимическая характеристика р. Ольса**, которая протекает по территории Кличевского и Кировского р-нов Могилевской обл. и Березинского р-на Минской обл., является левым притоком реки Березина. Длина реки с 92 км, площадь водосборного бассейна – 1690 км<sup>2</sup>, среднегодовой расход воды в устье – 9,3 м<sup>3</sup>/с, средний уклон реки – 0,3 м/км. Река Ольса протекает по Центральноберезинской равнине, замерзает в первой декаде декабря, ледоход – в третьей декаде марта. В нижнем течении наивысший уровень половодья в конце марта, средняя высота над меженным уровнем 1,2 м. Река используется как водоприемник мелиоративных каналов. Русло в верховье на протяжении 10 км канализировано, ниже ширина реки в межень 12–18 м, в низовьях 30–40 м. Берега в верховье низкие, заболоченные, между деревнями Воевичи и Заполье Кличевского р-на пологие, ниже до устья крутые и обрывистые. Основные притоки – Дулебка, Сушанка, Несета. Крупнейший населенный пункт на реке – г. Кличев. Помимо него, р. Ольса протекает около нескольких сел и деревень, крупнейший пункт из которых Матевичи (Минская обл.) [1].

Различный режим хозяйствования существенно отразился на химическом и биологическом состоянии р. Ольса. В XIX в. она была достаточно широкой, полноводной и пригодной для судоходства. В Кличе находилась пристань, на которой могли подыскать работу крестьяне из близлежащей местности. Река использовалась для сплава леса и доставки продуктов питания, функционировала водяная мельница. В настоящее время назначение водоема существенно изменилось. Реку перестали применять для сплава леса, в основном ее используют для хозяйственно-бытовых нужд населения и для целей рекреации. Около 60 % территории прибрежной полосы занимают хвойные и смешанные леса. Река имеет довольно изрезанную береговую линию. Преобладающая часть прибрежной полосы занята естественной растительностью. Промышленные предприятия, сточные воды которых могли бы нести антропогенную нагрузку, на берегах реки отсутствуют. Однако некоторые зоны водного потока находятся рядом с частным сектором, городским пляжем и городской баней, сточные воды из которого попадают в реку. Данные отрезки водоема, как предполагается, подвержены антропогенному влиянию и, как следствие, содержат большое количество питательных веществ для жизнедеятельности живых организмов.

Для оценки антропогенного влияния и исследования биологического состава реки и прибрежной зоны были определены участки, из которых брали пробы воды. Точка отбора № 1 размещалась вблизи городской бани, точка отбора № 2 – около частного сектора, точка отбора № 3 – за городом. Предполагается, что она не подвержена повышенной антропогенной нагрузке, поскольку не используется населением для рекреационных и хозяйственно-бытовых нужд. Выбранные участки обозначены на карте (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема русла реки Ольса (точки отбора проб)

Fig. 1. Schematic map of the Olsa river bed (sampling areas)

**Географическая и гидрохимическая характеристика р. Березина**, правого притока Днепра, самой длинной реки в Республике Беларусь, протекающей через всю территорию страны. Ее длина – 613 км, площадь бассейна – 24 500 км<sup>2</sup>. Березина берет начало в болотистой местности севернее Минской возвышенности, в Березинском заповеднике, в 1 км к юго-западу от г. Докшицы. Исток находится на водоразделе Черного и Балтийского моря. Рядом с истоком Березины берут начало верхние притоки р. Сервечь – бассейн р. Неман и р. Аржаницы – бассейн р. Западная Двина. Точка тройного водораздела находится примерно в 4 км к западу от станции Крулевщизна на безымянной высоте (между высотами 199,0 и 190,7). В верхнем течении Березина проходит через озера Медзозол и Палик. Протекает в южном направлении, по Центрально-березинской равнине, впадает в Днепр около деревни Береговая Слобода Речицкого р-на. Средний годовой расход воды в устье 145 м<sup>3</sup>/сек. На р. Березина находятся такие промышленные центры Республики Беларусь, как Бобруйск, Борисов, Березино, Светлогорск [1].

Около г. Бобруйска река имеет довольно изрезанную береговую линию, преобладающая часть прибрежной полосы реки занята естественной растительностью: хвойные и лиственные породы деревьев, многолетние высокие травы. Многие участки реки используются населением Бобруйска в хозяйственной

деятельности, в прибрежной части располагаются жилые застройки и промышленные предприятия. Одним из крупных промышленных объектов, располагающимся вблизи р. Березина, является открытое акционерное общество «ФАНДОК». В течение многих лет предприятие осуществляет полную переработку древесины, начиная с лесозаготовки и разделки хлыстов, выпуска пиломатериалов, клееной фанеры, мебельных щитов, столярной плиты, изделий деревообработки и заканчивая производством мебели. На деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь при производстве МДФ и фанеры образуются сточные воды, содержащие остатки карбамидоформальдегидных смол и клеев на их основе. Промывка оборудования происходит в конце смены горячей водой, но, как правило, сточные воды, содержащие олигомерные продукты, отводятся в накопительные емкости, однако при их хранении образуется осадок мочевино-формальдегидных смол. Осадок вывозится на полигон для захоронения, а надосадочная жидкость направляется в накопитель жидких отходов, либо сбрасывается в канализационную систему. Предприятие использует систему очистки сточных вод сорбционным методом, но некоторое количество смол все же попадает в канализационную систему или сбрасывается в р. Березина. Талые и ливневые сточные воды также попадают в реку и загрязняют ее воды [1].

Для проведения биоиндикационных исследований водоема на наличие антропогенного влияния были выбраны три участка реки, которые, предположительно, испытывают разную степень антропогенной нагрузки. Точка отбора проб № 1 размещается рядом с промышленным предприятием «ФАНДОК» (предполагается, что именно этот участок страдает от антропогенной нагрузки), точка отбора № 2 – вблизи частного сектора, точка отбора № 3 – за городом. Выбранные участки исследования обозначены на карте (рис. 2).



Рис. 2. Карта-схема русла реки Березина (точки отбора проб)

Fig. 2. Schematic map of the Berezina river bed (sampling areas)

По количеству проживающего населения и промышленных объектов, расположенных на берегах р. Березина, этот водоем испытывает значительно большую антропогенную нагрузку, чем бассейн р. Оlsa.

### Материалы и методы исследования

В работе использованы методы эмпирического (наблюдение и сравнение) и теоретического (анализ полученных данных) исследований. В ходе экспедиционного изучения (с мая по сентябрь 2018 г.) проводилось визуальное наблюдение поверхностных вод и береговой линии, фиксировалось наличие зарослей высших водных растений, отмечалось «цветение» воды, проводился отбор проб воды для последующего

анализа. Отбор количественных проб фитопланктона объемом 0,5 л проводили зачерпыванием из поверхностного слоя воды (0–0,2 м). Отбор качественных проб фитопланктона производили одновременно с отбором количественных. Фиксацию проб проводили 40 % формалином до появления слабого запаха. После отстаивания проб в затемненном месте в течение 15–20 дней проводили концентрирование проб осадочным методом. Всего отобрано 30 проб.

Обработку проб проводили согласно общепринятым в гидробиологии методам [2; 3]. Для подсчета численности водорослей использовали счетную камеру Горяева. Подсчет числа клеток (организмов) вели под микроскопом «Альтами» (Россия) при увеличении в 500 раз. Пересчет численности водорослей на 1 л осуществляли по формуле (1):

$$N = K \times n \times (A/a) \times v \times (1000/V), \quad (1)$$

где N – количество организмов в 1 л воды исследуемого водоема;

K – коэффициент, показывающий во сколько раз объем счетной камеры меньше 1 см<sup>3</sup>;

n – количество организмов, обнаруженных на просмотренных дорожках (квадратах, полосах) счетной камеры;

A – количество дорожек (квадратов, полос) в счетной камере;

a – количество дорожек (квадратов, полос), на которых производился подсчет водорослей;

V – первоначальный объем отобранной пробы (см<sup>3</sup>);

v – объем сгущенной пробы (см<sup>3</sup>).

Доминирующие виды фитопланктона выделяли по численности, как это рекомендовано Т. М. Михеевой для водных объектов, подверженных эвтрофированию [4]. К доминирующим относили виды, численность которых составляла не менее 10 % от общей численности фитопланктона. При определении совокупности доминирующих видов для каждой пробы учитывали представителей, занимающих одно из трех первых мест по показателю численности. Частоту доминирования рассчитывали согласно формуле (2):

$$DF = D/F \times 100, \quad (2)$$

где DF – частота доминирования;

F – общее число обработанных проб;

D – число проб, в которых данный вид занимал одно из трех первых мест по значениям численности [5; 6].

Доминантные виды высших водных растений и их расположение в водоеме фиксировались во время маршрутного обследования. Обследование береговой линии проводили пешком. Прибрежно-водную растительность изучали маршрутными методами. В результате были выявлены наиболее часто встречающиеся виды растений, а также зафиксированы места обнаружения видов растений – индикаторов загрязнения. Для выявления индикаторных видов растений использовали списки растений-индикаторов загрязнения и эвтрофирования различных водных объектов. При этом учитывали природные особенности района исследования и изучаемого водного объекта, так как один и тот же вид растения не всегда выступает индикатором антропогенного загрязнения. Всего определено 13 видов водных и прибрежно-водных растений.

Систематическое положение водорослей определялось при помощи «Определителя пресноводных водорослей» А. А. Гуревича [7]. Сапробная значимость водорослей определялась по методике Т. Я. Ашихминой [8]. При помощи «Атласа-определителя беспозвоночных животных» М. А. Козлова был определен перечень видов беспозвоночных животных [9].

Оценку сапробности вод проводили по методу Майера, используя известные индикаторные значения сапробности отдельных видов [10–13]. К доминирующим видам относили те, численность и биомасса которых составляла 10 и более % от общего значения.

Значение суммы и характеризует степень загрязненности водоема. Если сумма более 22, то вода относится к I классу качества. Значения суммы от 17 до 21 свидетельствуют о II классе качества (как и в первом случае, водоем будет охарактеризован как мезосапробный). От 11 до 16 баллов – III класс качества. Все значения меньше 11 характеризуют водоем как грязный (полисапробный) [14].

Статистическую обработку результатов исследования проводили в программе Microsoft Excel 2013.

## Результаты исследования и их обсуждение

**Оценка состояния фитопланктона как объекта биоиндикации экологического состояния р. Ольса.** Чтобы дать экологическую оценку водоема, было проведено исследование проб на наличие в них водорослей. В результате изучения водорослевого состава исследуемых проб воды в трех точках отбора

были выявлены виды, наиболее часто встречающиеся в образцах. К таким организмам были отнесены эвглена зеленая, хлорелла, хламидомонада, спирогира и мелозира. Был произведен подсчет этих организмов в пересчете на 1 л и составлен график динамики численности фитопланктона в трех точках отбора в период исследования проб (рис. 3).

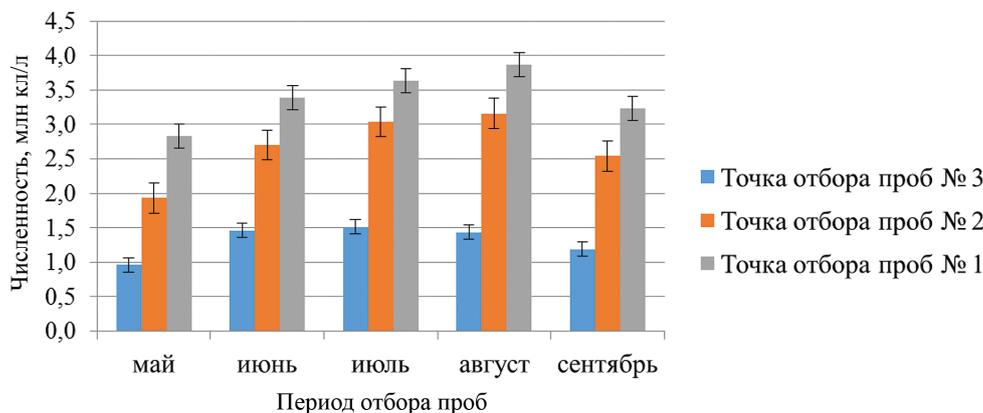


Рис. 3. Численность фитопланктона в исследуемых зонах реки Ольса

Fig. 3. Phytoplankton abundance in the Olsa river

Из данных, представленных на рис. 3, следует, что в трех исследуемых зонах реки в летние месяцы наблюдалась положительная динамика роста фитопланктона. Это явление, ожидаемое для многих водоемов, так как в летние месяцы водоем характеризуется обилием пищи, а также большим количеством солнечного света.

В исследуемых зонах реки наблюдается разная численность фитопланктона. В литературных источниках указывается, что повышенное содержание фотосинтезирующих организмов характерно для тех участков, которые склонны к эвтрофированию [15]. Исходя из этих данных, можно предположить, что зона реки, располагающаяся рядом с городской баней (№ 1), наиболее подвержена процессам эвтрофирования. Учитывая и тот факт, что питательные вещества, смываемые сточными водами с территории городской бани, попадают в водоем и используются в дальнейшем фотосинтезирующими организмами. Можно предположить, что этот участок несет повышенную антропогенную нагрузку на поверхностные воды реки. Также полученная информация свидетельствует о зависимости численности фитопланктона от удаленности берегов реки от близлежащих объектов. Необходимо заметить, что численность фитопланктона в точке отбора № 3 значительно ниже численности в точке отбора № 1 и № 2. Предполагается, что по мере удаления от реки объектов хозяйственного пользования, снижаются выброс питательных веществ в поверхностные воды и антропогенная нагрузка на водоем. Фитопланктон считается нормальной биотой любого водоема, однако распределение различных видов фитопланктона в условиях загрязнения различно. Во многих литературных источниках указываются виды, которые являются индикаторами загрязнения водоемов [16–18].

Проанализировав структуру фитопланктона в отобранных образцах воды в трех исследуемых точках, были получены сведения о том, что для каждой исследуемой зоны реки характерно доминирование тех ли иных представителей. К доминирующим видам в точке отбора № 3 отнесли анабону и диатому (рис. 4). Анабона и диатома являются типичными представителями водоемов, которые характеризуются олигосапробностью, то есть являются чистыми.

В точке отбора № 2 доминирующими видами оказались мелозира, улотрикс и спирогира. Данные отражены на диаграмме (рис. 5).

Реже встречались (в сравнении с точкой № 3) в образцах воды и такие представители, как анабона и диатома. Также было отмечено возрастание частоты встречаемости представителей эвгленовых в данной зоне реки. Как правило, спирогира и улотрикс обитают в слабозагрязненных водоемах, которые характеризуются как  $\beta$ -мезосапробные. Возрастание численности данных представителей фитопланктона в этой зоне реки может быть связано, прежде всего, с влиянием сточных вод, текущих из дворов частного сектора.

Анализ структуры фитопланктона в точке отбора № 1 показал, что доминирующими видами здесь являются эвглена, хламидомонада и хлорелла. Данные представлены на диаграмме (рис. 6).

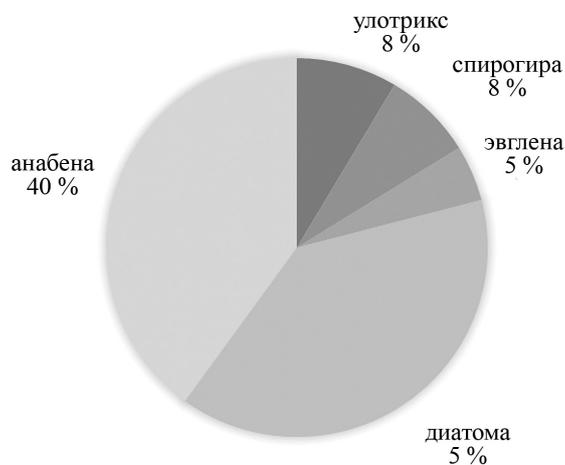


Рис. 4. Встречаемость различных видов фитопланктона в исследуемых пробах воды (точка отбора № 3)

Fig. 4. Prevalence of different types of phytoplankton (sampling area No. 3)

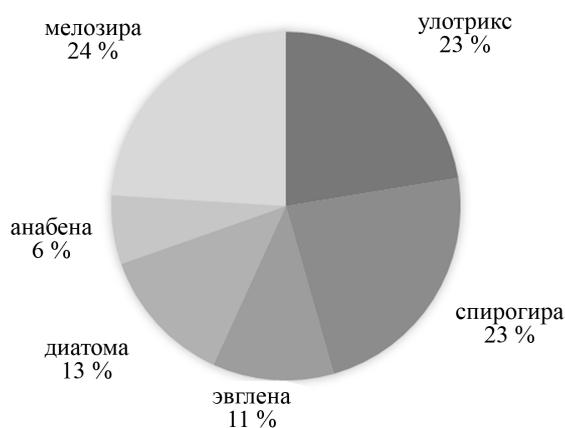


Рис. 5. Встречаемость различных видов фитопланктона в исследуемых пробах воды (точка отбора № 2)

Fig. 5. Prevalence of different types of phytoplankton (sampling area No. 2)



Рис. 6. Встречаемость различных видов фитопланктона в исследуемых пробах воды (точка отбора № 1)

Fig. 6. Prevalence of different types of phytoplankton (sampling area No. 1)

Присутствие в образцах представителей эвгленовых жгутиконосцев может свидетельствовать о сильном загрязнении водоемов. Таким образом, можно полагать, что исследуемый участок подвер-

жен повышенной антропогенной нагрузке, поскольку является местом отдыха горожан, и рядом с ним располагается городская баня. Следовательно, количество биогенных веществ, которые попадают в эту область реки, существенно увеличивается с наступлением купального сезона.

Воспользовавшись таблицей сапробной значимости водорослей (по Т. Я. Ашихминой), было установлено, что организмы, обнаруженные в пробах воды, являются представителями трех экологических групп по отношению к загрязнению поверхностных вод: эвглена зеленая и хлорелла являются полисапробными организмами (они обитают в загрязненных водоемах). В литературных источниках указано, что автогетеротрофные протисты способны к питанию не только за счет фотосинтеза, но и готовых органических веществ. Когда численность таких представителей в водоеме возрастает, это приводит к цветению воды, в результате вода мутнеет и в ней наблюдается дефицит кислорода. Хламидомонада является  $\alpha$ -мезосапробом, а спирогира относится к группе  $\beta$ -мезосапробов. Диатома и анабена предпочитают в качестве места обитания чистые водоемы и являются олигосапробами [19]. На основании полученных данных можно предположить, что р. Оlsa неоднородна по степени загрязнения и в ней выделяются зоны, характеризующиеся различной степенью сапробности. Исходя из этого, мы охарактеризовали участок, расположенный рядом с городской баней (№ 1), как переходный между  $\beta$ -мезосапробным и полисапробным; участок вблизи частного сектора –  $\alpha$ -мезосапробный (умеренно чистый) и участок, удаленный от города (точка отбора № 3), – переходный между  $\alpha$ -мезосапробным и олигосапробным.

**Оценка состояния зоопланктона как объекта биоиндикации экологического состояния р. Оlsa.**

Итак, беспозвоночных животных можно использовать для оценки чистоты воды в водоемах, поскольку именно эти представители водной фауны резко реагируют на изменение качества воды как среды обитания [20]. Отметим, что если в водоем начинают поступать различного рода загрязнители, то это приводит к гибели некоторых представителей этих существ, а численность некоторых, наоборот, резко увеличивается. Чистые водоемы богаты ветвистоусыми рачками (дафнии), а также довольно часто в них встречаются пресноводные моллюски. Для оценки экологического состояния р. Оlsa при помощи водных беспозвоночных была использована методика Майера.

В период отбора проб в образцах определялись беспозвоночные животные (табл. 1), которые были распределены по экологическим группам в соответствии с таблицей Майера.

Таблица 1

**Группы беспозвоночных животных реки Оlsa**

Table 1

**Groups of invertebrates of the Olsa river**

| Обитатели чистых вод | Организмы средней чувствительности | Обитатели загрязненных водоемов |
|----------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Дафния               | Личинки комара                     | Личинка стрекозы                |
| Бокоплав             | Катушки                            | Пиявка                          |
| Циклоп               | Двустворчатые моллюски             |                                 |

Расчетное значение индекса Майера составило 17. Оно характеризует водоем в целом как мезосапробный. Таким образом, он является умеренно чистым, однако в нем присутствует загрязнение [21].

Исходя из полученных данных по водорослевому составу и в соответствии с индексом Майера, можно сделать вывод о том, что р. Оlsa является  $\alpha$ -мезосапробной, поскольку в ней присутствуют виды, характерные для этой степени сапробности. Некоторые зоны реки подвержены процессам антропогенного эвтрофирования и требуют особого внимания со стороны населения, проживающего рядом с этими зонами.

**Оценка состояния фитопланктона как объекта биоиндикации экологического состояния р. Березина.** При изучении отобранных проб воды в трех исследуемых точках наблюдалась положительная динамика роста численности фитопланктона в течение летнего периода, а также увеличение его численности по мере приближения береговой зоны реки к объектам промышленности (точка отбора № 1, ФанДОК) и к частному сектору (точка отбора № 2). Полученные данные по динамике численности проиллюстрированы на графике (рис. 7).

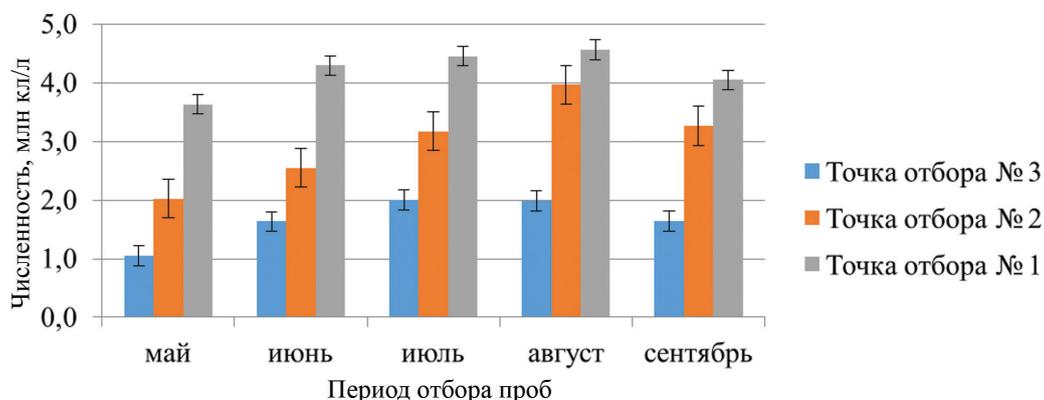


Рис. 7. Численность фитопланктона в исследуемых зонах реки Березина

Fig. 7. Phytoplankton abundance in the studied areas of the Berezina river

Данные, представленные на рис. 7, позволяют сделать вывод о повышении численности автотрофных организмов, связанного с тем, что в данный период наблюдаются наиболее благоприятные температуры для развития и жизнедеятельности микроорганизмов. Количество водорослей значительно отличается на разных участках реки. Высокая численность организмов наблюдается в точке отбора № 1, здесь содержание фитопланктона увеличивается практически в четыре раза по сравнению с точкой отбора № 3. Можно предположить, что такие показатели являются результатом действия антропогенных факторов: попадания биогенных веществ со сточными водами от рядом расположенного промышленного предприятия.

Участок реки, который располагается вдали от населенного пункта, характеризуется меньшим содержанием фитопланктона, а также низким темпом роста его численности в течение летнего периода. Исходя из этого, можно предположить, что эта зона реки в наименьшей степени подвержена процессам антропогенного эвтрофирования.

В исследуемых пробах также были выявлены наиболее часто встречающиеся виды, которые являются индикаторными при санитарно-гигиенической оценке состояния водоема. К таким видам относятся: улотрикс, спирогира, хламидомонада и хлорелла и т. п. В точке отбора № 3 наблюдалось явное преобладание в пробах анабены. Как указывается во многих литературных источниках, анабена является обитателем чистых водоемов, но она также способна выносить и умеренное органическое загрязнение, поскольку часто встречается как сопутствующий вид при цветении воды [16]. Поэтому можно предположить, что данный участок не является загрязненным. Довольно часто встречались диатома и улотрикс (рис. 8).



Рис. 8. Встречаемость различных видов фитопланктона в исследуемых пробах воды (точка отбора № 3)

Fig. 8. Prevalence of different types of phytoplankton (sampling area No. 3)

При исследовании проб воды, отобранных в точке отбора № 2, было установлено, что наиболее часто в пробах встречается мелозира и улотрикс.

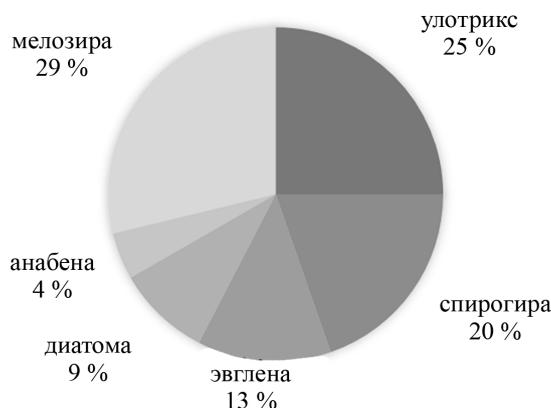


Рис. 9. Встречаемость различных видов фитопланктона в исследуемых пробах воды (точка отбора № 2)

Fig. 9. Prevalence of different types of phytoplankton (sampling area No. 2)

Используя таблицу сапробной значимости (по Т. Я. Ашихминой), следует отметить, что такие представители характерны для мезосапробных водоемов. Данные водные экосистемы характеризуются как естественным загрязнением, характерным для живого, наполненного многими гидробионтами водоема, так и очаговым загрязнением, где заканчивается влияние сильного загрязнения (у сбросов очищенных вод городской канализации, сточные воды с объектов животноводства и т. п.). Учитывая, что точка отбора № 2 расположена рядом с частным сектором, можно предположить, что возможными причинами доминирования именно данных представителей являются сточные хозяйственно-бытовые воды. Они содержат хлор, щелочи, кислоты, биогенные продукты, а также соли тяжелых металлов. Все эти продукты могут приводить к помутнению воды и увеличению численности автогетеротрофных организмов, для которых данные соединения могут служить питательной средой.

К доминирующим видам в точке отбора № 1 были отнесены хлорелла и эвглена. В исследуемых пробах не было обнаружено таких обитателей чистых водоемов, как анабена, представителей диатомовых водорослей. Данные представлены на диаграмме (рис. 10).

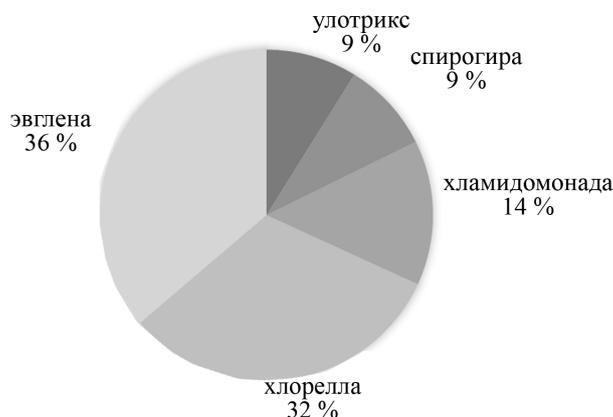


Рис. 10. Встречаемость различных видов фитопланктона в исследуемых пробах воды (точка отбора № 1)

Fig. 10. Prevalence of different types of phytoplankton (sampling area No. 1)

Обнаруженные микроорганизмы являются представителями полисапробных водоемов, особенно эвглена и хлорелла. Можно предположить, что данный участок реки страдает от загрязнения различного рода, а если учитывать то, что он расположен рядом с промышленным комплексом, то, видимо, в воде находится большое количество органических веществ, поступающих в водоем от предприятия. Однако во многих литературных источниках указано, что хлорелла является не только индикатором загрязнения, но она также участвует в процессах самоочищения водоема, как и эвглена зеленая [18; 22]. Выделяя большое количество кислорода в процессе фотосинтеза, она обогащает им воду, тем самым уменьшает содержание тяжелых металлов, попавших в водоем.

Исходя из полученных данных, можно предположить, что р. Березина, протекая на территории Бобруйского р-на, испытывает различную степень антропогенной нагрузки. Исследуемые зоны были

распределены по степени сапробности, что позволило идентифицировать точку отбора № 1 как полисапробную, поскольку обнаруженные в ней организмы – обитатели вод, характеризуют загрязнение. Так же на загрязнение указывает и высокая численность фитопланктона в пробах, в сравнении с зоной реки, которая расположена за городом.

Точку отбора № 2 можно отнести к мезосапробной зоне, так как численность фитопланктона в ней ниже, а выявленные организмы являются обитателями умеренно загрязненных водоемов. Зону реки, располагающуюся за пределами населенного пункта, можно охарактеризовать как переходную зону между мезо- и олигосапробной, поскольку она располагается вдали от объектов промышленности и практически не используется горожанами в целях рекреации, а количество фотосинтезирующих организмов в исследуемых пробах значительно ниже, по сравнению с точками отбора № 1 и 2.

**Оценка состояния зоопланктона как объекта биоиндикации экологического состояния р. Березина.** Экологическое состояние р. Березина было оценено при помощи методики Майера. В период отбора проб в образцах были определены беспозвоночные животные (табл. 2), которые далее распределялись по экологическим группам.

Таблица 2

Группы беспозвоночных животных реки Березина

Table 2

Groups of invertebrates of the Berezina river

| Обитатели чистых вод | Организмы средней чувствительности | Обитатели загрязненных водоемов |
|----------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Дафния               | Катушка                            | Пиявка                          |
| Бокоплав             | Беззубка большая                   | Прудовик                        |
|                      | Перловица                          |                                 |
|                      | Живородка                          |                                 |

Расчетное значение индекса Майера составило 16. Данное значение характеризует водоем в целом как мезосапробный, но вода имеет третий класс качества. Таким образом, водоем является загрязненным, природные свойства реки в некоторых зонах значительно изменены в результате поступления в нее сточных вод. Вода в этой части реки непригодна для питьевого использования, хозяйственно-бытового и культурно-бытового назначения.

Исходя из полученных данных по водорослевому составу и в соответствии с индексом Майера, можно сделать вывод о том, что р. Березина является  $\beta$ -мезосапробной, поскольку в ней присутствуют виды, характерные для этой степени сапробности. Некоторые из зон реки, расположенные на территории Бобруйска, испытывают высокую антропогенную нагрузку и подвержены процессам эвтрофирования.

При проведении гидробиологического исследования состояния водной экосистемы биоиндикация часто является наиболее подходящим методом для анализа влияния факторов среды, которые воздействуют на водоем в целом. Благодаря этому методу можно определить трофический статус водоема, его зоо- и фитоструктуру, однако комплексная оценка экологического состояния должна включать и другие методы гидрологии. В результате изучения структуры фито- и зоопланктона р. Ольса, а также его биохимических процессов, было установлено, что для данного водоема характерно наличие индикаторной биоты, характеризующей некоторые участки реки как зоны, испытывающие антропогенную нагрузку и являющиеся непригодными для использования человеком в различных целях (табл. 3).

Данные табл. 3 определяют водоем как мезосапробный. Для данного типа сапробности характерно наличие фито- и зообиоты, которая населяет водные экосистемы с повышенной антропогенной нагрузкой. Среди таких организмов наиболее высокую индикаторную значимость составляют хлорелла, мелозира, спирогира и т. д. Отклонения от нормирующих значений аммиака по азоту, биохимического потребления кислорода и показателя растворенного кислорода, также указывают на среднюю степень загрязнения воды в р. Ольса.

Похожая экологическая ситуация наблюдается в водах р. Березина (табл. 4). Из данных химических показателей следует, что особенно отклоняется показатель химического потребления кислорода. Это указывает на присутствие в водах р. Березина тяжелых металлов и, как следствие, высокую степень загрязнения.

Таблица 3

**Комплексная оценка фито- и зоопланктона как объекта биоиндикации  
в р. Оlsa при разных типах природного и антропогенного воздействия**

Table 3

**Integrated assessment of phyto- and zooplankton as an object of bioindication  
in the Olsa river under different types of natural and anthropogenic impact**

| Точка отбора | Фитопланктон                     | Зоопланктон                                | Данные РЦГиЭ                                      |  |  |
|--------------|----------------------------------|--|---|--|--|
|              |                                  |  | аммиак по азоту (ПДК н. б. 2 мг/дм <sup>3</sup> ) | биохимическое потребление кислорода (ПДК 3,1–4,0 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ) | растворенный кислород (ПДК н.м. 4 мг/дм <sup>3</sup> ) |
| 1            | Эвглена, хлорелла, хламидомонада | Личинки стрекозы, пиявка                   | 0,82  | 1,5  | 3,2  |
| 2            | Мелозира, улотрикс, спирогира    | Пиявка, личинки комара, катушка, перловица | 2,7   | 2,3  | 3,5  |
| 3            | Диатома, анабена                 | Дафния, циклоп, личинки комара, бокоплав   | 3,9   | 3,2  | 4,7  |

Таблица 4

**Комплексная оценка фито- и зоопланктона как объекта биоиндикации  
в р. Березина при разных типах природного и антропогенного воздействия**

Table 4

**Integrated assessment of phyto- and zooplankton as an object of bioindication  
in the Berezina river under different types of natural and anthropogenic impact**

| Точка отбора | Фитопланктон                  | Зоопланктон                                     | Данные РЦГиЭ  |  |
|--------------|-------------------------------|---|---|--|
|              |                               |   | химическое потребление кислорода (ПДК 2,1 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ) | биохимическое потребление кислорода (ПДК 3,1–4,0 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ) |
| 1            | Эвглена, хлорелла             | Личинки стрекозы, пиявка                        | 54  | 4,3  |
| 2            | Мелозира, улотрикс, спирогира | Катушка, беззубка большая, живородка, перловица | 29,3  | 3,98   |
| 3            | Диатома, улотрикс, анабена    | Дафния, бокоплав                                | 14,7  | 2,97   |

Результаты проведенных гидрохимических исследований указывают на загрязнение некоторых районов рек Оlsa и Березина. Данные проведенной биоиндикации также свидетельствуют об эвтрофикации обеих рек в некоторых их участках. Данные процессы происходят в результате накопления в них биогенных продуктов.

В связи с этим можно предположить, что в летние месяцы 2018 г. в р. Оlsa, протекающей по территории Кличевского р-на, а также р. Березина в Бобруйском р-не, наблюдались процессы антропогенного эвтрофирования, а высокая температура окружающей среды способствовала развитию этого процесса. На основании проведенного исследования можно судить о том, что методы биоиндикации достаточно информативны в отношении определения показателя чистоты водоема, но в то же время они более трудоемкие. Следует отметить, что их значимость является довольно высокой при необходимости комплексной экологической оценки водных объектов.

## Заключение

На основании результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы об экологической обстановке рек Ольса и Березина в зависимости от влияния режима поступления биогенных элементов:

1. Степень эвтрофирования исследуемых водоемов зависит от отдаленности береговой линии от объектов хозяйственного пользования и объектов промышленности.

2. Видами-индикаторами сапробности среди фотосинтезирующих организмов в реках Ольса и Березина являются хлорелла, хламидомонада и эвглена (для загрязненных участков), улотрикс и спиригира (для умеренно чистых участков), анабена и диатома (для участков, не испытывающих антропогенную нагрузку).

3. Видами-индикаторами сапробности среди беспозвоночных животных в реках являются дафния, бокоплав, циклоп (для чистых участков), катушка, перловица, живородка, личинки комара (для умеренно чистых участков. Для более загрязненных участков рек характерно наличие пиявок и личинок стрекозы).

4. В исследуемых пробах центра гигиены были отклонения от нормы по показателям аммиака по азоту, биохимического потребления кислорода, растворенного кислорода, а также превышение числа общих колиформных бактерий. Эти данные указывают на то, что некоторые зоны реки страдают от эвтрофирования и непригодны для использования человеком.

## Библиографические ссылки

1. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: результаты наблюдений, 2017 год [Интернет]. [Прочитовано 5 августа 2019 г.]. Доступно по: <http://www.nsmos.by/content/777.html>.
2. Абакумов ВА. *Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1983. с. 129–173.
3. Федоров ВД. *О методах изучения фитопланктона и его активности*. Москва: Издательство МГУ; 1979. 165 с.
4. Михеева ТМ. *Мониторинг фитопланктона*. Новосибирск: Наука; 1992. 141 с.
5. Макаревич ВН. Голландские методы учета обилия видов по де-Фризу в сравнении с другими методами определения участия видов в луговых травостоях. *Ботанический журнал*. 1966;51(2):293–304.
6. Кожова ОМ. Формирование фитопланктона Братского водохранилища. В: *Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища*. Москва: Наука; 1970. с. 26–160.
7. Гуревич АА. *Пресноводные водоросли. Определитель*. Москва: Просвещение; 1966. 111 с.
8. Ашихмина ТЯ, Сюткин ВМ. *Комплексный экологический мониторинг региона*. Киров: Издательство ВГПУ, 1997. 228 с.
9. Козлов МА, Олигер ИМ. *Школьный атлас-определитель беспозвоночных*. Москва: Просвещение; 1991. 207 с.
10. Барина СС, Медведева ЛА. *Атлас водорослей-индикаторов сапробности (Российский Дальний Восток)*. Владивосток: Дальнаука; 1996. 364 с.
11. Sladecek V. System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse der Limnologie*. 1973;7:1–218.
12. Sladecek V. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*. 1986;14(5):555–566.
13. Wegl R. Index für die Limnosaprobität. *Wasser und Abwasser*. 1983;26:1–175.
14. Семенченко ВП, Разлуцкий ВИ. *Экологическое качество поверхностных вод*. Минск: Беларуская навука; 2010.
15. Опекунова МГ. *Биоиндикация загрязнений*. Санкт-Петербург: СПбГУ; 2016. 922 с.
16. Буданцев А. *Биоиндикация*. Саарбрюккен: Palmarium Academic Publisher; 2012. 144 с.
17. Баженова ОП. Качество воды и сапробность притоков среднего Иртыша и озер г. Омска. *Научный вестник*. 2010;94: 219–222.
18. Генкал СИ. Центрические диатомовые водоросли (*Centrophyceae*) водоемов и водотоков бассейна среднего участка реки Иртыш. *Биология внутренних вод*. 2012;1:5–14.
19. Ляшенко ОА. *Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды*. Санкт-Петербург: ГТУРП, 2012. 67 с.
20. Чертопруд МВ. *Биоиндикация качества водоемов по составу сообществ беспозвоночных*. Москва: Гостехиздат; 2007. 186 с.
21. Рындевич СК. *Определение экологического состояния водных экосистем на основе анализа видового состава беспозвоночных*. Барановичи: Красная звезда; 2015. 31 с.
22. Семенченко ВП. *Принципы и системы биоиндикации текущих вод*. Минск: Орех; 2004. 124 с.

## References

1. *Natsional'naya sistema monitoringa okruzhayushey sredy Respubliki Belarus': rezul'taty nabludeniy. 2017 god* [National environmental monitoring system in the Republic of Belarus: results of observations, 2017] [Internet]. [Cited 2019 March 05]. Available from: <http://www.nsmos.by/content/777.html>.
2. Abakumov VA. *Rukovodstvo po metodam hidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod I donnykh otlozheniy* [Guidelines on methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. Leningrad: Hydrometeoizdat; 1983. p. 129–173. Russian.
3. Fedorov VD. *O metodakh izucheniy fitoplanktona i ego aktivnosti* [On methods of studying phytoplankton and its activity]. Moscow: Moscow State University Publishing; 1979. 165 p. Russian.
4. Mikheeva TM. *Monitoring fitoplanktona* [Monitoring of phytoplankton]. Novosibirsk: Nauka; 1992. 141 p. Russian.

5. Makarevich VN. Dutch methods of accounting for the abundance of species by de-Frieze in comparison with other methods for determining the participation of species in meadow grasslands. *Botanicheskiy jurnal*. 1966;51(2):293–304. Russian.
6. Kozhova O. M. Formation of phytoplankton of Bratsk reservoir. In: *Formirovanie prirodnicheskikh usloviy i zhizni Bratskogo vodokhranilishcha*. Moscow: Nauka; 1970. p. 26–160. Russian.
7. Gurevich AA. *Presnovodnye vodorosli (opredelitel')* [Freshwater algae (determinant)] Moscow: Prosveshchenie, 1966. 111 p. Russian.
8. Ashikhmina TYa, Syutkin VM. *Kompleksnyy ekologicheskiy monitoring regiona* [Complex ecological monitoring of the region]. Kirov: Publishing house of the VGPU; 1997. 228 p. Russian.
9. Kozlov MA, Oliger IM. *Shkol'nyy atlas-opredelitel' bespozvonochnykh* [School atlas-determinant of invertebrates]. Moscow: Prosveshchenie; 1991. 207 p. Russian.
10. Barinova SS, Medvedeva LA. *Atlas vodorosley-indikatorov saprobnosti (Rossiyskiy Dal'niy Vostok)* [Atlas of algae as indicators of saprobity (Russian Far East)]. Vladivostok: Dalnauka; 1996. 364 p. Russian.
11. Sladeczek V. System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse der Limnologie*. 1973;7:1–218.
12. Sladeczek V. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*. 1986;14(5):555–566.
13. Wegl R. Index für die Limnosaprobität. *Wasser und Abwasser*. 1983;26:1–175. Germany.
14. Semenchenko VP, Razlutskiy VI. *Ekologicheskoe kachestvo poverkhnostnykh vod* [Ecological quality of surface waters]. Minsk: Belaruskaja navuka, 2010. Russian.
15. Opekunova MG. *Bioindikatsiya zagrazneniy* [Bioindication of pollution]. St. Petersburg: St. Petersburg State University; 2016. 922 p. Russian.
16. Budantsev A. *Bioindikatsiya* [Bioindication]. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing; 2012. 144 p. Russian.
17. Bazhenova OP. Water quality and saprobity of tributaries of the middle Irtysh and lakes of Omsk. *Nauchnyy vestnik*. 2010;94:219–222. Russian.
18. Genkal SI. *Tsentricheskie diatomovye vodorosli (Centrophyceae) vodoemov i vodotokov basseyna srednego uchastka reki Irtysh* [Centric diatom algae (*Centrophyceae*) of the ponds and streams of the middle stretch of the river Irtysh]. *Biologiya vnutrennikh vod*. 2012;1:5–14. Russian.
19. Lyashenko OA. *Bioindikatsiya i biotestirovanie v okhrane okruzhajushchey sredy*. [Bioindication and biotesting in environmental protection]. St. Petersburg: GTURP; 2012. 67 p. Russian.
20. Chertoprud MV. *Bioindikatsiya kachestva vodoemov po sostojaniju soobshchestv bespozvonochnykh* [Bioindication of the quality of waters on the community composition of invertebrates]. Moscow: Gostekhizdat; 2007. 186 p. Russian.
21. Ryndevich SK. *Opredelenie ekologicheskogo sostava vodnykh ekosistem na osnove analiza vidovogo sostava bespozvonochnykh* [Determination of the ecological state of aquatic ecosystems based on the analysis of the species composition of invertebrates]. Baranovichi: Krasnaja zvezda; 2015. 31 p. Russian.
22. Semenchenko VP. *Printsypy i sistemy bioindikatsiy tekuchikh vod* [Principles and systems of bioindication of flowing waters]. Minsk: Orekh; 2004. 124 p. Russian.

Статья поступила в редакцию 08.07.2019.  
Received by editorial board 08.07.2019.

УДК 556.551:004.031.42

## ИЗУЧЕНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДОЕМАХ ГОРОДА БРЕСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Г. В. ТОЛКАЧ<sup>1)</sup>, С. М. ТОКАРЧУК<sup>1)</sup>, А. Л. ЖУК<sup>1)</sup>, К. Э. КУЦКО<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина,  
бульвар Космонавтов, 21, 224016, г. Брест, Беларусь

Анализируется опыт применения современных ГИС-технологий в целях визуализации данных о содержании частиц микропластика в водоемах г. Бреста (Республика Беларусь). Изучение содержания частиц микропластика в водоемах проводилось на основании разработанной методики, которая включала шесть этапов. Для выполнения работы была проведена инвентаризация водоемов г. Бреста, выбрано 25 репрезентативных водоемов для целей полевых исследований. Результат проведенного исследования – серия интерактивных гидрографических карт территории города, отражающих основные этапы выполнения исследований содержания частиц микропластика в его водоемах. Данные карты находятся в свободном доступе в сети Интернет, могут просматриваться другими пользователями, на их основе можно создавать подобные карты и картосхемы с использованием учетной записи ArcGIS Online. Полученные данные и интерактивные карты могут быть использованы в ходе оценки современного состояния и реализации мер по снижению уровня деградации водоемов г. Бреста. Разработанная методика может быть применена для проведения исследований как на аналогичных территориях, так и подобных объектах (реках, каналах и др.).

**Ключевые слова:** Брест; водоемы; микропластик; интерактивная гидрографическая карта; ГИС-технологии; облачные технологии.

## STUDY AND VISUALIZATION OF MICROPLASTIC PARTICLES CONTENT IN RESERVOIRS OF THE CITY OF BREST USING GIS-TECHNOLOGIES

G. V. TOLKACH<sup>a</sup>, S. M. TOKARCHUK<sup>a</sup>, A. L. ZHUK<sup>a</sup>, K. E. KUTSKO<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Brest State A. S. Pushkin University, 21 Kasmanaŭtaŭ Boulevard, Brest 224016, Belarus  
Corresponding author: G. V. Tolkach (gal-mush@yandex.ru)

---

### Образец цитирования:

Толкач ГВ, Токарчук СМ, Жук АЛ, Куцко КЭ. Изучение и визуализация данных содержания частиц микропластика в водоемах города Бреста с использованием ГИС-технологий. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;3:32–40.

### For citation:

Tolkach GV, Tokarchuk SM, Zhuk AL, Kutsko KE. Study and visualization of microplastic particle content in reservoirs of the city of Brest using GIS-technologies. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;3:32–40. Russian.

---

### Авторы:

**Галина Владимировна Толкач** – магистр биологических наук; старший преподаватель кафедры зоологии и генетики.

**Светлана Михайловна Токарчук** – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры географии и природопользования.

**Алеся Леонидовна Жук** – студентка кафедры географии и природопользования биологического факультета.

**Кристина Эдуардовна Куцко** – студентка кафедры зоологии и генетики биологического факультета.

### Author:

**Galina W. Tolkach**, master of science (biology); senior lecturer at the department of zoology and genetics  
gal-mush@yandex.ru

**Svetlana M. Tokarchuk**, PhD (geography), docent; associate professor at the department of geography and nature management.  
svetlana.m.tokarchuk@mail.ru

**Alesia L. Zhuk**, student at the department of geography and nature management, faculty of geography.  
alesya\_zhuk\_98@mail.ru

**Kristina E. Kutsko**, student at the department of zoology and genetics, faculty of biological.  
mihnyk1996@mail.ru

---

The article presents the experience of using modern GIS technologies to visualize data on the content of microplastic particles in the reservoirs of the city of Brest. The study of the content of microplastic particles in reservoirs was carried out based on the developed methodology, which included six steps. An inventory of reservoirs of the city of Brest was conducted, 25 representative reservoirs were selected for field research purposes. The result of the study is a series of interactive hydrographic maps of the Brest city territory. Maps reflect the main stages of the study on the content of microplastic particles in the water bodies of the city of Brest. These maps are freely available on the Internet, can be viewed by other users, on their basis, one can create other maps using ArcGIS Online account. The received data and interactive maps can be used in assessment of the current state and implementation of measures to reduce the degradation of water bodies in the city of Brest. The developed technique can be applied to conduct similar studies for other territories as well as for other types of objects (rivers, canals, etc.).

**Keywords:** Brest; reservoirs; microplastic; interactive hydrographic map; GIS-technology; cloud technologies.

## Введение

Микропластик – это твердые частицы синтетических полимеров, размером от 100 нм до 5мм. Профессор Ричард Томпсон (Richard Thompson), морской биолог из университета в Плимуте, первым ввел термин «микропластик» в 2004 г. [1]. С тех пор в разных странах мира находят его частицы в воде, почве, питьевой воде и живых организмах [1–5]. Источниками поступления микропластика в окружающую среду являются использованные пакеты и бутылки в воде, которые распадаются под действием солнца и влаги; пыль автомобильных шин; фрагменты синтетических волокон при стирке одежды; гранулы в составе косметики и бытовой химии и др. По данным зарубежных ученых, он вызывает негативное влияние на организм животного и человека [1; 2; 4].

На территории Республики Беларусь (в рамках работы Центра экологических решений) проводилось исследование более 25 водоемов Минской обл.: водохранилище Цнянское, водохранилище Дрозды, Минское море и др. Микропластик был обнаружен абсолютно во всех взятых пробах в разных концентрациях – от 0,02 до 5 частиц на 1 л [6]. Его находят и в других областях, однако недостаточно данных о содержании микропластика в юго-западной части Республики Беларусь, что послужило основным направлением при выполнении данного исследования.

Нами изучены образцы воды из 25 водоемов г. Бреста, расположенных на территориях различных микрорайонов города. В 3-х пробах не было обнаружено частиц микропластика (12 % исследуемых водоемов), однако мы не можем с уверенностью утверждать, что данные водоемы не были подвержены данному загрязнению. Остальная часть проб (88 % исследуемых водоемов) показала положительный результат на наличие в них микропластика. Было рассчитано общее количество обнаруженных частиц микропластика, которые отличались по форме: шарики составили 5,33 %, фрагменты – 13,33 %, гранулы – 16 %, пленки – 25,33 %, нити – 40 %. Также была определена концентрация частиц микропластика на 1 л исследуемой воды. Диапазон концентрации в исследуемых пробах составил: от 0 до 0,08 частиц / 1 л. Следует обратить внимание на то, что частицы обнаружены и в пробах, собранных в водоемах, которые входят в состав природоохраняемых территорий (оз. Вычулки, Зеркалка, Соевские озера). Частицы, встречающиеся в пробах, имеют различную форму и цвет. Высокое разнообразие микрочастиц пластика свидетельствует о том, что их источники различны.

Большинство современных экологических исследований связано с получением значительных объемов информации (числовой, текстовой, иллюстративной и др.). Данная информация часто имеет географическую привязку: относится к конкретным территориям. В то же время анализ значительного количества научных материалов (монографий, авторефератов диссертаций, статей из научных журналов, статей материалов научных конференций, отчетов выполнения научно-исследовательских работ и др.) показал, что чаще всего результаты научных исследований представляются в виде таблиц и графиков. Картографическая визуализация материалов экологических исследований встречается сравнительно редко в указанных публикациях. Таким образом, разработки методических подходов и алгоритмов визуализации результатов аналитических экологических исследований представляют значительную актуальность. В частности, в данной научной работе приводится опыт применения ГИС-технологий (на примере облачной платформы картографирования ArcGIS Online) и инструментов простого персонального аккаунта в целях визуализации результатов экологического исследования (на примере изучения содержания частиц микропластика в водоемах г. Бреста).

Географические информационные системы (ГИС) – это особые аппаратно-программные комплексы, обеспечивающие сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных. Карта, в том числе и электронная, – это один из самых эффективных и информативных способов хранения, представления и передачи географической (имеющей пространственную привязку) информации. Современные программные средства ГИС предоставляют новые инструменты, которые расширяют и развивают научные основы картографии. С их помощью сами карты могут иметь

интерактивный характер (размещены в сети Интернет, сопровождаются всплывающими окнами, электронными надписями и др.), а их визуализация может быть легко дополнена отчетными документами, графиками, таблицами, диаграммами, фотографиями и другими элементами.

Наличие картографического материала в результирующей части научного исследования способствует не только визуализации полученных данных, но и позволяет сделать исследование более полноценным. Кроме того, современные информационные технологии, в том числе облачные платформы картографирования, позволяют проводить автоматизацию сбора полевой информации и ее непосредственную привязку к местоположениям на карте, а созданный картографический материал дает возможность получить качественно новый вариант представления результатов работы.

### Материалы и методы исследования

Цель настоящего исследования – разработать методические подходы к визуализации данных изучения частиц микропластика в водоемах г. Бреста.

Работа проводилась в несколько этапов (табл. 1).

Таблица 1

#### Основные этапы выполнения исследования

Table 1

#### The main stages of the study

| Этап  | Основное содержание работы   |
|---|--|
| 1. Изучение водоемов г. Бреста, выбор репрезентативных водоемов для проведения исследования | Проведена инвентаризация водоемов города (выделено 432 водоема). Составлена полная инвентаризационная карта водоемов города, а также выполнена их классификация с учетом размера, происхождения котловины, назначения, состояния водосборов и других факторов  |
| 2. Разработка методики анализа содержания частиц микропластика в водоемах Бреста            | Выбрано 25 репрезентативных водоемов в черте города для целей изучения содержания микропластика в их водах. Определены особенности отбора проб в условиях городской среды и анализа полученных материалов с использованием микроскопа. Создана инструкция по реализации исследования в виде интерактивного документа, размещенного в свободном доступе в сети Интернет                                 |
| 3. Проведение полевого этапа исследования   | Пробы отбирались в весенне-летний период в выбранных репрезентативных водоемах. В результате полевых исследований проводилось фотографирование водоема в месте отбора проб, определение GPS-координат мест отбора, краткое описание водоема, берега, возле которого осуществлялся отбор, а также особенностей воды. Составлена интерактивная карта мест отбора проб с использованием полученных данных |
| 4. Оценка содержания микропластика  | Изучались под микроскопом. полученные фильтры. Осуществлялся общий подсчет частиц микропластика и частиц по видам (гранулы, нити, пленки, фрагменты, шарики), а также фотографирование фильтра и микропластика на нем. Составлена интерактивная карта содержания частиц микропластика в местах отбора проб   |
| 5. Визуализация данных  | Составлена серия интерактивных карт с использованием облачной платформы картографирования ArcGIS Online, отображающих пространственные особенности результатов исследования. Объединены полученные интерактивные карты в общую интерактивную систему   |
| 6. Анализ полученных результатов  | Выполнено описание результатов исследования. Определены допустимые причины полученной картины распределения микропластика в водоемах   |

Как уже отмечалось выше, при выполнении инвентаризации водоемов г. Бреста, а также на основании анализа космических снимков, планов и топографических карт города, данных земельной информационной системы Беларуси и других материалов было подсчитано 432 водоема в черте города. С использованием основных классификационных признаков водных объектов составлена схема их типизации по базовым показателям (табл. 2).

В результате проведенной типизации было выбрано 25 репрезентативных водоемов в черте города для целей изучения содержания микропластика в их водах (табл. 3).

Таблица 2

Классификационные признаки типизации водоемов Бреста

Table 2

Classification features of reservoirs typification of Brest city

| Признак               | Тип водоема |  |
|-----------------------|-------------|--|
|                       | Индекс      | Характеристика   |
| Размер                | М           | Малый (площадь – от 21 м <sup>2</sup> до 110 000 м <sup>2</sup> )  |
|                       | С           | Средний (площадь – от 110 001 м <sup>2</sup> до 222 000 м <sup>2</sup> )   |
|                       | Б           | Большой (площадь – от 222 001 м <sup>2</sup> до 322 810 м <sup>2</sup> )   |
| Происхождение         | И           | Искусственный  |
|                       | Е           | Естественный   |
| Назначение            | Р           | Рекреационный  |
|                       | ЛД          | Ландшафтно-декоративный  |
|                       | ВХ          | Водохозяйственный (оросительные, пожарные и др.)   |
|                       | ГП          | Рекультивированный (водоемы, образовавшиеся в результате рекультивации карьеров по добыче полезных ископаемых)   |
|                       | МФ          | Многофункциональный  |
|                       | Ч           | Водоем на участках личного пользования с разными типами назначения   |
| Особенности водосбора | П           | Водосбор с доминированием природных и природно-антропогенных систем, с крайне низкой антропогенной нагрузкой (леса, сады, территории с древесно-кустарниковой растительностью, луга и др.) |
|                       | Ав          | Водосбор с доминированием антропогенных систем с высокой степенью преобразованности (застроенные, промышленные и др. территории)   |
|                       | Ас          | Водосбор с доминированием антропогенных систем со средней степенью преобразованности (пляжи, сельскохозяйственные земли и др. территории)  |
|                       | С           | Водосбор со смешанным типом (сочетание систем природного и антропогенного типа)  |

Репрезентативные водоемы отбирались по нескольким признакам:

- 1) равномерное распределение по территории города, в пределах каждого планировочного микро-района отобраны не менее одного водоема;
- 2) наличие водоемов разных типов (согласно проведенной типизации водоемов Бреста по основным классификационным признакам (см. табл. 2));
- 3) возможность отбора образцов воды в объемах, необходимых для выполнения исследования.

Полевые исследования, направленные как на сбор данных, так и на отбор образцов содержания частиц микропластика, выполнялись с использованием специальной фильтровальной установки, состоящей из двух труб и фильтра, проводились в весенне-летний период на репрезентативных водосборах.

Выполнение полевых исследований привело к некоторому изменению списка репрезентативных водосборов. Данные изменения были обусловлены следующими моментами:

1. Доступ к некоторым водоемам оказался ограниченным либо вообще не возможным. В частности, нет возможности отобрать образцы из большинства естественных старичных озер, связанной с тем, что практически все эти водоемы находятся в пойме Западного Буга, в пределах пограничной территории. Также часть водоемов находится на территории промышленных предприятий, в том числе не функционирующих, но их площадки являются закрытыми. Также значительное число водоемов находится на территории частных земельных участков. Отбор образцов был затруднен в связи с нежеланием большинства владельцев участков обследовать свои водоемы.

2. Несколько водоемов, которые были идентифицированы по космическим снимкам и картам подложкам, на самом деле либо отсутствуют (чаще всего это характерно для малых водоемов), либо крайне мелкие, что не дает возможность провести исследование по разработанной методике.

3. Для больших по площади водоемов, а также малых и средних водоемов с неправильными очертаниями и значительной длиной береговой линии проводился отбор образцов в нескольких местах.

Репрезентативные водоемы и их краткая характеристика

Table 3

Representative reservoirs and their brief description

| №  | Название водоема в базе данных | Площадь, м <sup>2</sup> | Длина береговой линии, м | Тип водоема |               |            |                       |
|----|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------|---------------|------------|-----------------------|
|    |                                |                         |                          | размер      | происхождение | назначение | особенности водосбора |
| 1  | Ямно–Вычулки – 4               | 242 242,84              | 2 140,50                 | Б           | И             | Р          | Ав                    |
| 2  | Ямно–Вычулки – 1               | 46 489,27               | 817,68                   | М           | И             | МФ         | Ав                    |
| 3  | Красный Двор – 16              | 332 802,02              | 7 446,27                 | Б           | И             | МФ         | П                     |
| 4  | Задворцы – 1                   | 4 456,98                | 296,51                   | М           | И             | ЛД         | П                     |
| 5  | Восток – 9                     | 8 431,97                | 396,90                   | М           | И             | Р          | Ас                    |
| 6  | Ковалево – 4                   | 3 844,51                | 232,33                   | М           | И             | МФ         | С                     |
| 7  | Вулька – 32                    | 1 350,64                | 230,49                   | М           | И             | МФ         | Ав                    |
| 8  | Вулька – 34                    | 3 597,30                | 313,20                   | М           | И             | ЛД         | П                     |
| 9  | Волынка–Гершоны – 166          | 6 591,47                | 605,71                   | М           | И             | ВХ         | П                     |
| 10 | Волынка–Гершоны – 150          | 194 427,00              | 1 880,68                 | С           | И             | ГП         | Ас                    |
| 11 | Волынка–Гершоны – 34           | 27 265,99               | 821,41                   | М           | И             | ГП         | Ас                    |
| 12 | Волынка–Гершоны – 39           | 40 092,12               | 1 265,16                 | М           | И             | ГП         | Ас                    |
| 13 | Волынка–Гершоны – 17           | 212 268,41              | 2 358,34                 | С           | И             | Р          | П                     |
| 14 | Волынка–Гершоны – 2            | 151 079,25              | 1 879,12                 | С           | И             | Р          | П                     |
| 15 | Центр – 2                      | 3 890,64                | 238,73                   | М           | И             | ЛД         | Ав                    |
| 16 | Центр – 1                      | 7 656,26                | 350,80                   | М           | И             | ЛД         | Ав                    |
| 17 | Речица – 3                     | 10 722,43               | 551,14                   | М           | Е             | ЛД         | П                     |
| 18 | Козловичи – 51                 | 7 318,81                | 368,47                   | М           | Е             | ЛД         | П                     |
| 19 | Козловичи – 31                 | 25 249,38               | 1 863,45                 | М           | Е             | ЛД         | П                     |
| 20 | Козловичи – 22                 | 2 745,82                | 210,95                   | М           | И             | Ч          | Ав                    |
| 21 | Плоска – 1                     | 8 612,14                | 594,63                   | М           | И             | ЛД         | Ав                    |
| 22 | Плоска – 10                    | 1 525,39                | 152,79                   | М           | И             | ВХ         | Ав                    |
| 23 | Плоска – 17                    | 9 817,13                | 534,25                   | М           | И             | ЛД         | П                     |
| 24 | Плоска – 20                    | 2 841,83                | 204,74                   | М           | И             | ЛД         | П                     |
| 25 | Тельмы                         | 5 276                   | 335                      | М           | И             | ВХ         | П                     |

Примечание. Буквенные обозначения типов водоемов представлены в табл. 2.

На следующем этапе проводилось исследование проб на наличие микропластика путем изучения фильтров под микроскопом с использованием визуального метода, двигаясь челночным шагом от края к краю. В протоколе отмечались параметры обнаруженных частиц пластика (цвет, форма, размер частиц). Для правильной интерпретации результатов были составлены оценочные матрицы определения уровня содержания микропластика. Полученные показатели были собраны в электронные базы данных, которые в последствии были преобразованы в интерактивные карты. Частицы микропластика были сфотографированы при помощи видеоокуляров. Данные фотографии использовались в дальнейшем на этапе визуализации результатов исследования.

**Визуализация данных исследования с использованием ГИС-технологий.** При реализации данного этапа исследования, используя опыт авторов [7; 8], а также результаты выполнения подобных

работ для других территорий разного территориального уровня (Национальный парк «Нарочанский» [9], Брестский р-н [10], ботанические коллекции Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина [11] и др.), была создана серия интерактивных карт. Для этого использовались возможности современных веб-технологий, в первую очередь – облачной платформы картографирования ArcGIS Online. Интерактивные карты имеют ряд преимуществ не только перед представлением результатов в иллюстративно-табличном виде, но и перед стандартными растровыми картами. Появление интерактивных карт позволяет не только качественно визуализировать результаты изучения содержания частиц микропластика в водоемах Бреста, но и выполнять с использованием базовых интерактивных карт и возможностей настольных и облачных ГИС другие научные исследования.

Одна из наиболее «весомых» положительных характеристик интерактивных карт – это размещение их в свободном доступе в сети Интернет. При необходимости любой исследователь может воспользоваться облачным картографическим сервисом и через собственную учетную запись сохранить копию каждой из базовых гидрографических карт, что позволит создавать собственные тематические карты или проводить другие, аналитические и оценочные исследования.

Таким образом, с использованием облачного вьювера ArcGIS Online была создана серия базовых интерактивных гидрографических карт (табл. 4), которые отображают результаты основных этапов исследования. Они были сгруппированы в несколько блоков, исходя из приведенных в методической части этапов исследования.

Таблица 4

**Интерактивные гидрографические карты**

Table 4

**Interactive hydrographic maps**

| Группа карт   | Номер | Название карты   | URL – адрес   |
|---|-------|--|---|
| 1. Инвентаризационные карты водоемов Бреста         | 1.1   | База данных «Водоемы Бреста» (полигональная тема)                              | <a href="https://arcg.is/1nevDn">https://arcg.is/1nevDn</a> |
|   | 1.2   | База данных «Водоемы Бреста» (точечная тема)                                   | <a href="https://arcg.is/1KXCT4">https://arcg.is/1KXCT4</a> |
| 2. Карты полевых исследований                       | 2.1   | Репрезентативные водоемы (для изучения содержания частиц микропластика)        | <a href="https://arcg.is/ej1z4">https://arcg.is/ej1z4</a>   |
|   | 2.2   | Места отбора образцов (для проведения анализа содержания частиц микропластика) | <a href="https://arcg.is/0b11f9">https://arcg.is/0b11f9</a> |
| 3. Карты содержания частиц микропластика в водоемах | 3.1   | База данных «Количество частиц микропластика»                                  | <a href="https://arcg.is/ze5tH">https://arcg.is/ze5tH</a>   |

Первая группа карт содержит две инвентаризационные базы данных всех водоемов города, представленных в виде полигональной и точечной тем. Карты включают несколько слоев: водоемы, граница города и планировочные микрорайоны города. К картам также привязана база данных, которая включает несколько полей данных: идентификационный номер водоема (составлялся исходя из названия микрорайона и номера, полученного при оцифровке), площадь водоема (в м<sup>2</sup>), периметр, или длина береговой линии (в м), название водоема (если оно было указано в любом базовом источнике данных), номер по порядку.

Следует отметить, что на картах данной группы нанесено значительное число объектов (более 400), многие из которых занимают крайне малые площади (20–50 м<sup>2</sup>). Таким образом, большим преимуществом интерактивных карт выступает возможность изменения их масштаба, что позволяет увидеть всю карту водоемов города, его отдельных микрорайонов (рис. 1) и отдельных водоемов.

С использованием представленных карт возможно проводить изучение распространенности выделенных водоемов в пределах города, а также выполнять серии оценочных и аналитических работ, например, оценивать количество водоемов по микрорайонам города или сетке квадратов, создавать карты плотности водоемов и др.

На следующем этапе, включающем разработку методических аспектов исследования и полевые работы, первоначально была создана карта репрезентативных водоемов, подходящих для выполнения исследования (рис. 2). Она составлена с использованием точечного типа объектов (чтобы все выбранные водоемы были одинаково хорошо видны). К карте привязана таблица, включающая такую информацию, как название водоема, его описание, а также указание типа водоема с учетом проведенной классификации (размер, происхождение, назначение, особенности). К каждому объекту (репрезентативному водоему) на ней привязано интерактивное окно, которое дает возможность увидеть необходимую информацию для нужного водоема, при этом не открывая таблицу.

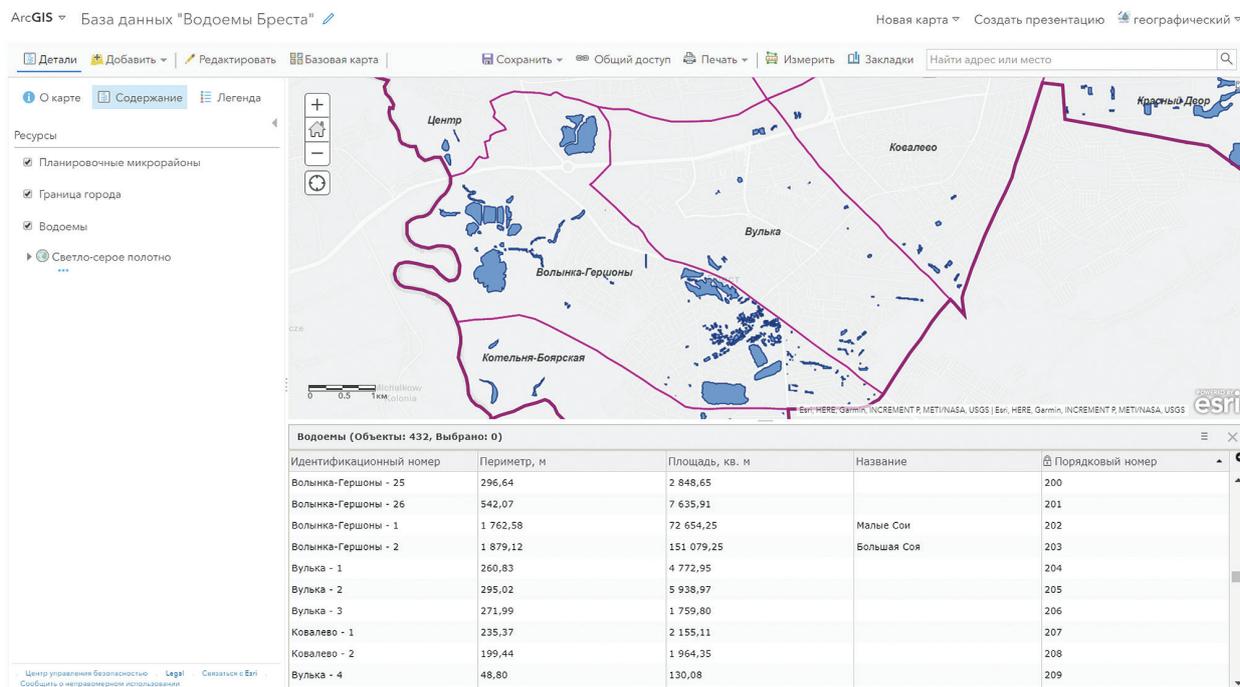


Рис. 1. Карта базы данных «Водоёмы Бреста» (фрагмент «Микрорайон Волынка – Гершоны»)

Fig. 1. Map database «Brest Reservoirs» (fragment «Microdistrict Volynka – Gershony»)

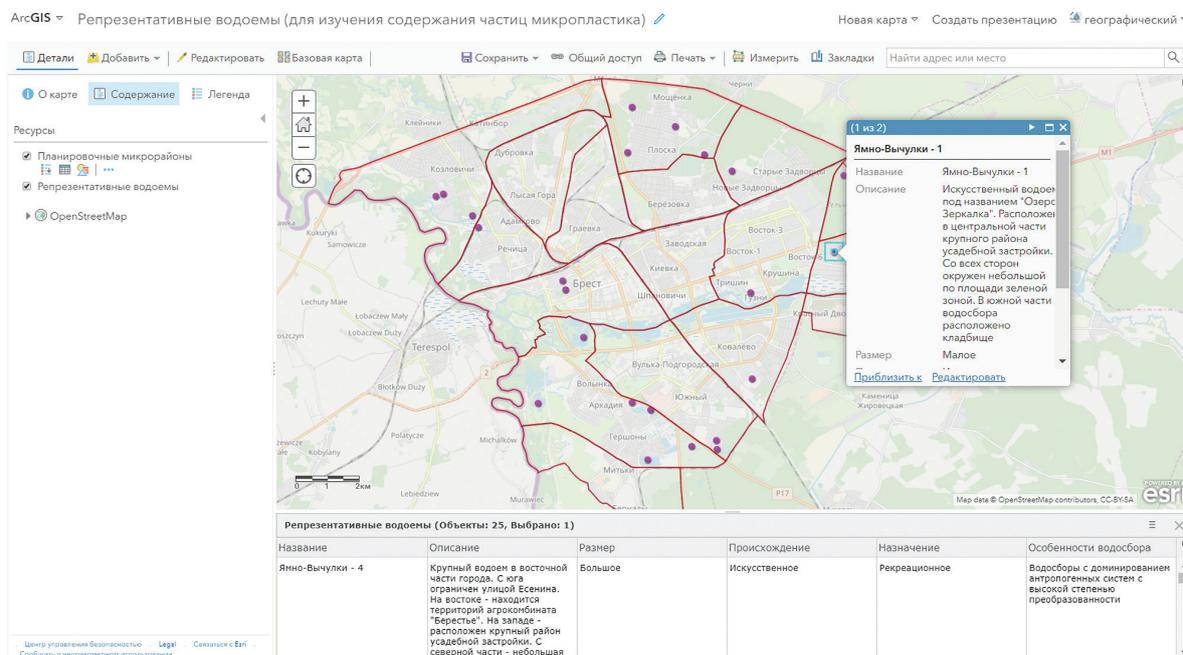


Рис. 2. Карта «Репрезентативные водоёмы»

Fig. 2. Map «Representative Reservoirs»

К источникам полевых исследований относится также карта «Места отбора образцов (для проведения анализа содержания частиц микропластика)». На ней с использованием полученных в результате полевых исследований сведений о географической широте и долготе объекта, а также фотографий нанесены все места отбора образцов. Локализация точек указана крайне точно, возможность применения нескольких детальных карт-подложек (в частности, космического снимка и карты Openstreetmap) позволяет увидеть не только сам водоем, но и конкретный участок получения полевых данных.

На заключительном этапе была реализована база данных «Результаты анализа содержания частиц микропластика в местах отбора». В пределах данной интерактивной карты к локализациям мест отбора

образцов привязаны численные значения результатов исследования, в частности указаны такие показатели, как общее число частиц, число частиц на литр, количество гранул, нитей, пленок, фрагментов и шариков.

С использованием представленной базы данных возможна реализация целой серии тематических (аналитических и оценочных) картосхем, которые будут отображать результаты проведенных полевых и лабораторных работ. В частности, было выполнено несколько карт с использованием типа легенды «Масштабируемый символ» (рис. 3), отображающих полученные данные на уровне равноинтервального пятибалльного ранжирования.

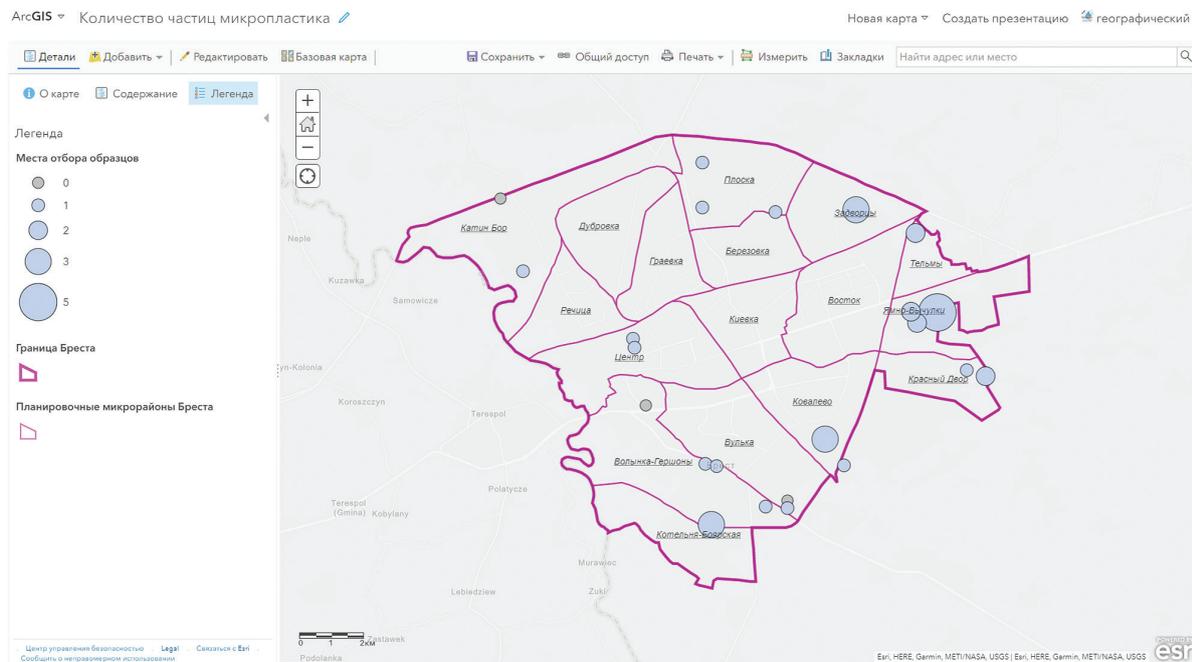


Рис. 3. Карта «Количество частиц микропластика»

Fig. 3. Map «The amount of microplastic particles»

Данные карты находятся в свободном доступе в сети Интернет и могут не только просматриваться другими пользователями, но и на их основе можно создавать другие карты и картосхемы с использованием собственной учетной записи ArcGIS Online.

Составленные интерактивные гидрографические карты имеют ряд особенностей, связанных с возможностями облачной платформы картографирования ArcGIS Online и подчеркивающих преимущества реализации веб-карт:

- 1) все варианты карт наложены на карты-подложки, в качестве подложки преимущественно использовался космический снимок с надписями либо карта OpenStreetMap; в то же время, любой пользователь имеет возможность заменить карту-подложку (например, на карту дорожной сети или светло-серое полотно) самостоятельно;
- 2) каждая интерактивная карта имеет легенду, а некоторые карты – подписи; например, в большинстве карт подписаны планировочные микрорайоны города;
- 3) каждая интерактивная карта имеет настроенное всплывающее окно, при открытии которого можно получить основные данные (название, площадь, периметр и т. д.) о каждом из водоемов;
- 4) к каждой карте привязана таблица, включающая качественные и количественные характеристики водоемов, либо места отбора образцов. Итак, открывая указанные карты в своей учетной записи ArcGIS Online можно реализовывать выборки и работать с ними, а также создавать на их основе новые интерактивные карты.

## Заключение

Таким образом, в ходе выполнения данного исследования была разработана и апробирована на примере водоемов г. Бреста методика изучения содержания частиц микропластика в воде. Инвентаризация водоемов города с использованием разных типов материалов (карт, космических снимков и др.) позволила выделить в черте города 432 водоема. Была выполнена классификация водоемов с учетом размера, происхождения котловины, назначения, состояния водосборов и других факторов.

Для выполнения оценки содержания частиц микропластика в воде было отобрано 25 репрезентативных водоемов. Отборы проб проходили в весенне-летний период. В результате полевых исследований

проводилось фотографирование водоема в месте отбора проб, определение GPS-координат мест отбора, краткое описание водоема, берега возле которого осуществлялся отбор, а также особенностей воды. При изучении полученных фильтров под микроскопом осуществлялся общий подсчет частиц микропластика, подсчет частиц по видам (гранулы, нити, пленки, фрагменты, шарики), фотографирование фильтра.

Анализ отобранных образцов свидетельствует о том, что 87 % исследуемых водоемов содержит частицы микропластика. Частицы микропластика отличались по форме: шарики составили 5,33 %, фрагменты – 13,33 %, гранулы – 16 %, пленки – 25,33 %, нити – 40 %. Также была рассчитана концентрация частиц микропластика на 1 л исследуемой воды: диапазон концентрации в исследуемых пробах составил: от 0 до 0,08 частиц / 1 литр.

С использованием облачного выювера ArcGIS Online создана серия базовых интерактивных гидрографических карт, которые отображают результаты основных этапов исследования. Они сгруппированы в несколько блоков, исходя из разработанных этапов исследования. Данные карты находятся в свободном доступе в сети Интернет, могут просматриваться другими пользователями, на их основе можно создавать другие карты и картосхемы с использованием учетной записи ArcGIS Online.

### Библиографические ссылки

1. Томпсон РС. Микропластики в морской среде: источники, последствия и решения [Интернет]. 2015 [Прочитано 5 сентября 2019]. Доступно по: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3_7).
2. Wright SL, Rowe D, Thompson RC, Galloway TS. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Biosciences, College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter*. 2014; 23:1031–1033.
3. Duis K, Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. In: *Environmental Sciences Europe*. Munchen: Springer; 2016. p. 124.
4. Graca B, Szewc K, Zakrzewska D, Dołęga A, Szczerbowska-Boruchowska M. Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea—a preliminary study. *Environment Science Pollution Resources*. 2017; 2; 7650–7661.
5. Patricia L, Corcoran M., C. Biesinger M. Plastics and beaches: A degrading relationship. *Science Direct*. 2009; 58; 80–89.
6. Центр экологических решений [Интернет]. [Прочитано 21 января 2019 г.]. Доступно по: <https://ecoidea.by/ru/article/3369.htm/>.
7. Аляутдинов АР, Ушакова ЛА, Чистов СВ. Информационное обеспечение эколого-географического исследования и картографирования водоемов. *Вопросы географии*. 2017;144:153168.
8. Макаров ВЗ, Новаковский БА, Чумаченко АН. *Эколого-географическое картографирование городов*. Москва: Научный мир, 2002.
9. Токарчук ОВ, Токарчук СМ. Картирование озерно-бассейновых систем территории Национального парка «Нарочанский». *Псковский регионологический журнал*. 2018;4(36):65–81
10. Толкач ГВ, Токарчук СМ, Позняк СС. Визуализация данных о содержании тяжелых металлов в почвах Брестского района с использованием ГИС-технологий. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017;4:118–123.
11. Токарчук СМ, Колбас АВ, Токарчук ОВ. Web-картографирование ботанических коллекций Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина для целей экологического образования и воспитания. *Псковский регионологический журнал*. 2018;1 (33):100–116.

### References

1. Thompson RC. Microplastics in the Marine Environment: Sources, Consequences and Solutions [internet]. 2015 [cited 2019 September 5]. Available from: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3_7). Russian.
2. Wright SL, Rowe D, Thompson RC, Galloway TS. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Biosciences, College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter*. 2014; 23:1031–1033.
3. Duis K., Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. In: *Environmental Sciences Europe*. Munchen: Springer; 2016. p. 124.
4. Graca B, Szewc K, Zakrzewska D, Dołęga A, Szczerbowska-Boruchowska M. Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea—a preliminary study. *Environment Science Pollution Resources*. 2017; 2; 7650–7661.
5. Patricia L, Corcoran M., C. Biesinger M. Plastics and beaches: A degrading relationship. *Science Direct*. 2009; 58; 80–89.
6. *Centr ekologicheskikh reshenij* [Center for environmental solutions] [Internet]. [Cited 2019 January 01]. Available from: <https://ecoidea.by/ru/article/3369.htm/>. Russian.
7. Alyautdinov AR, Ushakova LA, Chistov SV. *Informatsionnoe obespechenie ekologo-geograficheskikh issledovaniy i kartografirovaniye vodoemov* [Information support of ecological and geographical research and mapping of water bodies]. *Voprosy geografii*. 2017;144:153–168. Russian.
8. Makarov VZ, Novakovsky BA, Chumachenko AN. *Ekologo-geograficheskikh kartografirovaniye gorodov*. [Geoeological mapping cities]. Moscow: Nauchnyj mir, 2002. Russian.
9. Tokarchuk OV, Tokarchuk SM. *Kartografirovaniye ozerno-basseyonnykh sistem territorii Natsional'nogo parka «Narochanskiy»* [Mapping of lake-basin systems of the territory National park «Narochansky»]. *Pskovskij regionologicheskij zhurnal*. 2018;4 (36):65–81. Russian.
10. Tolkach GV, Tokarchuk SM, Poznyak SS. *Vizualizatsiya dannykh o sodержanii tazhelykh metallov v pchvakh Brestskogo rayona s ispol'zovaniem GIS-tekhnologii* [Visualization of data on the content of heavy metals in the soils of the Brest region using GIS technologies]. *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii*. 2017;4:118–123. Russian.
11. Tokarchuk SM, Kolbas AP, Tokarchuk OV. *Web-kartografirovaniye botanicheskikh kollektiy Brestskogo gosudarstvennogo universiteta imeni A. S. Pushkina dlya tselej ekologicheskogo obrazovaniya i vospihaniya* [Web-cartography of botanical collections of the Brest State University named after A. S. Pushkin for the purposes of environmental education and enlightenment]. *Pskovskij regionologicheskij zhurnal*. 2018;1(33):100–116. Russian.

---

---

# РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

---

## RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

---

---

УДК 621.039; 621.039.52

### ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДКРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА СТЕНДЕ «ЯЛІНА»

*А. И. КИЕВИЦКАЯ*<sup>1)</sup>

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

Настоящая работа сфокусирована на репрезентации исследований нейтронно-физических характеристик подкритических систем на подкритическом стенде «ЯЛІНА». Приводятся новые результаты: обоснована концепция использования низкоэнергетических ускорителей (циклотроны, генераторы нейтронов) для изучения физики и кинетики подкритических систем, а также управляемых ускорителями заряженных частиц высоких энергий и создан успешно функционирующий подкритический стенд, состоящий из двух подкритических сборок, генератора нейтронов, измерительного комплекса и системы жизнеобеспечения. Стенд «ЯЛІНА» не имеет аналогов и является уникальной установкой для получения надежных экспериментальных данных («каталога»), которые требуются для разработки технического проекта индустриального прототипа инновационного подкритического реактора (ADS).

**Ключевые слова:** подкритические системы; нейтронно-физические характеристики; трансмутация; скорости реакций; подкритический стенд; ядерный топливный цикл; экологические проблемы.

---

#### Образец цитирования:

Киевицкая АИ. Исследования нейтронно-физических характеристик подкритических систем на стенде «Яліна». *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;3:41–50.

#### For citation:

Kiyavitskaya HI. Neutronics investigation of subcritical systems at the Yalina facility. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;3:41–50. Russian.

---

#### Авторы:

*Анна Ивановна Киевицкая* – доктор физико-математических наук; заведующий кафедрой ядерной и радиационной безопасности.

#### Author:

*Hanna I. Kiyavitskaya*, doctor of science (physics and mathematics); head of the department of nuclear and radiation safe. *kiyavitskaya@iseu.by; hannakiev@gmail.com*

---

## NEUTRONICS INVESTIGATION OF SUBCRITICAL SYSTEMS AT THE YALINA FACILITY

*H. I. KIYAVITSKAYA<sup>a</sup>*

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

The present work focuses on short description of the research on neutronics of subcritical system at the subcritical facility «YALINA». This work yields a number of innovative results: (a) provides argumentation for the concept of using low-energy accelerators (cyclotrons, neutron generators) for studying physics and kinetics of subcritical systems driven by high-energy particles accelerators; (b) shows the creation of a new functioning subcritical facility consisting of two sub-critical assemblies, a neutron generator, a measurement complex, and a life-support system. The «YALINA» facility is a unique system that has no equivalent across the world. It can be used to obtain reliable experimental data, i.e. a catalogue, that is indispensable for elaborating a technical design for an innovative industrial prototype of a subcritical reactor (accelerator-driven system, aka ADS).

**Keywords:** subcritical systems; neutronics; transmutation, reaction rates; subcritical facility; nuclear fuel cycle, ecology problems.

### Введение

Подкритические системы, управляемые ускорителями заряженных частиц высоких энергий, рассматриваются как наиболее перспективные для решения ключевых проблем атомной энергии (АЭ): 1) безопасность АЭС и установок ядерного топливного цикла (ЯТЦ), 2) экологические проблемы, в том числе связанные с захоронением радиоактивных отходов и использованием отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), 3) ограниченные запасы уранового топлива.

Для реализации ADS-систем необходимо решить ряд физических и технических задач [1–2]: 1) выбрать энергию и ток протонного пучка и создать ускоритель с требуемыми параметрами; 2) выбрать материал мишени и создать ее оптимальную конструкцию для получения нейтронов расщепления; 3) разработать схему съема тепла в мишенном блоке; 4) разработать схему и конструкцию подкритического blankets и обеспечить ядерную безопасность; 5) разработать схему съема тепла в подкритическом blankets; 6) определить скорости реакций трансмутации долгоживущих нуклидов и скорости их наработки. ADS-система состоит из трех основных компонентов: ускорителя заряженных частиц высоких энергий, мишенного блока и подкритического blankets. Изучение взаимосвязи между ускорителем и мишенным блоком, а также подкритическим реактором является сложной проблемой. Эта задача может быть разделена на несколько подзадач. В данной работе представлены возможные схема и конструкция системы «мишень – подкритический blankets» и некоторые вопросы, связанные с обеспечением ядерной безопасности.

К настоящему времени, несмотря на достаточно большое количество теоретических работ, проблема получения наиболее оптимального энергетического спектра нейтронов для трансмутации долгоживущих осколков деления (йод, цезий, стронций, цирконий) и минор-актинидов (нептуний, плутоний, америций, кюрий) остается одной из наиболее актуальных. Это связано с недостаточно точными данными по сечениям взаимодействия нейтронов с радиоактивными ядрами в широком диапазоне энергий от нескольких эВ до 10 ГэВ. Поэтому представляет значительный интерес возможность экспериментальных исследований различных аспектов ADS на основе ускорителей низких энергий (до 30 МэВ) – циклотронов, микротронов, а также ускорителей ионов дейтерия – генераторов нейтронов высокой интенсивности [3–6]. Использование таких установок позволяет проводить экспериментальные исследования с целью: а) изучения поведения реактора при наличии внешнего источника; б) структуры активной зоны и др. для последующего планирования экспериментов на ускорителях высоких энергий. Аналогичная ситуация в свое время имела место и в атомной энергетике. Многие физические характеристики энергетических ядерных реакторов, преимущественно активных зон, изучались и изучаются на критических сборках. Концепция использования низкоэнергетических ускорителей ионов (циклотронов, микротронов, генераторов нейтронов) для изучения физики и кинетики подкритических систем, управляемых внешними источниками, и технологий трансмутации явилась фундаментом при проектировании и сооружении первого в мире уникального ядерно-физического подкритического экспериментального комплекса «ЯЛИНА» [3–6].

## Материалы и методы исследования

В процессе прохождения частиц и ядер высоких энергий через вещество можно выделить два этапа, которые отличаются характером протекания реакций, энергией и типом частиц [7–8]. Первый этап связан с интенсивной генерацией адронов в высокоэнергетических ядерных реакциях и их распространением в веществе. Второй этап характеризуется распространением в веществе лишь низкоэнергетических нейтронов ( $E_n \leq 20$  МэВ), образованных в реакциях расщепления и деления. Вследствие этого расчет межъядерного каскада сводится к нахождению характеристик низкоэнергетического ( $E_n \leq 20$  МэВ) источника нейтронов (энергетического и пространственного распределений) с последующим расчетом переноса нейтронов на основе методов, развитых в теории ядерных реакторов. В процессе прохождения высокоэнергетических частиц и ядер через различные среды выделяются две стадии, отличающиеся временем и характером взаимодействия. Первая стадия связана с интенсивной генерацией частиц в высокоэнергетических реакциях расщепления, деления, их распространения в веществе, оканчивающаяся образованием нейтронов с энергией  $E_n \leq 20$  МэВ. Вторая стадия обусловлена распространением рожденных низкоэнергетических нейтронов. Это означает, что проблему расчета межъядерного каскада можно свести к задаче нахождения характеристик низкоэнергетического нейтронного источника (его энергетического, пространственного и углового распределений) с последующим расчетом переноса нейтронов на основе методов расчета, развитых в теории переноса, а в случае сред с делящимися ядрами – и теории ядерных реакторов. Ядерные реакции в области высоких энергий достаточно корректно описываются в рамках каскадно-экситонной модели, в которой взаимодействие частиц с атомными ядрами трактуется как трехстадийный процесс: каскадная, предравновесная и равновесная стадии. В энергетическом спектре вторичных нейтронов могут быть выделены характерные энергетические диапазоны, соответствующие стадиям ядерных реакций. Например, равновесная стадия ответственна, главным образом, за генерацию низкоэнергетических нейтронов ( $E_n < 20$  МэВ).

При облучении мишеней, содержащих делящиеся ядра (Th, U, Pu, ...), значительный вклад в нейтронную составляющую будут вносить и нейтроны реакций деления. Энергетическое распределение плотности потока нейтронов, безусловно, следует определять материальным составом среды. Очевидно, что с увеличением размера мишени доля частиц высоких энергий уменьшается за счет уменьшения как упругих, так и неупругих взаимодействий. Энергетический спектр нейтронов, вылетающих из мишени из тяжелых элементов, в большей степени будет определяться нейтронами с энергией  $E_n < 20$  МэВ, которые в основном образуются на медленной испарительной стадии ядерных реакций.

Исходя из механизма предравновесной и каскадной стадий ядерных реакций, которые определяются свойствами двухчастичных N-N и  $\pi$ -N взаимодействий, следует ожидать, что в интервалах энергий, соответствующих этим стадиям реакций, спектры будут также подобны (рис. 1–2).

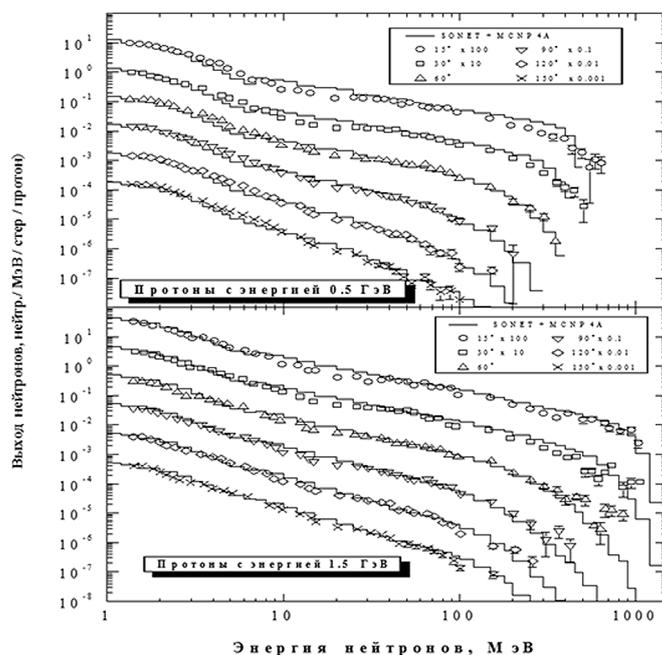


Рис. 1. Экспериментальные и расчетные спектры нейтронов, вылетающих из свинцовой мишени  $15 \times 15 \times 20$  см<sup>3</sup>, при облучении протонами с энергией 0,5 и 1,5 ГэВ. Гистограммы – расчеты по SONET+MCNP4A [11], символы – экспериментальные данные [12]

Fig. 1. Experimental and calculated neutron spectra escaped from the lead target  $15 \times 15 \times 20$  cm<sup>3</sup> at the irradiation by the 0,5 and 1,5 GeV protons. Histograms are the calculations by SONET+MCNP4A [11], symbols – experimental data [12]

Оба распределения содержат два характерных пика в области тепловой энергии и в области энергии выше 10 МэВ, а также достаточно широкую сферу резонансных энергий. Таким образом, первичные исследования по определению скоростей реакций трансмутации можно проводить на подкритических сборках физической мощности, которые достаточно дешевы и безопасны.

В рамках программы работ Международной коллаборации «Энергия–Трансмутация» [11] по исследованию трансмутации ядер  $^{129}\text{I}$  и  $^{237}\text{Np}$  под действием релятивистских протонов с энергиями 1,5 ГэВ, 3,7 ГэВ и 7,4 ГэВ были проведены эксперименты, которые подтвердили вывод о независимости спектра нейтронов от энергии и типа первичной частицы в протяженных мишенях. Экспериментальная установка (рис. 3) состояла из нейтрон-производящих мишеней из свинца диаметром 8 см и длиной 21 см и из урана и свинца (центральная часть состояла из уранового цилиндра диаметром 3,6 см и длиной 21 см, заключенного в свинцовый контейнер с толщиной стенки 2,2 см). Снаружи мишень окружена парафиновым замедлителем толщиной 6 см, на поверхности которого размещались радиоактивные мишени из  $^{129}\text{I}$  и  $^{237}\text{Np}$ , а также детекторы из урана и лантана. Радиоактивные мишени, содержащие  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$  и  $^{237}\text{Np}$ , а также детекторы из урана и лантана, показания которых использовались для коррекции плотности потока нейтронов  $\Phi(E, r, z)$ , из-за несимметричного азимутального распределения первичного пучка протонов располагались на поверхности замедлителя в отверстиях глубиной 1 см и диаметром 1,6 см. Радиоактивные мишени  $^{129}\text{I}$  (0,425 г) и  $^{127}\text{I}$  (0,075 г) в форме NaI и  $^{237}\text{Np}$  (0,742 г) в форме  $\text{NpO}_2$  находились в закрытых алюминиевых капсулах, геометрия и материальный состав которых также учитывались при расчетах величины скорости трансмутации. На рис. 4 представлены рассчитанные энергетические спектры нейтронов, усредненные по объему La-образца (№ 3) в системе «Pb и U(Pb)-замедлитель» для протонных и нейтронных пучков. Данные нормированы на одну частицу первичного пучка. Для всех рассматриваемых случаев имеет место: 1) независимость величины скорости трансмутации от типа первичной частицы и ее энергии; 2) энергетические распределения плотности потока нейтронов в системах «мишень–бланкет» одинаковы.

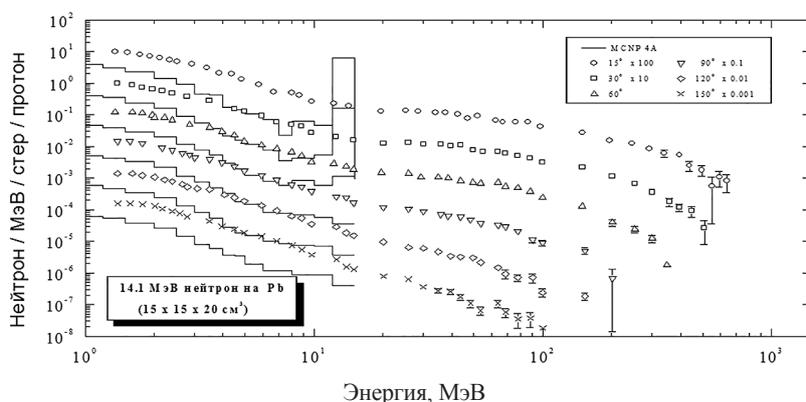


Рис. 2. Экспериментальные и расчетные спектры нейтронов, вылетающих из свинцовой мишени  $15 \times 15 \times 20 \text{ см}^3$ , при облучении нейтронами с энергией  $\sim 14$  МэВ. Гистограммы – расчеты по SONET+MCNP4A [11], символы – экспериментальные данные [12]

Fig. 2. Experimental and calculated neutron spectra escaped from the lead target  $15 \times 15 \times 20 \text{ cm}^3$  at the irradiation by the  $\sim 14$  MeV neutrons. Histograms are the calculations by SONET+MCNP4A [11], symbols – experimental data [12]

На рис. 5 представлены расчетные плотности потока нейтронов в экспериментальных каналах уран-полиэтиленовой подкритической сборки, управляемой генератором нейтронов. Интенсивность генератора нейтронов в расчетах принята  $10^{12}$  нейтр./с. Наблюдается одна и та же форма спектральных распределений как для высоких (рис. 1, 2), так и для низких энергий (рис. 3–5). Энергетические распределения для представленной подкритической системы отличаются от  $\Phi(r, z, E)$  для реакторов на тепловых нейтронах, в этом смысле они являются уникальными. Такие спектры характерны для ADS. Обращает на себя внимание слабая зависимость плотности потока от энергии нейтронов в интервале  $2 \cdot 10^{-1}$  эВ до  $10^5$  эВ. Эта особенность, присущая подкритической системе, позволяет получать данные по сечениям взаимодействия в резонансной области, где средние сечения для некоторых нуклидов могут принимать достаточно высокие значения.

**Ядерно-физический подкритический стенд «ЯЛНА»** создавался для экспериментального определения и апробации результатов теоретических расчетов нейтронно-физических характеристик (НФХ) инновационных ЯЭУ для выжигания долгоживущих нуклидов и производства энергии. Он состоит из двух подкритическихборок, генератора нейтронов, измерительного комплекса и системы жизнеобеспечения. Генератор нейтронов НГ-12-1 спроектирован и изготовлен в Научно-исследовательском институте

те электрофизической аппаратуры им. Ефремова (г. Санкт-Петербург) в 1994 г. и пущен в эксплуатацию в 1998 г. (табл. 1). Генератор нейтронов НГ-12-1 представляет собой линейный ускоритель ионов дейтерия с магнитной сепарацией ускоренного пучка и вращающейся титан-тритиевой или титан-дейтериевой мишенью. Тракт ускорения и транспортировки пучка расположены горизонтально. На рис. 6 представлен общий вид уран-полиэтиленовой сборки. Основные нейтронно-физические характеристики подкритической сборки «ЯЛНА-Тепловая» представлены в табл. 2, 3 и на рис. 5–7.

Таблица 1

Основные параметры генератора нейтронов НГ-12-1

Table 1

Main parameters of a neutron generator NG-12-1

| Наименование параметра                 | Размерность | Титан-дейтериевая мишень  | Титан-тритиевая мишень    |
|--|-------------|---------------------------|---------------------------|
| Максимальный выход нейтронов           | н/с         | $2,3 \cdot 10^{10}$       | $10^{12}$                 |
| Энергия нейтронов                      | МэВ         | 2,5                       | 14                        |
| Ускоряющее напряжение                  | кВ          | 250                       | 250                       |
| Диаметр пучка на мишени                | мм          | 30                        | 30                        |
| Максимальный ток пучка атомарных ионов | мА          | 10                        | 10                        |
| Режимы работы                          |             | Непрерывный<br>импульсный | Непрерывный<br>импульсный |

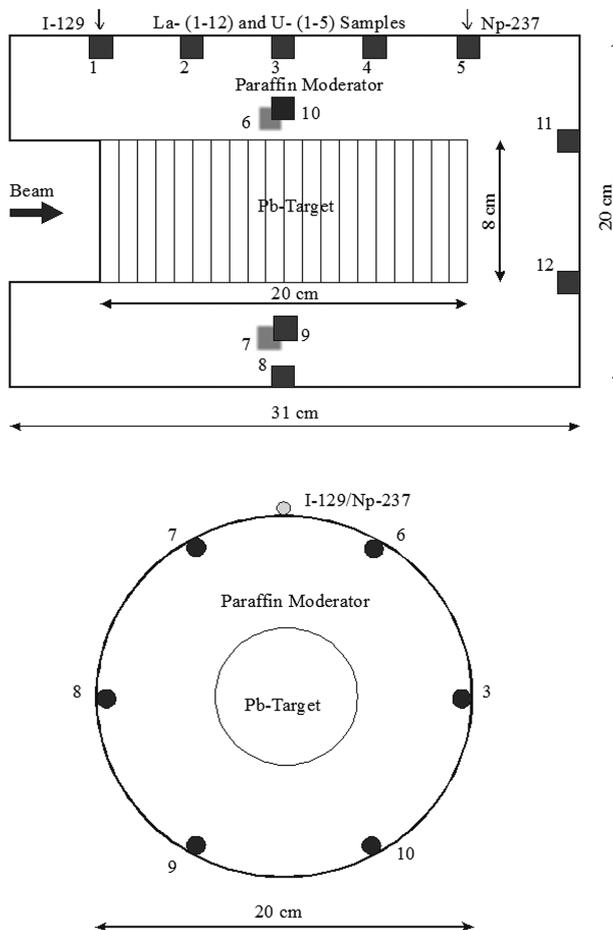


Рис. 3. Схема расположения образцов из Np, I, La в свинцово-парафиновой мишени, облучаемой протонами с энергиями 1,5 ГэВ; 3,7 ГэВ и 7,4 ГэВ

Fig. 3. Layout of the Np, I, La samples in lead-paraffine target irradiated by 1,5; 3,7 and 7,4 GeV protons

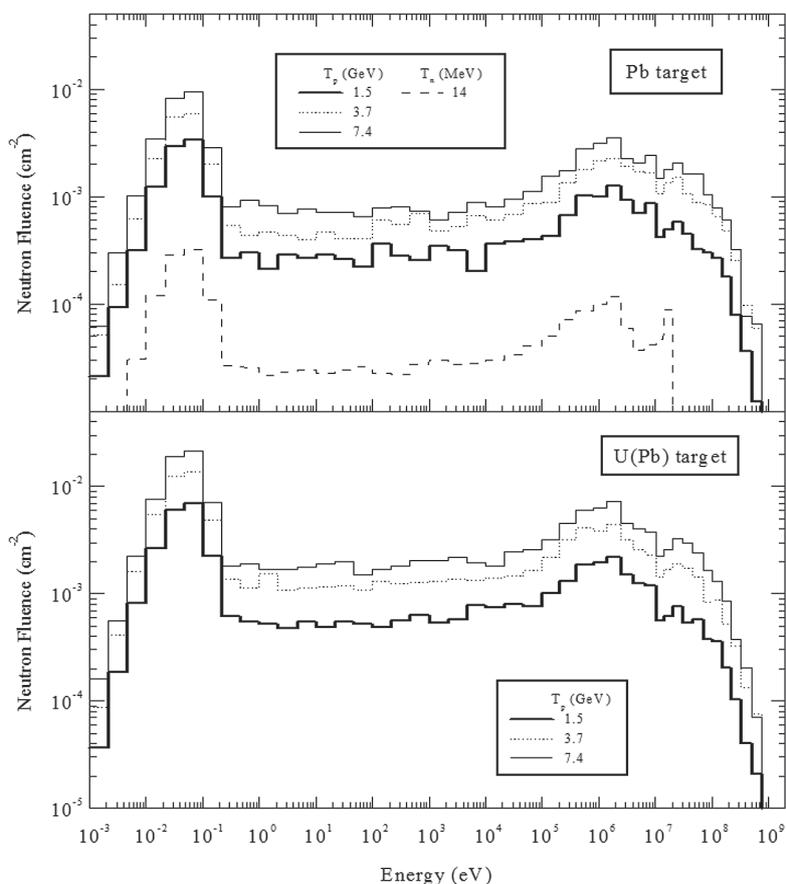


Рис. 4. Рассчитанные энергетические спектры нейтронов, усредненные по объему Ла-образца (№ 3) в системе «Pb и U(Pb)-замедлитель», для протонных и нейтронных пучков. Данные нормированы на одну частицу первичного пучка

Fig. 4. Calculated neutron spectra averaged by the La-sample (№ 3) in the «Pb and U(Pb)-moderator» for the proton and neutron beam. Data is normalized per one primary beam particle

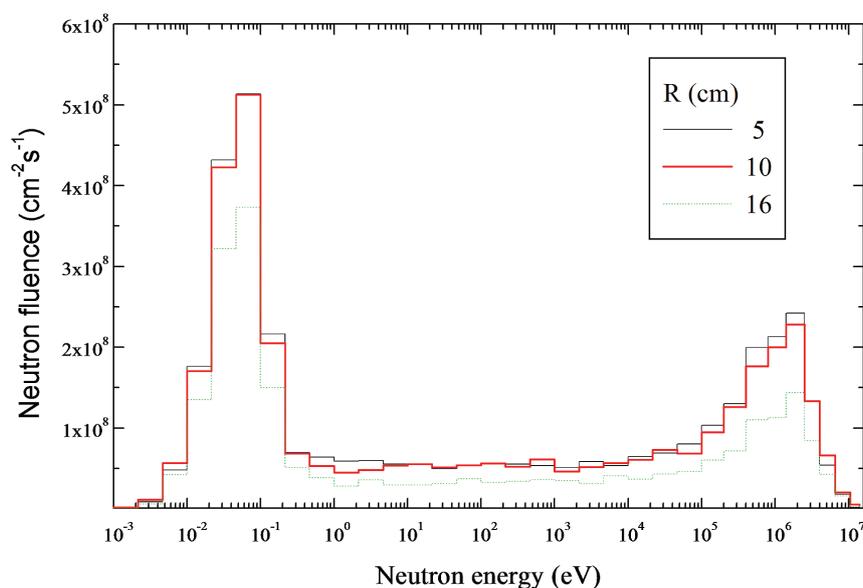


Рис. 5. Плотность потока нейтронов в экспериментальных каналах уран-полиэтиленовой подкритической сборки, управляемой генератором нейтронов. Интенсивность генератора нейтронов в расчетах принята  $10^{12}$  нейтр./с

Fig. 5. Neutron flux density in the experimental channels of the uranium-polyethylene assembly driven by neutron generator. In the calculations intensity of neutron generator was  $10^{12}$  n/s

Основные нейтронно-физические характеристики подкритической сборки «ЯЛИНА-Тепловая»

Table 2

Main neutronics of the subcritical assembly «YALINA-Thermal»

| Параметр  | Значение        |
|---|-----------------|
| $k_{эф}$  | 0,96504±0,00004 |
| $\beta_{эф}$  | 0,00781±0,00006 |
| Мощность энерговыделения для (d-d) режима при интенсивности $3,3 \cdot 10^9$ нейтр./с, Вт | 0,6             |
| Мощность энерговыделения для (d-t) режима при интенсивности $10^{12}$ нейтр./с, Вт        | 100             |

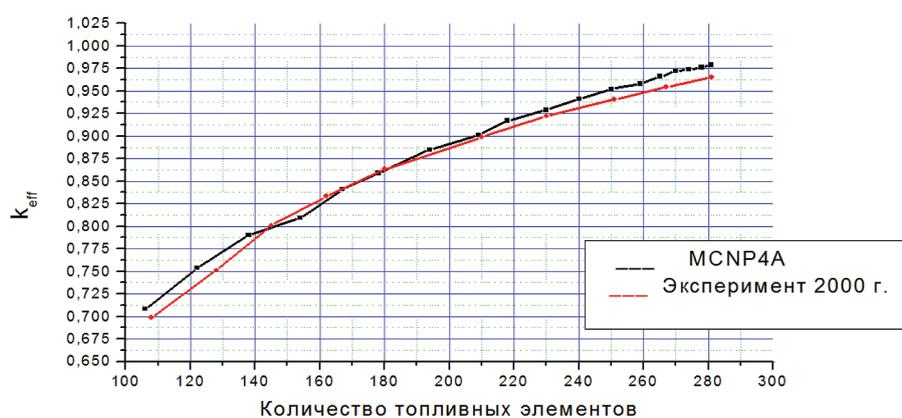


Рис. 6. Зависимость эффективного коэффициента размножения ПКС «ЯЛИНА-Тепловая» от количества загружаемых топливных элементов: расчеты по MCNP 4A; экспериментальные данные

Fig. 6. Dependence of effective multiplication factor SA YALINA-Thermal on the number of loading fuel rods: calculations by MCNP 4A code; experimental data

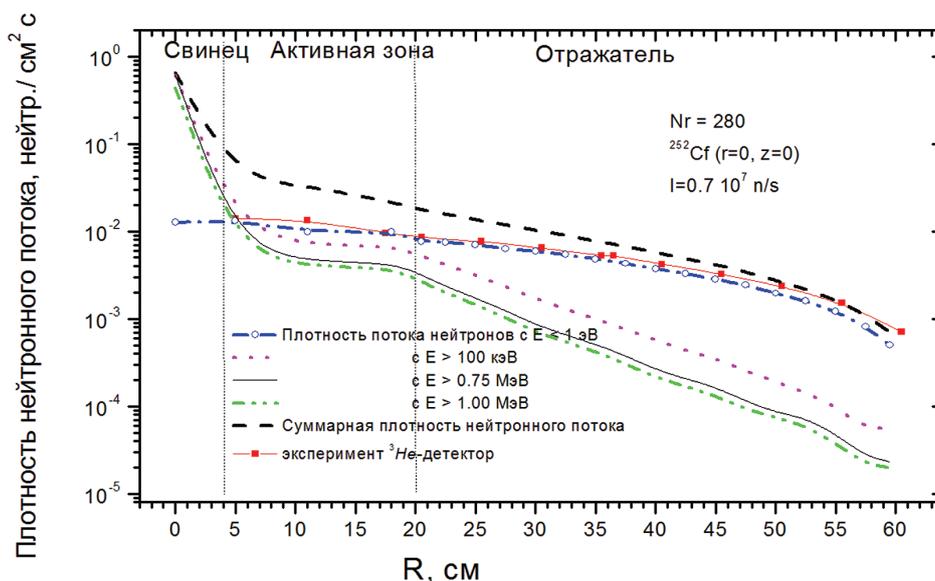


Рис. 7. Радиальное распределение плотностей потока нейтронов в канале EC1 (R=5 см) ПКС «ЯЛИНА-Тепловая» для  $^{252}\text{Cf}$ -источника:  
 --- нейтроны с  $E_n > 0,75$  МэВ; --- нейтроны с энергией  $< 1$  эВ;  
 ..... нейтроны с энергией  $> 100$  эВ; ..... нейтроны всех энергий;  
 ■ — экспериментальные данные, измеренные  $^3\text{He}$ -детектором

Fig. 7. Neutron density flux radial distributions in the experimental challe EC1 (R=5 cm) SA «YALINA-Thermal» for  $^{252}\text{Cf}$ -source:  
 ---  $E_n > 0,75$  MeV neutrons; ---  $< 1$  eV neutrons;  
 .....  $> 100$  eV neutrons; ..... all neutrons;  
 ■ — experimental data by  $^3\text{He}$ -detector

Наиболее важными аспектами при функционировании подкритических установок являются: 1) проблема мониторинга уровня подкритичности в режиме реального времени, 2) выбор спектра для выжигания МА и ПД. Для решения перечисленных задач были инициированы «бенчмарки» или «реперные эксперименты» по изучению нейтронной физики и кинетики подкритических систем, управляемых внешними источниками, для понимания процессов трансмутации, взаимосвязи внешнего источника и размножающей подкритической системы. Расчетно-экспериментальные «бенчмарки» проводятся с целью получения независимых данных разными научными центрами по различным компьютерным программам с использованием различных библиотек оцененных ядерных данных и сравнением с экспериментальными результатами (рис. 8). Подробное описание «реперных экспериментов» на уран-полиэтиленовой подкритической сборке приводится в работах [13–14] и на сайте МАГАТЭ [15]. Похожие исследования проводились на критической сборке МАЗУРКА (Франция, Кадараш) по программам MUSE в рамках 5-ой и 6-ой Европейских рамочных программ [16].

Таблица 3

Участники аналитического бенчмарка на ПКС «ЯЛІНА-Тепловая»

Table 3

Participants of the analytical benchmark at «YALINA-Thermal»

| Страна    | Институт   | Код       | Библиотека   |
|-----------|--|-----------|--------------|
| Аргентина | Instituto Balseiro – Centro Atómico Bariloche – Comisión Nacional de Energía Atómica | MCNP5     | ENDF/B-VI.6  |
| Беларусь  | Joint Institute for Power&Nuclear Research-SOSNY                                     | MCNP4c    | ENDF/B-VI.6  |
| Индия     | Theoretical Physics Division – Bhabha Atomic Research Centre.                        | ATES3     | WIMS         |
| Корея     | Seoul National University  | McCARD    | ENDF/B-VII.0 |
| Польша    | Institute of Atomic Energy   | MCNP5     | ENDF/B-VI.8  |
| Сербия    | Vinca Institute of nuclear sciences  | MCNP5 1.2 | ENDF/B-VI.6  |
| США       | Argonne National Laboratory  | ERANOS    | ENDF/B-VI.8  |
|           |  | ERANOS    | JEF3.1       |
| США       | Argonne National Laboratory  | MCNPX     | ENDF/B-VI.6  |
|           |  | PARTISN   | ENDF/B-VI.8  |

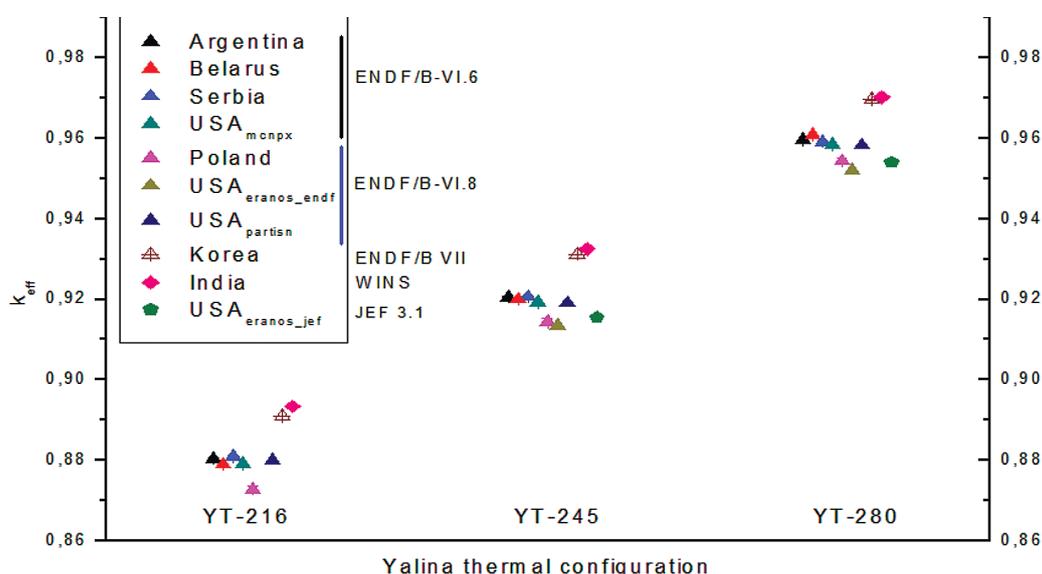


Рис. 8. Зависимость эффективного коэффициента размножения  $k_{эфф}$  для ПКС «ЯЛІНА-Тепловая» от количества загруженных твэлов

Fig. 8. Dependence of effective multiplication factor  $k_{eff}$  for SA «YALINA-Thermal» on the number of loaded fuel rods

## Заключение

В работе изложено теоретическое и экспериментальное обоснование применения низкоэнергетических ускорителей типа циклотронов или ускорителей ионов (нейтронных генераторов) для изучения физики и кинетики подкритических систем, управляемых ускорителями заряженных частиц высоких энергий. Представлена физическая модель и конструкция первой в мире подкритической сборки с тепловым спектром нейтронов ПКС «ЯЛНА-Тепловая», управляемой генератором нейтронов НГ-12-1, на основе концепции, предложенной в ГНУ ИРФХП (в настоящее время – ГНУ «ОИЯИ-Сосны») Национальной академии наук Беларуси. Характерной особенностью ПКС «ЯЛНА» является оригинальная конструкция, позволяющая изменять конфигурацию активной зоны для проведения экспериментальных исследований с различными уровнями подкритичности, использовать различные типы внешних источников нейтронов ( $^{252}\text{Cf}$ ,  $d(d,n)^3\text{He}$  или  $d(t,n)^4\text{He}$ ), размещать их на различных расстояниях от центра активной зоны; перемещать сборку в трех измерениях. Представлены также некоторые результаты экспериментальных исследований.

## Библиографические ссылки

1. OECD/NEA, Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles. In: *A Comparative Study*. [Place unknown]; 2002.
2. Salvatores M, Slessarev I. & Uemastu M. Global Physics Approach to Transmutation of Radioactive Nuclei. *Nuclei Science & Technology*. 1994;116(1):215–227.
3. Киевицкая АИ, Фоков ЮГ. Подкритический стенд «ЯЛНА» для изучения нейтронно-физических характеристик подкритических систем, управляемых ускорителями. *Вопросы атомной науки и техники. Серия. Термоядерный синтез*. 2015; 38:53–58.
4. Kiavitskaya H, Chigrinov S, Routkovskaya C, Serafimovich I, et al. Experimental investigations on neutronics of the Accelerator Driven Transmutation Technologies at the subcritical facility «Yalina». In: *ARWIF Workshop; 2001 October 22–25; Chester, Great Britain*. Chester: [publisher unknown]; 2001.
5. Kiyavitskaya, A, Chigrinov S, Routkovskaya C, Serafimovich V, Mazanik S. Experimental Investigations on Neutronics of the Accelerator Driven Transmutation Technologies at the Subcritical Facility «YALINA». In: *Proceedings of the ANA/ADTTA; 2001 November 11–15; Reno, Nevada*. Reno: [publisher unknown]; 2001.
6. Kiyavitskaya H, Bournos V, Serafimovich I, Routkovskaya C, Fokov Y. Application of the low energy accelerators to study neutronics of ADSIn. In: *Proceedings of the International Symposium on Utilization of Accelerators; 2005 June 5–9; Croatia, Dubrovnik*. Dubrovnik: [publisher unknown]; 2005. p. 64.
7. Chigrinov S, Kiyavitskaya A, Rakhno I. Computer study of interaction of high energy particles with matter. Spallation neutron production in Pb- and W-targets. In: *Proceedings of the Ninth International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems. Tel-Aviv, Israel; 1998 June 28 – July 2*. Tel-Aviv: [publisher unknown]; 1998. p. 241–248.
8. Kiyavitskaya A, Chigrinov S, Gudima K, Petlitski V.  $\pi$ -mesons and Nucleon Yields from Light Targets Irradiated by Deuterium and Tritium Nuclei Beams at Energies 1 GeV/nucleon. *Hyperfine Interactions*. 1993. Volume 77. p. 149–159.
9. Kiyavitskaya A, Chigrinov S, Petlitski V. Relevance of Mesocatalytic Hybrid Reactors for Accumulation of Fissile Nuclei and Energy Balance Analysis. *Nuclear Fusion*. 1993;33(5): 815–820.
10. Chigrinov S, Rakhno I, Kiyavitskaya A. The Code SONET to calculate accelerator driven system performance. In: *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Accelerator Driven Transmutation Technologies and Application (99'ADTTA). Praha (Pruhonice), Czech Republic; 1999 June 7–11*. Praha: [publisher unknown]; 1999. p. 1–8.
11. Kiyavitskaya A, Chigrinov S, Rakhno I. Monte Carlo calculation of relativistic protons interaction with extended targets and transmutation of Iodine-129 and Neptunium-237. In: *Proceedings of the International Conference on the Physics of Nuclear Science and Technology; 1998 October 5–8; New York, USA*. New York: [publisher unknown]; 1998. p. 1455–1461.
12. Takada H, Meigo S, Sasa T, Nishida T, et al. Accelerator driven systems: Energy generation and transmutation of nuclear waste. In: *Status report*. Vienna: IAEA; 1997. p. 117.
13. Gudowski W, Stanculescu A, Kiavitskaya H, Perrson C-M, Routkovskaya C. IAEA Benchmark on Accelerator-Driven Systems. In: *ANS Topical Meeting on Accelerator Applications/Accelerator Driven Transmutation Technologies Applications '01; 2001 November 11–15; Reno, Nevada*. Reno: [publisher unknown]; 2001.
14. Gudowski W, Stanculescu A, Kiavitskaya H, Abderrahim H Ait, Gohar Y, Gonzales E. Research Coordinated Meeting of the Coordinated Research Project on Analytical and Experimental Benchmark Analyses of Accelerator Driven System. In: *IAEA, Working Material; 2005 December 5–9; Minsk, Belarus*. Vienna: IAEA; 2006.
15. Kiavitskaya H, coordinator. YALINA-Booster Benchmark. Specifications for the IAEA Coordinated Research Projects on Analytical and Experimental Benchmark Analysis on Accelerator Driven Systems and Low Enriched Uranium Fuel Utilization in Accelerator Driven Sub-Critical Assembly Systems. IAEA [Internet]. 2007 [cited 2019 September 5]. Available from: <http://www-nfcis.iaea.org>.
16. Villamari D, Gonzalez E. Benchmark on Computer Simulation of MASURCA Critical and Subcritical experiments. In: *Final Report. MUSE-4 Benchm ark*. Paris: OECD; 2006. 269 p. NEA 4439.

## References

1. OECD/NEA, Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles. In: *A Comparative Study*. [Place unknown]; 2002.
2. Salvatores M, Slessarev I. & Uemastu M. Global Physics Approach to Transmutation of Radioactive Nuclei. *Nuclei Science & Technology*. 1994;116(1):215–227.
3. Kiayvitskaya H, Fokov YuG. *Podkriticheskiy stend «Yalina» dla izucheniy nejronno-fizicheskikh kharakteristik podkriticheskikh sistem, upravlaemykh uskoritelami* [The subcritical facility Yalina to study netronics of the subcritical systems driven by accelerators]. *Problems of atomic science and technology. Series Thermonuclear fusion*. 2015;38(3):53–58. Russian.
4. Kiavitskaya H, Chigrinov S, Routkovskaya C, Serafimovich I, et al. Experimental investigations on neutronics of the Accelerator Driven Transmutation Technologies at the subcritical facility «Yalina». In: *ARWIF Workshop; 2001 October 22–25; Chester, Great Britain*. Chester: [publisher unknown]; 2001.
5. Kiyavitskaya, A, Chigrinov S, Routkovskaya C, Serafimovich V, Mazanik S. Experimental Investigations on Neutronics of the Accelerator Driven Transmutation Technologies at the Subcritical Facility «YALINA». In: *Proceedings of the ANA/ADTTA; 2001 November 11–15; Reno, Nevada*. Reno: [publisher unknown]; 2001.
6. Kiayvitskaya H, Bournos V, Serafimovich I, Routkovskaya C, Fokov Y. Application of the low energy accelerators to study neutronics of ADSIn. In: *Proceedings of the International Symposium on Utilization of Accelerators; 2005 June 5–9; Croatia, Dubrovnik*. Dubrovnik: [publisher unknown]; 2005. p. 64.
7. Chigrinov S, Kievitskaya A, Rakhno I. Computer study of interaction of high energy particles with matter. Spallation neutron production in Pb- and W-targets. In: *Proceedings of the Ninth International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems. Tel-Aviv, Israel; 1998 June 28 – July 2*. Tel-Aviv: [publisher unknown]; 1998. p. 241–248.
8. Kievitskaia A, Chigrinov S, Gudima K, Petlitski V.  $\pi$ -mesons and Nucleon Yields from Light Targets Irradiated by Deuterium and Tritium Nuclei Beams at Energies 1 GeV/nucleon. *Hyperfine Interactions*. 1993. Volume 77. p. 149–159.
9. Kievitskaia A, Chigrinov S, Petlitskij V. Relevance of Mesocatalytic Hybrid Reactors for Accumulation of Fissile Nuclei and Energy Balance Analysis. *Nuclear Fusion*. 1993;33(5):815–820.
10. Chigrinov S, Rakhno I, Kiyavitskaya A. The Code SONET to calculate accelerator driven system performance. In: *Proctdings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Accelerator Driven Transmutation Technologies and Application (99'ADTTA)*. Praha (Pruhonice), Czech Republic; 1999 June 7–11. Praha: [publisher unknown]; 1999. p. 1–8.
11. Kievitskaia A, Chigrinov S, Rakhno I. Monte Carlo calculation of relativistic protons interaction with extended targets and transmutation of Iodine-129 and Neptunium-237. In: *Proceedings of the International Conference on the Physics of Nuclear Science and Technology; 1998 October 5–8; New York, USA*. New York: [publisher unknown]; 1998. p. 1455–1461.
12. Takada H, Meigo S, Sasa T, Nishida T, et al. Accelerator driven systems: Energy generation and transmutation of nuclear waste. In: *Status report*. Vienna: IAEA; 1997. p. 117.
13. Gudowski W, Stanculescu A, Kiavitskaya H, Perrson C-M, Routkovskaya C. IAEA Benchmark on Accelerator-Driven Systems. In: *ANS Topical Meeting on Accelerator Applications/Accelerator Driven Transmutation Technologies Applications '01; 2001 November 11–15; Reno, Nevada*. Reno: [publisher unknown]; 2001.
14. Gudowski W, Stanculescu A, Kiavitskaya H, Abderrahim H Ait, Gohar Y, Gonzales E. Research Coordinated Meeting of the Coordinated Research Project on Analytical and Experimental Benchmark Analyses of Accelerator Driven System. In: *IAEA, Working Material; 2005 December 5–9; Minsk, Belarus*. Vienna: IAEA; 2006.
15. Kiavitskaya H, coordinator. YALINA-Booster Benchmark. Specifications for the IAEA Coordinated Research Projects on Analytical and Experimental Benchmark Analysis on Accelerator Driven Systems and Low Enriched Uranium Fuel Utilization in Accelerator Driven Sub-Critical Assembly Systems. IAEA [Internet]. 2007 [cited 2019 September 5]. Available from: <http://www-nfcis.iaea.org>.
16. Villamari D, Gonzalez E. Benchmark on Computer Simulation of MASURCA Critical and Subcritical experiments. In: *Final Report. MUSE-4 Benchmark*. Paris: OECD; 2006. 269 p. NEA 4439.

Статья поступила в редколлегию 28.08.2019.

Received by editorial board 28.08.2019.

# МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

# MEDICAL ECOLOGY

УДК 616.036.2:[616-006:618.19]

## ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*А. Н. БАТЯН<sup>1)</sup>, Т. В. КОСТЕЦКАЯ<sup>2)</sup>, В. О. ЛЕМЕШЕВСКИЙ<sup>1)</sup>*

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

<sup>2)</sup>Белорусская медицинская академия последипломного образования,  
ул. Петруся Бровки, 3/3, 220013, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты многолетнего ретроспективного эпидемиологического анализа заболеваемости раком молочной железы женского населения Беларуси. Установлено, что за 35 лет наблюдений заболеваемость увеличилась в 4 раза: с 16,3 ‰ в 1971 г. до 64,8 ‰ – в 2004 г. Стандартизованный показатель заболеваемости женщин городского населения увеличился в 2,5 раза: с 19,2 ‰ в начале 70-х гг. до 48,9 ‰ в 2004 г. Динамика нарастания числа онкозаболеваний на каждые 100 тыс. мужчин за 10 лет составила 29,5 %, а на каждые 100 тыс. женщин – 23,8 %. Влияние пола на уровни онкологической заболеваемости проявляется в возрасте старше 55 лет. С социально-экономических позиций особую группу представляет население трудоспособного возраста (в 2017 г. женщины от 16 до 55,5 лет и мужчины от 16 до 60,5 лет).

### Образец цитирования:

Батян АН, Костецкая ТВ, Лемешевский ВО. Эпидемиологические аспекты заболеваемости раком молочной железы в Республике Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;3:51–57.

### For citation:

Batyan AN, Kosteckaya TV, Lemiasheuski VO. Epidemiological aspects of breast cancer incidence in Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;3:51–57. Russian.

### Авторы:

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

*Татьяна Владимировна Костецкая* – кандидат медицинских наук, доцент; доцент кафедры онкологии.

*Виктор Олегович Лемешевский* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; доцент кафедры экологической химии и биохимии.

### Author:

*Anatoliy N. Batyan*, doctor of science (medicine), professor; head of the department of environmental medicine and radiobiology.

*Tatyana V. Kosteckaya*, PhD (medicine), docent; associate professor at the department of oncology.

*Victor O. Lemiasheuski*, PhD (agricultural), docent; associate professor at the environmental chemistry and biochemistry.  
*lemeshonak@yahoo.com*

Согласно данным Белорусского канцер-регистра, за последнее десятилетие абсолютное число вновь выявленных случаев заболевания раком молочной железы в 2006 г. составило 3 393 женщины, в 2007 г. – 3 606, 2010 г. – 3 931, 2011 г. – 3 889, 2015 – 4 324, 2016 – 4 428 и в 2017 г. – 4 616 новых пациенток. В 2017 г. своевременная диагностика ранних стадий рака молочной железы (I и II стадии) достигла цифры 73,5 %, из которой I стадия заболевания составила 31,0 % случаев. В 2017 г. стандартизованный показатель заболеваемости женщин на 100 тыс. населения соответствовал 52,6. Предполагается, что только за счет дальнейшего старения женской части населения ежегодное количество новых случаев заболевания раком молочной железы будет неуклонно расти.

**Ключевые слова:** заболеваемость; рак молочной железы; рак шейки матки; новообразования; злокачественная опухоль; доброкачественное новообразование; маммографический скрининг; ранняя диагностика

## EPIDEMIOLOGICAL ASPECTS OF BREAST CANCER INCIDENCE IN REPUBLIC OF BELARUS

A. N. BATYAN<sup>a</sup>, T. V. KOSTECKAYA<sup>b</sup>, V. O. LEMIASHEUSKI<sup>a</sup>

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

<sup>b</sup>Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education,  
3/3 Petrusia Broŭki Street, Minsk 220013, Belarus

Corresponding author: V. O. Lemiasheuski (lemeshonak@yahoo.com)

The results of a long-term retrospective epidemiological analysis of the incidence of breast cancer in the population of Belarus are presented. It is shown that in 35 years of observations, the incidence of the female population increased 4 times: from 16.3 ‰ in 1971 to 64.8 ‰ – in 2004. The standardized incidence rate of women in the urban population increased in 2.5 times: from 19.2 ‰ in the early 70s. to 48.9 ‰ in 2004. The dynamics of the increase in the number of cancers for every 100,000 men over 10 years was 29.5 %, and for every 100,000 women – 23.8 %. The effect of gender on cancer incidence rates is manifested at the age of 55 years. From a socio-economic perspective, a special group is the working-age population (in 2017, women from 16 to 55.5 years and men from 16 to 60.5 years).

According to the data of the Belarusian Cancer Registry over the last decade, the absolute number of newly detected cases of breast cancer in 2006 was 3,393 women, in 2007 – 3,606, 2010 – 3,931, 2011 – 3,889, 2015 – 4,324, 2016 – 4,428 and in 2017 – 4,616 new patients. In 2017, the timely diagnosis of early stages of breast cancer (stage I and stage II) reached 73.5 %, of which stage I was 31.0 % of cases. In 2017, the standardized incidence rate of women per 100,000 population corresponded to 52.6. It is assumed that only due to further aging of the female population, the annual number of new cases of breast cancer will steadily increase.

**Key words:** incidence; breast cancer; cervical cancer; neoplasm; malignant tumor; benign neoplasm; mammography screening; early diagnosis.

### Введение

Главная цель эпидемиологических исследований заключается в создании статистически достоверной базы для организации эффективной противораковой борьбы и разработки ряда действенных мер по профилактике злокачественных новообразований.

По заключению ООН, для большинства стран в настоящее время характерны два явления: демографический и эпидемиологический переход. Оба процесса носят глобальный характер и протекают в отдельных странах и регионах с неодинаковой скоростью. Суть демографического перехода проявляется в старении населения и изменении количественного соотношения между молодыми и старшими возрастными группами в сторону повышения удельного веса последних. Он тесно связан с эпидемиологическим переходом, с заболеваемостью в сторону преобладания онкологических болезней. Цель настоящего исследования – провести ретроспективный эпидемиологический анализ заболеваемости раком молочной железы женского населения Республики Беларусь.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования явились сведения о численности впервые зарегистрированных случаев онкологических заболеваний, демографические показатели населения, информация о заболеваемости жителей Республики Беларусь, полученная из официального статистического сборника «Здравоохранение в Республике Беларусь» за изучаемый период, а также данные Белорусского канцер-регистра.

Практическая часть работы выполнялась с помощью различных приемов эпидемиологического метода. Описательные (дескриптивные) исследования проводились на основе анализа структуры явлений, относительных величин, распределения больных по территориям, возрастным группам, полу, социальным признакам, уровню заболеваемости и по анализу многолетней динамики.

В ходе исследования изучены и определены ведущие факторы, которые детерминируют эпидемические процессы изучаемых нозологий. Анализ особенностей проявления эпидемического процесса нозологий и факторов, формирующих эпидемиологическую ситуацию, проведен с помощью интеграционного метода – сопряженного ретроспективного эпидемиологического анализа изучаемых заболеваний по одинаковым параметрам в один и тот же временной промежуток.

Ретроспективная эпидемиологическая оценка онкологической заболеваемости в Республике Беларусь проведена с использованием стандартных форм статистического наблюдения. На основе полученных данных рассчитаны экстенсивные и интенсивные показатели, темпы прироста, многолетние тенденции по методу наименьших квадратов [1; 7]. Полученные в ходе исследований данные подвергались статистической обработке в компьютерной программе MS Office Excel.

### Результаты исследования и их обсуждение

Темпы роста онкологической заболеваемости отражают влияние эпидемиологических факторов риска как в городах, так и в сельской местности. Жители городов чаще заболевают раком многих локализаций по сравнению с сельскими жителями. Такая закономерность сохраняется на протяжении многих лет, тем более что ожидаемая продолжительность жизни городских жителей существенно выше (75,6 года), чем сельских жителей (70,8 лет) [2; 3]. Рост стандартизованных показателей онкологической заболеваемости показан на рис. 1.

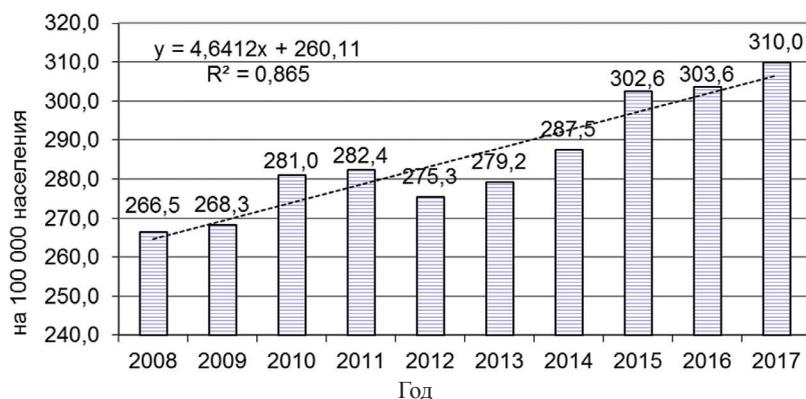


Рис. 1. Динамика заболеваемости населения Республики Беларусь злокачественными новообразованиями всех локализаций (стандартизованные World-показатели на 100 тыс. населения), 2008–2017 гг.

Fig. 1. Dynamics of the incidence of malignant neoplasms of all localizations in the Republic of Belarus (World standardized indicators per 100,000 population), 2008–2017

При этом следует отметить, что темпы роста онкологической заболеваемости мужчин значительно превышают таковые для женщин (рис. 2). При одинаковых эпидемиологических условиях женщины обладают более высокой ожидаемой продолжительностью жизни, которая более чем на десять лет выше по сравнению с мужчинами. В свою очередь среди мужского населения преобладает распространение вредных привычек и профессиональных вредностей.

Среди женского населения Беларуси, как и во многих странах мира, наиболее актуальной медико-социальной проблемой остается рак молочной железы. В начале 70-х годов в Беларуси ежегодно регистрировалось около 800 новых случаев заболеваний раком молочной железы. Период времени за 35 лет характеризуется стабильным подъемом регистрации новых случаев заболевания, которые к концу периода достигли цифры 3 392 [4] (рис. 3). Это означает, что абсолютное число больных с впервые в жизни установленным диагнозом рака молочной железы возросло в 4,4 раза, причем особенно резкий рост отмечен на последних этапах.

За 1991–2003 гг. число ежегодно регистрируемых заболеваний злокачественными опухолями увеличивалось в среднем на 652 случая в год, а за последние 10 лет этого века ежегодный прирост составил уже 1 067 случаев.

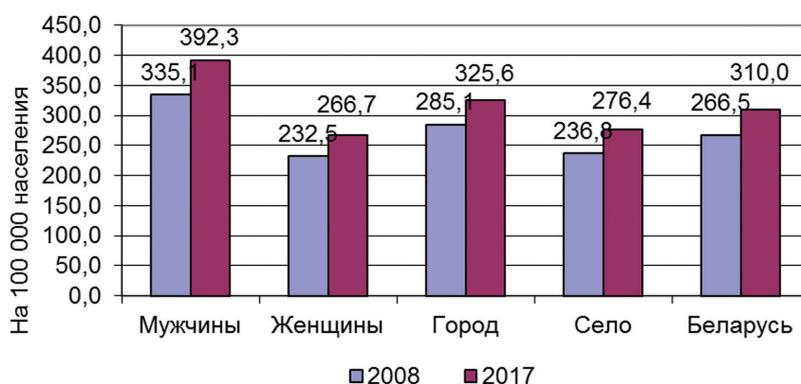


Рис. 2. Уровни заболеваемости населения Республики Беларусь злокачественными новообразованиями всех локализаций в 2008 и 2017 годах (стандартизованные World-показатели на 100 тыс. населения)

Fig. 3. Incidence rates of malignant neoplasms of all localizations in the population of the Republic of Belarus in 2008 and 2017 (standardized World indicators per 100,000 population)



Рис. 3. Числа вновь выявленных случаев рака молочной железы за 35 лет

Fig. 3. Numbers of newly detected breast cancer cases for 35 years

Анализ грубых интенсивных показателей (рис. 4) свидетельствует, что за 35 лет наблюдений заболеваемость женского населения увеличилась в 4 раза: с  $16,3 \text{ ‰}$  – в 1971 г. до  $64,8 \text{ ‰}$  – в 2004 г. Заболеваемость раком молочной железы среди городских женщин возросла с  $19,9 \text{ ‰}$  до  $70,1 \text{ ‰}$  – в 3,5 раза. Заболеваемость раком молочной железы среди сельских женщин также возросла с  $13,4$  до  $51,3 \text{ ‰}$  – в 3,8 раза [5].

Различия в заболеваемости городских и сельских женщин в 1971 г. составили 1,5 раза, и лишь незначительно снизились до 1,4 раза к 2004 г.

Оценка динамики стандартизованных показателей за 35-летний период наблюдения также демонстрирует равномерное увеличение заболеваемости с  $13,4$  до  $42,4 \text{ ‰}$  – в 3,2 раза. Стандартизованный показатель заболеваемости женщин городского населения (рис. 5) увеличился в 2,5 раза: с  $19,2 \text{ ‰}$  в начале 70-х гг. до  $48,9 \text{ ‰}$  в 2004 г. Заболеваемость сельских жительниц раком молочной железы оставалась низкой на протяжении этого периода, но темпы роста стандартизованного показателя были несколько выше, чем у городских женщин. Заболеваемость женщин села за 35-летний период наблюдения увеличилась с  $10,0$  до  $29,4 \text{ ‰}$  – в 2,9 раза.

Демографическая ситуация в Беларуси за последние 10 лет характеризуется снижением рождаемости и увеличением средней продолжительности жизни, что привело к постарению населения. Параллельно изменилось соотношение численности городского и сельского населения за счет миграции жителей из сельской местности в город.

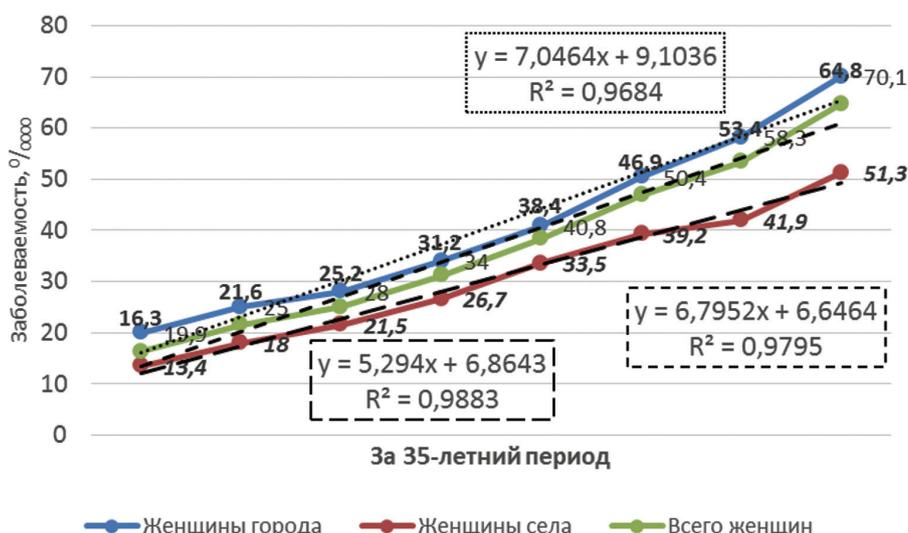


Рис. 4. Грубые интенсивные показатели заболеваемости раком молочной железы за 35 лет,  $\%_{0000}$

Fig. 4. Rough intensive rates of breast cancer incidence for 35 years,  $\%_{0000}$

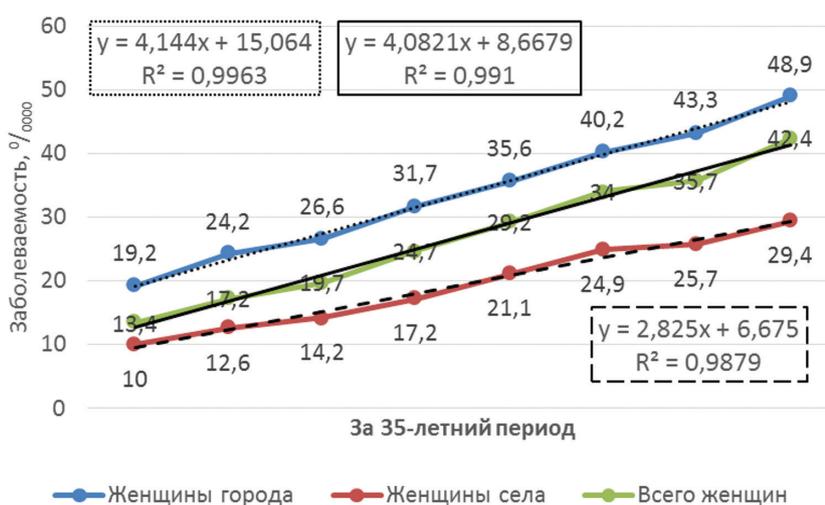


Рис. 5. Стандартизованные показатели (World) заболеваемости женщин раком молочной железы за 35 лет,  $\%_{0000}$

Fig. 5. Standardized (World) incidence rates for women with breast cancer for 35 years,  $\%_{0000}$

Динамика нарастания числа онкологических заболеваний на каждые 100 тыс. жителей среди мужчин и женщин происходит примерно с равной интенсивностью. Прирост заболеваемости среди всего населения страны за последние 10 лет составил 26,6 %. Динамика нарастания числа онкозаболеваний на каждые 100 тыс. мужчин за 10 лет составила 29,5 %, а на каждые 100 000 женщин – 23,8 %. Влияние пола на уровни онкологической заболеваемости проявляется в возрасте старше 55 лет [6].

С социально-экономических позиций особую группу представляет население трудоспособного возраста (в 2017 г. женщины от 16 до 55,5 лет и мужчины от 16 до 60,5 лет). Онкологическая заболеваемость женщин в возрастных группах от 30 до 50 лет несколько выше, чем у мужчин, за счет рака шейки матки, рака молочной железы и рака щитовидной железы. В целом за последние 10 лет прирост онкологической заболеваемости среди трудоспособного населения составил 22,5 %. Среди женщин трудоспособного возраста наблюдался выраженный рост заболеваемости раком молочной железы, раком яичников, меланомой и другими новообразованиями кожи. Увеличилась заболеваемость раком тела матки на 15,7 %, раком молочной железы на 16,5 %, яичников – на 26,6 %. В 2016 г. среди наиболее часто регистрируемых злокачественных опухолей у женщин 21,8 % составили новообразования кожи без учета меланомы и 17,9 % – рак молочной железы. С учетом современной демографической ситуации, характеризующейся постепенным постарением населения и воздействием ряда неблагоприятных экологических факторов

на здоровье населения, предполагается сохранение в ближайшие годы тенденции к росту многих форм злокачественных новообразований.

С середины 80-х гг. XX в. уровень заболеваемости раком молочной железы в различных возрастных группах, начиная с 45–49 лет, практически не меняется. Но в 1985–1990 гг. было отмечено снижение уровня заболеваемости для женщин возрастной группы 65–69 лет, в 1995 г. – для женщин возрастной группы 70–74 года, а в 2000 г. – для женщин 75–79 лет. Уже в 2004 г. анализ показателей заболеваемости раком молочной железы в зависимости от возраста четко выявил два пика, приходящиеся на возрастные группы 55–59 лет и 60–64 года, а в более старших возрастных группах – последующее снижение частоты заболевания. На протяжении указанного периода времени самые высокие в Беларуси показатели заболеваемости раком молочной железы, превосходящие таковые по отдельным областям, наблюдались в Минске. Однако, если в начале 1970-х гг. заболеваемость раком молочной железы среди жительниц Минска в 2 раза превосходила среднереспубликанский уровень, то в 1980 г. – в 1,8 раза, в 1990 г. – в 1,4 раза и в 2000 г. – в 1,3 раза. На протяжении многих лет сохраняется закономерность более высокой заболеваемости злокачественными опухолями многих локализаций городского населения, чем сельского.

Современные статистические данные, отражающие динамику сравнительной характеристики онкологической заболеваемости по Беларуси, демонстрируют увеличение уровня заболеваемости независимо от влияния возраста. Это свидетельствует о продолжающемся воздействии определенных факторов риска и сказывается дополнительное влияние расширения диагностических возможностей по выявлению длительно и скрыто протекающих онкологических заболеваний. Важным эпидемиологическим маркером смещения заболеваемости к молодым возрастным контингентам в данном случае является снижение рождаемости, отмечаемое на протяжении последних десятилетий. Согласно данным Белорусского канцер-регистра, за последнее десятилетие, абсолютное число вновь выявленных случаев заболевания раком молочной железы в 2006 г. составило 3 393 женщины, в 2007 г. – 3 606, 2010 г. – 3 931, 2011 г. – 3 889, 2015 – 4 324, 2016 – 4 428 и в 2017 г. – 4 616 новых пациенток.

Организация своевременной диагностики злокачественных опухолей постоянно совершенствуется. В настоящее время основной мерой диагностики рака молочной железы является организация активного скрининга, который направлен на выявление максимального числа заболеваний на стадии *in situ* и IA стадии. Статистическая обработка данных ежегодной заболеваемости раком молочной железы показывает, что в 2015 г. диагностика ранних форм рака молочной железы (I и II стадии) достигла 73 %. При этом на долю I стадии пришлось 30,1 %. В 2016 г. сохраняется наметившаяся тенденция: диагностика I и II стадии рака молочной железы составила 73,2 %, а в I стадии выявлено 31,8 %. До внедрения маммографического скрининга диагностика ранних форм рака молочной железы (I и II стадии) в 2010–2011 гг. составляла 25,2 %. Результаты пилотного проекта скрининга рака молочной железы продемонстрировали достаточно весомые результаты. В 2016 г. из 6 276 женщин, прошедших маммографический скрининг, новообразования доброкачественного характера в молочных железах обнаружены у 105 (1,7 %), а рак молочной железы – у 40 (0,65 %). Таким образом, ранние формы рака молочной железы (I и II стадии) были установлены у 21 женщины, что составило 51,3 %. Стандартизованный показатель заболеваемости раком молочной железы в 2016 г. – это 50,8 женщин на 100 тыс. женского населения. В 2017 г. своевременная диагностика ранних стадий рака молочной железы (I и II стадии) достигла цифры 73,5 %, из которой первая стадия заболевания составила 31,0 % случаев. В 2017 г. стандартизованный показатель заболеваемости женщин на 100 тыс. населения – 52,6 чел. Современные возможности маммографического скрининга обеспечивают не только раннюю диагностику рака молочной железы (I и II стадии), но также своевременное обследование и лечение пациентов.

### Заключение

Рак молочной железы рассматривается как опухолевая болезнь женщин менопаузального и постменопаузального возраста, поэтому предполагается, что только за счет дальнейшего старения женской части населения ежегодное количество новых случаев заболевания будет неуклонно расти. Нарастающие показатели заболеваемости раком молочной железы находятся вне контроля в связи с отсутствием в настоящее время надлежащей первичной профилактики онкологических заболеваний.

Использование данных по онкологической заболеваемости населения для оценки динамических показателей частоты и уровня заболеваемости стало возможным только с 1970 г., когда в СССР была отработана система сбора, накопления и обработки сведений об онкологических больных. В Республике Беларусь с 1972 г. функционирует Белорусский канцер-регистр, который входит в Европейскую ассоциацию канцер-регистров, а также использует международные принципы сбора, контроля и обработки статистических данных.

Анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями имеет первостепенное значение для определения потребности населения в специализированной медицинской помощи. Общеизвестно, что соотношение показателей смертности от злокачественных заболеваний и показателей заболеваемости позволяет оценить состояние своевременной диагностики и качества лечения онкологических пациентов.

Политика совершенствования онкологической помощи населению Беларуси на ближайшие годы ориентирована на широкое внедрение методов скрининга различных злокачественных опухолей, изучение роли природных и антропогенных факторов внешней среды в развитии злокачественных новообразований, что со временем позволит разработать комплекс мероприятий в области первичной профилактики рака.

### Библиографические ссылки

1. Беляков ВД. *Эпидемиология*. Москва: Медицина; 1989. 416 с.
2. Залуцкий ИВ, Аверкин ЮИ, Артемова НА, Машевский АА. *Эпидемиология злокачественных новообразований в Беларуси*. Минск: Зорны Верасень; 2006. 207 с.
3. Океанов АЕ, Моисеев ПИ, Левин ЛФ. *Статистика онкологических заболеваний в Республике Беларусь (2005–2014)*. Минск: РНПЦ ОМР имени Н. Н. Александрова; 2015. 204 с.
4. Океанов АЕ, Моисеев ПИ, Левин ЛФ. *Статистика онкологических заболеваний в Республике Беларусь (2006–2015)*. Минск: РНПЦ ОМР имени Н. Н. Александрова; 2016. 279 с.
5. Океанов АЕ, Моисеев ПИ, Левин ЛФ, Евмененко АА. *Статистика онкологических заболеваний в Республике Беларусь (2007–2016)*. Минск: РНПЦ ОМР имени Н. Н. Александрова; 2017. 286 с.
6. Океанов АЕ, Моисеев ПИ, Левин ЛФ, Евмененко АА. *Статистика онкологических заболеваний в Республике Беларусь (2007–2017)*. Минск: РНПЦ ОМР имени Н. Н. Александрова; 2018. 284 с.
7. Платонов АЕ. *Статистический анализ в медицине и биологии: задачи, терминология, логика, компьютерные методы*. Москва: Издательство РАМН, 2000. 52 с.

### References

1. Belyakov VD. *Epidemiologija* [Epidemiology]. Moscow: Medicine; 1989. 416 p. Russian.
2. Zalutsky IV, Averkin Yul, Artemova NA, Mashevsky AA. *Epidemiologija zlokachestvennykh novoobrazovaniy v Belarusi* [Epidemiology of malignant neoplasms in Belarus]. Minsk: Zorny Verasen', 2006. 207 p. Russian.
3. Okeanov AE, Moiseev PI, Levin LF. *Statistika onkologicheskikh v Respublike Belarus' (2005–2014)* [Statistics of oncological diseases in the Republic of Belarus (2005–2014)]. Minsk: Respublikayskiy nauchno-prakticheskiy tsentr onkologii i meditsinskoy radiologii after named N. N. Alexandrova, 2015. 204 p. Russian.
4. Okeanov AE, Moiseev PI, Levin LF. *Statistika onkologicheskikh v Respublike Belarus' (2006–2015)* [Statistics of oncological diseases in the Republic of Belarus (2006–2015)]. Minsk: Respublikayskiy nauchno-prakticheskiy tsentr onkologii i meditsinskoy radiologii after named N.N. Alexandrova, 2016. 279 p. Russian.
5. Okeanov AE, Moiseev PI, Levin LF, Evmenenko AA. *Statistika onkologicheskikh v Respublike Belarus' (2007–2016)* [Statistics of oncological diseases in the Republic of Belarus (2007–2016)]. Minsk: Respublikayskiy nauchno-prakticheskiy tsentr onkologii i meditsinskoy radiologii after named N. N. Alexandrova, 2017. 286 p. Russian.
6. Okeanov AE, Moiseev PI, Levin LF, Evmenenko AA. *Statistika onkologicheskikh v Respublike Belarus' (2008–2017)* [Statistics of oncological diseases in the Republic of Belarus (2007–2017)]. Minsk: Respublikayskiy nauchno-prakticheskiy tsentr onkologii i meditsinskoy radiologii after named N. N. Alexandrova, 2018. 284 p. Russian.
7. Platonov AE. *Statisticheskiy analiz v meditsine i biologii: zadachi, terminologija, logika, komp'juternye metody* [Statistical analysis in medicine and biology: tasks, terminology, logic, computer methods]. Moscow: RAMS Publishing House, 2000. 52 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 24.05.2019.  
Received by editorial board 24.05.2019.

УДК 5:57:577:577.2:577.29

## ИММУНОГИСТОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОЛЕКУЛЯРНО– БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОДТИПОВ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

*И. Н. МАРЧУК<sup>1)</sup>, Р. М. СМОЛЯКОВА<sup>1)</sup>, Е. М. ШПАДАРУК<sup>1)</sup>, А. И. ПРОКОПУК<sup>1)</sup>*

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

Рак молочной железы – неоднородная группа опухолей, которые отличаются по морфологии, клиническому течению и чувствительности к лечению. Существуют четыре молекулярных подтипа, каждый из которых требует различных вариантов терапии, а также имеет различную выживаемость. В ходе проведения иммуногистохимического анализа были выявлены молекулярные подтипы рака молочной железы по уровням экспрессии Her2/neu, Ki-67, ER, PR, что необходимо учитывать для прогноза течения заболевания и выборе тактики лечения пациентов.

**Ключевые слова:** иммуногистохимический анализ; рак молочной железы; маркеры; молекулярные подтипы.

**Благодарность.** Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № M19M-015).

## IMMUNOHISTOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MOLECULAR–BIOLOGICAL SUBTYPES OF BREAST CANCER

*I. N. MARCHUK<sup>a</sup>, R. M. SMOLYAKOVA<sup>a</sup>, K. M. SHPADARUK<sup>a</sup>, A. I. PROKOPUK<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>*International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,  
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus  
Corresponding author: I. N. Marchuk (e-mail: irishka14790@mail.ru)*

Breast cancer is a heterogeneous group of tumors that differ in morphology, clinical course and sensitivity to treatment. There are four molecular subtypes, each of which requires different treatment options, and has a different survival rate.

During the immunohistochemical analysis, molecular subtypes of breast cancer were identified according to the levels of expression Her2 / neu, Ki-67, ER, PR, which must be considered to predict the course of the disease and the choice of treatment tactics for patients.

**Keywords:** immunohistochemical analysis; breast cancer; markers; molecular subtypes.

---

### Образец цитирования:

Марчук ИН, Смолякова РМ, Шпадарук ЕМ, Прокапук АИ. Иммуногистохимическая характеристика молекулярно-биологических подтипов рака молочной железы. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;3:58–64.

### For citation:

Marchuk IN, Smolyakova RM, Shpadaruk EM, Prokapuk AI. Immunohistochemical characteristics of molecular-biological subtypes of breast cancer. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;3:58–64. Russian.

---

### Авторы:

**Ирина Николаевна Марчук** – магистрант кафедры общей биологии и генетики.

**Раиса Михайловна Смолякова** – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры общей биологии и генетики.

**Екатерина Михайловна Шпадарук** – кандидат биологических наук; доцент кафедры общей биологии и генетики.

**Анна Игоревна Прокапук** – студентка, факультет экологической медицины.

### Author:

**Irina N. Marchuk**, master's student at the department of general biology and genetics.

*irishka14790@mail.ru*

**Raisa M. Smolyakova**, doctor of sciences (biology), full professor; professor at the department of general biology and genetics.

*smol60@mail.ru*

**Ekaterina M. Shpadaruk**, PhD (biology); associate professor at the department of general biology and genetics.

*katshp@tut.by*

**Anna I. Prokapuk**, student, faculty of environmental medicine.  
*prokopuk.anna@mail.ru*

*Acknowledgements.* This work was financially supported by the Belarusian Republican Foundation for Basic Research (grant № M19M-015).

## Введение

Рак молочной железы (РМЖ) является одной из основных проблем клинической онкологии, принося значительный социальный и экономический ущерб. Несмотря на активную разработку профилактики, диагностики и лечения данное заболевание до сих пор занимает одну из ведущих позиций в структуре злокачественных заболеваний всего населения и остается на 1 месте среди женщин. Прирост РМЖ, по данным Белорусского канцер-регистра, каждый год составляет 1,2–1,5 % и занимает 1 место среди онкологической патологии у женщин, причем в мире – 21 % по заболеваемости и 14 % по смертности [1; 2].

Иммуногистохимия является дополнительным методом исследования при диагностировании доброкачественных и злокачественных новообразований. Современные принципы и стратегии лечения рака молочной железы основываются на результатах оценки рецепторного статуса, а также пролиферативного потенциала опухолевых клеток. Результаты иммуногистохимического исследования определяют молекулярный подтип рака молочной железы, что позволяет подобрать наиболее эффективный метод лечения, а также оценить прогноз заболевания [3; 5].

Цель исследования – изучить особенности молекулярно-биологического профиля опухоли у пациенток, страдающих раком молочной железы, для прогнозирования течения заболевания и определения тактики лечения.

В задачи исследования входят: определить гормональный статус у пациенток, страдающих РМЖ, на основе уровня экспрессии рецепторов эстрогенов и прогестерона в опухолевой ткани для выбора тактики лечения заболевания; оценить инвазивный потенциал опухоли по уровням экспрессии тканевых антигенов Her-2/neu и Ki-67, ассоциированных с агрессивным потенциалом и пролиферативной активностью; выявить прогностически значимые молекулярно-биологические подтипы РМЖ на основе экспрессии изученных тканевых маркеров.

## Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили клинические данные и опухолевая ткань 150 пациенток, страдающих РМЖ, в возрасте от 33 до 79 лет, получавших лечение в ГУ «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова».

У пациенток, страдающих раком молочной железы, включенных в исследование, проводилось иммуногистохимическое определение тканевых антигенов (ER, PR, HER-2/neu, Ki-67).

Определение уровней экспрессии Her-2/neu и Ki-67 у пациенток, страдающих РМЖ, осуществлялось иммуногистохимическим методом с применением наборов DAKO (Дания), система визуализации (EnVision+).

Иммуногистохимическое исследование проводилось на фиксированных в формалине и заключенных в парафин опухолевых блоках. Изучение проводили по стандартной методике постановки пероксидазной авидин-биотиновой иммуногистохимической реакции. Демаскировку всех антигенов выполняли при помощи водяной бани при  $t = 96–99$  °C.

В работе использовали антитела к PR (клон PgR 636, DAKO); ER (клон 1D5, DAKO); Ki-67 (клон MIB-1, DAKO). Оценку результатов окрашивания проводили с применением светового микроскопа (увеличение  $\times 10$ ,  $\times 20$ ,  $\times 40$ ). Для всех маркеров оценивали локализацию окрашивания в клетке (ядро, цитоплазма, мембрана), интенсивность пероксидазной метки (в области с максимальной экспрессией) и процент окрашенных клеток.

## Результаты исследования и их обсуждение

**Определение гормонального статуса у пациенток, страдающих РМЖ.** Экспрессия рецепторов стероидных гормонов (эстрогенов и прогестерона) при раке молочной железы свидетельствует об относительно благоприятном прогнозе и о потенциальной чувствительности опухоли к эндокринной терапии [6].

Известно, что гормонозависимые опухоли молочной железы, содержащие оба или хотя бы один из рецепторов стероидных гормонов, имеют более благоприятное течение и послеоперационный прогноз [6].

Результаты проведенных исследований показали, что у 42 (28 %) пациенток, страдающих раком молочной железы, высокая экспрессия ER, и 24 (16 %) пациентки оказались с высокой экспрессией PR (табл. 1).

Иммуногистохимическое исследование ER и PR у пациенток, страдающих РМЖ

Table 1

Immunohistochemical study ER and PR in patients with breast cancer

| Рецепторы | Негативные опухоли |    | Позитивные опухоли (%) |    |       |    |        |    | Всего |     |
|-----------|--------------------|----|------------------------|----|-------|----|--------|----|-------|-----|
|           | 0–10               |    | 10–40                  |    | 40–85 |    | 85–100 |    |       |     |
|           | n                  | %  | n                      | %  | n     | %  | n      | %  | n     | %   |
| ER        | 50                 | 33 | 20                     | 14 | 38    | 25 | 42     | 28 | 150   | 100 |
| PR        | 82                 | 55 | 14                     | 9  | 30    | 20 | 24     | 16 | 150   | 100 |

Таким образом, при анализе полученных данных было выявлено, что эстроген-нечувствительными являются 33 % пациенток, а в числе прогестерон-негативных оказались 55 % пациенток с РМЖ, что может быть ассоциировано с неблагоприятным прогнозом течения заболевания.

**Определение уровня экспрессии Her-2/neu и Ki-67 у пациенток, страдающих РМЖ**

В настоящее время доказана диагностическая и прогностическая значимость определения экспрессии Her-2/neu при раке молочной железы [7].

Согласно исследованию, избыточная экспрессия HER-2/neu (score 2+ и score 3+) обнаружена у 40 % пациенток, страдающих РМЖ. В связи с этим выявление HER-2/neu может служить независимым маркером неблагоприятного прогноза, повышенного риска рецидива заболевания.

В проведенном исследовании отсутствие экспрессии Her-2/neu было обнаружено 35 % случаев, в 25 % случаев наблюдается низкий уровень экспрессии (score 1+), в 17 % – умеренный уровень (score 2+) и в 23 % случаев обнаружена гиперэкспрессия (score 3+) в опухолевых тканях пациенток. Распределение пациенток по уровню экспрессии Her-2/neu представлено на рис. 1.

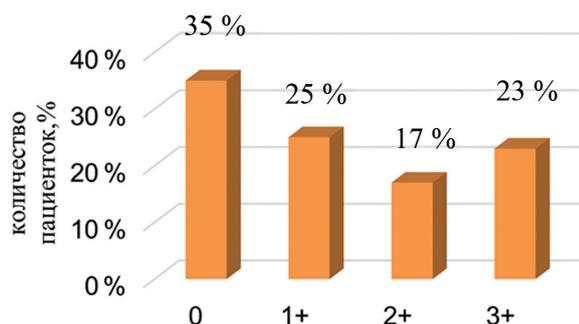


Рис. 1. Распределение пациенток по уровню экспрессии Her-2/neu

Fig. 1. The distribution of patients according to the level of expression of Her-2 / neu

Чрезвычайно важным является определение маркеров пролиферации, отражающих пролиферативную активность, как фактор злокачественной трансформации клетки, так и признак агрессивного поведения уже развившихся опухолей. Среди них первое место занимает антиген Ki-67, экспрессирующийся во всех фазах митотического цикла. На основании многочисленных исследований установлено, что индекс пролиферации в самых разных опухолях является независимым прогнатическим фактором, определяющим вероятность возникновения рецидива, общую и безрецидивную выживаемости [7].

На рис. 2 представлено распределение пациенток, страдающих РМЖ по уровню экспрессии Ki-67. Все пациентки разделены на группы в зависимости от уровня экспрессии Ki-67. В 1-й группе пациенток отмечена экспрессия Ki-67 от 0 до 10 %, во 2-й группе – 10–30 %, в 3-й группе – 30–50 %, в 4-й группе пациенток установлен уровень экспрессии Ki-67 свыше 50 %.

В ходе исследования отсутствие экспрессии тканевого антигена Ki-67 составляет 25 % случаев, в 30 % случаев выявлен низкий уровень экспрессии, в 24 % – наблюдается ее умеренный уровень и в 21 % случаев обнаружена гиперэкспрессия антигена Ki-67 в опухолевых тканях пациенток.

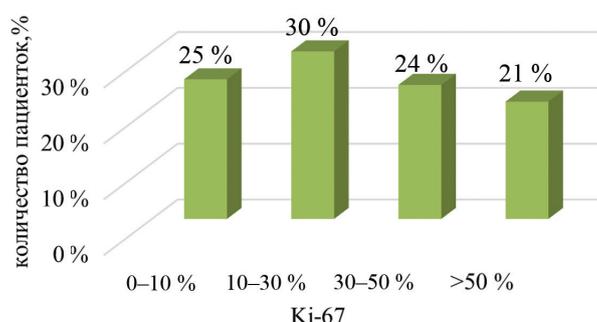


Рис. 2. Распределение пациенток по уровню экспрессии Ki-67

Fig. 2. The distribution of patients according to the level of expression of Ki-67

### Определение молекулярно-биологических подтипов при РМЖ

По результату иммуногистохимического исследования были выделены молекулярные подтипы РМЖ. Пациентки с РМЖ по экспрессии тканевых антигенов были разделены на 4 молекулярно-генетических подтипа: **люминальный А** – рецепторы к ER+ и PR+ положительные, Her-2/neu-отрицателен, **люминальный В** – рецепторы к ER+ и PR+ положительные, Her-2/neu положителен, **HER-2+** – рецепторы к ER- и PR- отрицательные, Her2/neu+ положителен, **базальноподобный** – рецепторы к ER- и PR- отрицательные, Her-2/neu-отрицателен. Эти показания необходимо учитывать для прогноза течения заболевания и выборе тактики лечения пациенток [8].

В результате анализа полученных данных было установлено, что люминальный А тип выявлен у 81 (54 %) пациенток с РМЖ, люминальный В – у 24 (16 %) пациенток с РМЖ, HER-2+ – у 33 (22 %) пациенток с РМЖ, базальноподобный – у 12 (8 %) пациенток с РМЖ (рис. 3).

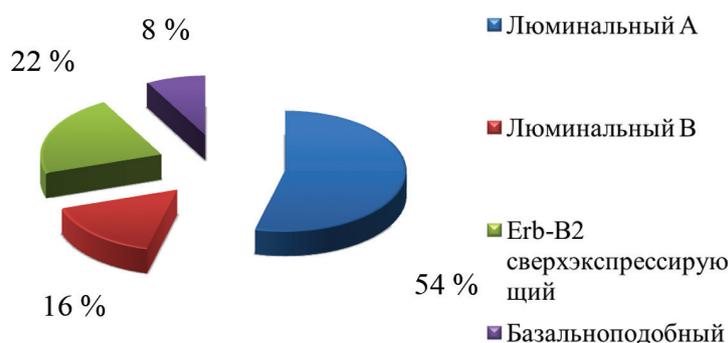


Рис. 3. Распределение пациенток по молекулярно-генетическим подтипам РМЖ

Fig. 3. The distribution of patients by molecular genetic subtypes of breast cancer

В анализируемой группе пациенток с установленным люминальным А типом преобладал инвазивный потоковый рак, выявленный у 64 % пациенток, дольковый – у 21 %. Количество пациенток со смешанным раком (протоково-дольковым) составляет 11 % случаев, неинвазивный внутрипротоковый рак *in situ* встречается в 4 % случаев (рис. 4).

При анализе морфотипа пациенток с установленным люминальным В типом РМЖ (рис. 5) преобладал инвазивный потоковый рак (63 %), дольковый (25 %). Количество пациенток со смешанным раком (протоково-дольковым) составляет 4 % случаев, неинвазивный внутрипротоковый рак *in situ* встречается в 8 % случаев.

В анализируемой группе пациенток с установленным HER-2+ типом РМЖ наиболее часто встречается морфотип – инвазивный потоковый рак (81 %), дольковый (7 %). Количество пациенток со смешанным раком (протоково-дольковым) составляет 5 % случаев, неинвазивный внутрипротоковый рак *in situ* встречается в 7 % случаев (рис. 6).



Рис. 4. Распределение пациенток с люминальным А типом РМЖ в зависимости от морфологического типа опухоли

Fig. 4. Distribution of patients with luminal A type of breast cancer depending on the morphological type of tumor

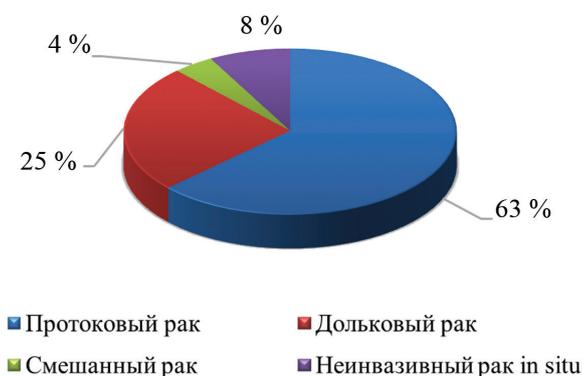


Рис. 5. Распределение пациенток с люминальным В типом РМЖ в зависимости от морфологического типа опухоли

Fig. 5. Distribution of patients with luminal B type of breast cancer depending on the morphological type of tumor

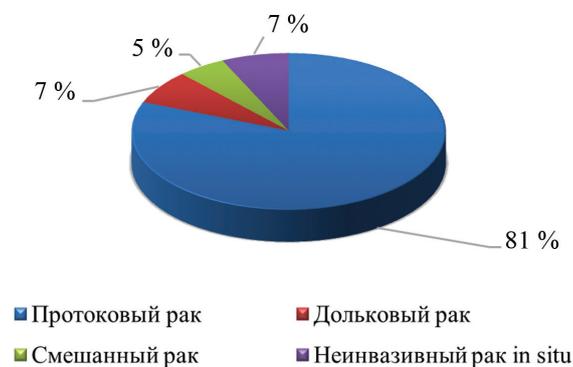


Рис. 6. Распределение пациенток с, HER-2+ типом РМЖ в зависимости от морфологического типа опухоли

Fig. 6. The distribution of patients with HER-2 + type of breast cancer depending on the morphological type of tumor

В ходе оценки морфотипа пациенток с установленным базальноподобным типом РМЖ (рис. 7) преобладал инвазивный протоковый рак у 75 % пациенток, дольковый у 17 %. Неинвазивный внутрипротоковый рак *in situ* встречается у 8 % случаев.

Таким образом, инвазивная протоковая карцинома характеризуется молекулярно-генетической гетерогенностью.

В группе пациенток с люминальным А типом, люминальным В типом и HER-2 сверхэкспрессирующим типом преобладал инфильтративный протоковый рак с умеренной степенью дифференцировки (G2). У пациенток с базальноподобным типом выявлен инфильтративный протоковый рак с низкой степенью дифференцировки (G3).

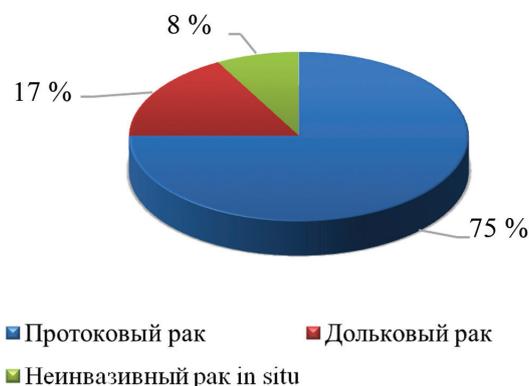


Рис. 7. Распределение пациенток с базальноподобным типом РМЖ в зависимости от морфологического типа опухоли

Fig. 7. Distribution of patients with a basal-like type of breast cancer depending on the morphological type of the tumor.

### Заключение

На основании проведенных исследований по изучению молекулярно-биологических характеристик опухоли у пациенток с РМЖ были сделаны следующие выводы:

1. Отмечено, что у 28 % (40) женщин выявлен высокий уровень рецепторов (85–100 % положительных клеток); низкий уровень ER и PR (0–10 %) – у 36 % (54) пациенток.

2. Установлено, что в 35 % случаев наблюдается отсутствие экспрессии HER-2/neu и в 25 % случаев – низкий уровень экспрессии (score 1+), в 17% – наблюдается умеренный уровень экспрессии (score 2+). Гиперэкспрессия (score 3+) обнаружена у 23 % пациенток с РМЖ. При экспрессии Ki-67 у 62 % случаев выявлена высокая пролиферативная активность. В связи с этим выявление HER-2/neu и Ki-67 может ассоциироваться с неблагоприятным прогнозом течения заболевания.

3. Выявлены прогностически значимые молекулярно-генетические типы РМЖ. Люминальный А тип детектирован у 54 % пациенток, люминальный В тип – у 16 %, Erb-B2 сверхэкспрессирующий тип – 22 %, при этом преобладал инфильтративный протоковый рак с умеренной степенью дифференцировки (G2). Базальноподобный тип обнаружен у 8 % пациенток с РМЖ, при данном типе диагностирован инфильтративный протоковый рак с низкой степенью дифференцировки (G3).

Таким образом, рак молочной железы является гетерогенным заболеванием, которое существенно различается по клиническому течению, а также морфологическому и молекулярному строению опухолевых элементов. Проведение иммуногистохимического анализа и определение экспрессии специфических маркеров рака молочной железы позволяет прогнозировать течение заболевания и выбрать верную и индивидуализационную тактику лечения.

### Библиографические ссылки

1. Антоненков НН, Аверин ЮИ, Белоцерковский ИВ, Беляковский ВН, Ваккер АВ. *Онкология: учебное пособие*. Залуцкий ИВ, редактор. Минск: Вышэйшая школа; 2009. 703 с.
2. Лалетин ВГ, Щербатых АВ, редакторы. *Клинические лекции по онкологии*. Иркутск: Иркутский государственный медицинский университет; 2009. 149 с.
3. Тюляндин СА, Моисеенко ВМ, редакторы. *Практическая онкология: Избранные лекции*. Санкт-Петербург: Центр ТОММ; 2011. 784 с.
4. Имянитов ЕН, Хансон КП. *Молекулярная онкология: клинические аспекты*. Санкт-Петербург: Издательский дом СПбМАПО; 2009. 211 с.
5. Фишер У, Баум Ф, Люфтнер-Нагель С. *Лучевая диагностика. Заболевания молочных желез*. Москва: МЕДпресс-информ; 2009. 256 с.
6. Закирова ЛТ, Петрович ЮМ, Нишанов ДА, Алимходжаева ЛТ. Прогностическая значимость иммуногистохимических маркеров RE, RP, HER2/neu рака молочной железы у женщин молодого возраста. *Евразийский онкологический журнал*. 2015;3(6):42–47.
7. Карпенко НВ, Дубровский АС. Иммуногистохимическая диагностика рака молочной железы. В: *Материалы VIII Съезда врачей клиничко-лабораторной службы Министерства здравоохранения Республики Беларусь, Минск, 10–11 ноября 2016 г.* Минск: [б. н.]; 2016. с. 101.
8. Дечко МВ. Клинические и морфологические особенности люминального А подтипа рака молочной железы. *Онкологический журнал*. 2017. Том 11;3(43):50–59

## References

1. Antonenkov NN, Averin YuI, Belotserkovskiy IV, Belakovskiy VN, Vakker AV. *Onkologija: uchebnoe posobie* [Oncology]. Zalutsky IV, editor. Minsk: Vysheyshaja shkola; 2009. 703 p. Russian.
2. Laletin VG, Chipped AV, editors. *Klinicheskie lektsii po onkologii* [Clinical lectures on oncology]. Irkutsk: Irkutskij gosudarstvennyj meditsinskij universitet; 2009. 149 p. Russian.
3. Tyulyanin SA, Moiseenko VM, editors. *Prakticheskaja onkologija. Izbrannye lektsii* [Practical Oncology: Selected Lectures]. St. Petersburg: Center TOMM; 2011. 784 p. Russian.
4. Imyanitov EN, Hanson KP. *Molekularnaja onkologija. Klinicheskie aspekty* [Molecular oncology: clinical aspects]. St. Petersburg: SPbMAPO Publishing House; 2009. 211 p. Russian.
5. Fisher U, Baum F, Luftner-Nagel S. *Luchevojaja diagnostika. Zabolevanija molochnykh zelez* [Radiation diagnosis. Diseases of the mammary gland]. Moscow: MEDpress-inform; 2009. 256 p. Russian.
6. Zakirova LT, Petrovich YuM, Nishanov DA, Alimkhodzhaeva LT. Prognostic significance of immunohistochemical markers of RE, RP, HER2 / neu breast cancer in young women. *Evropejskij onkologicheskij zhurnal* [Eurasian Oncology Journal]. 2015;3(6):42–47. Russian.
7. Karpenko NV, Dubrovskiy ACh. Immunohistochemical diagnosis of breast cancer. In: *Materialy VIII s'ezda vrachey kliniko-laboratornoj sluzhby Ministerstva zdravookhrantnija Respubliki Belarus, Minsk, 10–11 nojabra 2016 goda* [Proceedings of the VIII Congress of Physicians of the Clinical and Laboratory Service of the Ministry of Health of the Republic of Belarus. Minsk, 2016 November 10–11]. Minsk: [publisher unknown]; 2016. p. 101. Russian.
8. Dechko MV. Clinical and morphological features of the luminal A subtype of breast cancer. *Oncologicheskij zhurnal* [Oncological journal]. 2017. Volume 11; 3(43):50–59. Russian.

Статья поступила в редколлегию 26.07.2019.  
Received by editorial board 26.07.2019.

---

---

# ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

---

## INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

---

---

УДК 634.465

### ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗНАЯ И ПЕРОКСИДАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Е. А. САМУСИК<sup>1)</sup>, Т. П. МАРЧИК<sup>2)</sup>, С. Е. ГОЛОВАТЫЙ<sup>1)</sup>*

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

<sup>2)</sup>Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,  
ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно, Беларусь

Определена экологическая значимость диагностики биологического состояния почв, являющаяся одним из информативных критериев оценки уровня антропогенной нагрузки. Дана количественная оценка полифенолоксидазной и пероксидазной активности в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния выбросов предприятия по производству

---

#### Образец цитирования:

Самусик ЕА, Марчик ТП, Головатый СЕ. Полифенолоксидазная и пероксидазная активность дерново-подзолистых почв в условиях воздействия выбросов предприятия по производству строительных материалов. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2019;3:65–79.

#### For citation:

Samusik EA, Marchyk TP, Golovaty SE. Polyphenol oxidase and peroxidase activity of sod-podzolic soils under the impact of the emissions of a plant producing construction materials. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;3:65–79. Russian.

---

#### Авторы:

*Елена Андреевна Самусик* – аспирант кафедры экологического мониторинга и менеджмента.

*Татьяна Павловна Марчик* – кандидат биологических наук; доцент кафедры экологии.

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

#### Authors:

*Elena A. Samusik*, postgraduate student at the department of environmental monitoring and management.

*e.samusik@mail.ru*

*Tatsiana P. Marchyk*, PhD (biology); associate professor at the department of ecology.

*tmel05@yandex.ru*

*Sergey E. Golovaty*, doctor of science (agriculture), full professor; head of the department of environmental monitoring and management.

*sscience@yandex.ru*

строительных материалов (на примере ОАО «Красносельскстройматериалы»). Представлены результаты анализа реакции почв лесных и сельскохозяйственных земель, установлены значения активности почвенных оксидоредуктаз. В 42 % исследованных образцов почв выявлено смещение значений pH в слабощелочную (pH>7,0) и щелочную области (pH>7,5), что связано с распространением цементной пыли и накоплением в поверхностных горизонтах карбонатов кальция. Выявлена депрессия активности окислительных ферментов по мере приближения к источнику загрязнения. Для изученных дерново-подзолистых почв рассчитан условный коэффициент гумусонакопления, который по мере приближения к источнику загрязнения по северо-восточному направлению снижается, что указывает на создание более неблагоприятных условий для гумусонакопления. Отмечено статистически достоверное влияние реакции почвенной среды на изученные ферменты отрицательной взаимосвязью, что обосновывает необходимость дальнейшего изучения вопроса о влиянии факторов различной природы на биологическую активность почвы в условиях промышленного (цементного) загрязнения. Данные показатели биологической активности могут использоваться как дополнительные биохимические характеристики потенциальной способности накопления гумуса и служить прогнозным индикатором изменения параметров среды.

**Ключевые слова:** цементное загрязнение; дерново-подзолистые почвы; реакция почвенной среды; ферментативная активность; полифенолоксидаза; пероксидаза; условный биохимический коэффициент накопления гумуса.

## POLYPHENOL OXIDASE AND PEROXIDASE ACTIVITY OF SOD-PODZOLIC SOILS UNDER THE IMPACT OF THE EMISSIONS OF A PLANT PRODUCING CONSTRUCTION MATERIALS

E. A. SAMUSIK<sup>a</sup>, T. P. MARCHIK<sup>b</sup>, S. E. GOLOVATYI<sup>a</sup>

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

<sup>b</sup>Yanka Kupala State University of Grodno,  
22 Ažeshka Street, Grodno 230023, Belarus

Corresponding author: S. E. Golovaty (sscience@yandex.ru)

The paper presents the ecological significance of the diagnosis of the biological condition of soils, which is one of the informative criteria for assessing the level of anthropogenic load. The aim of the work is to quantify the polyphenol oxidase and peroxidase activity in sod-podzolic soils in the area affected by emissions of the enterprise for the production of building materials (for example, JSC “Krasnoselskstroymaterialy”). The main part of the work presents the results of the analysis of the reaction of soils of forest and agricultural lands, the values of the activity of soil oxidoreductases. In 42 % of the studied soil samples the pH values were shifted to the slightly alkaline (pH>7.0) and alkaline regions (pH>7.5). This reaction of the soil environment is associated with the spread of cement dust and, in turn, the accumulation of calcium carbonate in the surface horizons. Revealed depressed activity of the oxidative enzymes as you get closer to the source of pollution. For the studied sod-podzolic soils, a conditional humus accumulation coefficient was calculated, which decreases as it approaches the source of pollution in the North-Eastern direction, which indicates the creation of more unfavorable conditions for humus accumulation. The statistically significant influence of the reaction of the soil environment on the studied enzymes by the negative relationship is noted, which justifies the need for further study of the influence of factors of different nature on the biological activity of the soil in the conditions of industrial (cement) pollution. These indicators of biological activity can be used as additional biochemical characteristics of the potential ability of accumulation of humus and serve as a predictive indicator of changes in environmental parameters.

**Keywords:** cement pollution; sod-podzolic soils; soil reaction; enzymatic activity; polyphenoloxidase; peroxidase; conditional biochemical coefficient of humus accumulation.

### Введение

Множество одновременно происходящих в почве взаимосвязанных процессов определяется ее генетическими особенностями и регулируется факторами внешнего воздействия. Компонентам почвенного биоценоза свойственно стремление к состоянию динамического равновесия, однако любое воздействие на почвенную среду оказывает влияние на состав и деятельность микроорганизмов [1].

В связи с этим возрастает экологическая значимость диагностики биологического состояния почв, являющегося одним из основных критериев оценки уровня антропогенной нагрузки. Как правило, при возрастающем уровне антропогенной нагрузки отмечается ускорение биологического круговорота веществ и изменение биологической активности почв, которое может сопровождаться усиленной минерализацией органического вещества и приводить к развитию процессов деградации плодородия [2].

Для оценки биологического состояния почв в настоящее время используется широкий спектр показателей, что обусловлено многообразием функций почвенных микроорганизмов. Традиционные микробиологические исследования, включающие определение общей численности и группового состава микроорганизмов, применяются в основном для решения фундаментальных задач генетического почвоведения, физики и химии почв, для выяснения роли микроорганизмов в круговороте веществ. Благодаря таким исследованиям накоплена научная информация о структурной и функциональной организации микробных сообществ почвы, об основных почвенно-микробиологических процессах и микробных сообществах, ответственных за их протекание, изучена экология почвенных микроорганизмов, структура микробных сообществ в разных природно-климатических зонах [3].

Однако для диагностических целей оценки плодородия больший интерес представляют показатели активности (интенсивности) ключевых биологических процессов, регулирующих плодородие. Такую возможность дает проведение почвенных биохимических исследований. В основе микробного метаболизма лежит работа ферментов, которые катализируют все биохимические реакции и являются интегральной частью круговорота элементов питания в почве. Почвенные ферменты имеют преимущественно микробное происхождение [4], доля ферментов растительного и животного происхождения значительно меньше [5]. Ферменты накапливаются в почве и образуют запас, который является результатом ежегодного развития микроорганизмов в почве. Аргументами в пользу биохимической диагностики являются относительная простота измерения и быстрый отклик на антропогенное воздействие. По сравнению с другими показателями изменения ферментативной активности, вызванные антропогенными факторами, регистрируются на более ранних этапах и в большей степени подходят для ранней диагностики нежелательных экологических тенденций [6]. Преимуществом ферментативной диагностики является более высокая стабильность ферментативных параметров по сравнению с другими показателями биологической активности [2; 3]. Внеклеточные ферменты, составляющие значительную часть ферментного пула почвы, находятся в стабилизированном состоянии за счет прочных связей с ее минеральными и органическими компонентами (органо-минерально-ферментные комплексы). Стабилизированные внеклеточные ферменты устойчивы к протеолизу, защищены от инактивации, длительно сохраняют активность и функционируют при неблагоприятных условиях дефицита влаги и элементов питания, когда микробная деятельность обычно угнетена [7].

Интенсивность ферментативных процессов зависит от конкретных условий: наличия и концентрации субстрата, значений pH, температуры, влажности и др. Изучение влияния pH почвы на ее биологическую активность имеет экологическую значимость. При неблагоприятных показателях реакции почвенной среды снижается численность населяющих ее микроорганизмов, отмечаются негативные изменения структуры микробных сообществ. Важнейшие ферменты, связанные с циклами основных биогенных элементов, могут при этом частично денатурировать, что приводит к нарушению круговорота биогенных элементов и процессов формирования гумуса [2; 4].

В ряде исследований [8–10] отмечаются изменения ферментативной активности почв при хроническом воздействии экотоксикантов различной природы, описываются результаты применения систем удобрений на ферментативную активность почв различных типов.

Окислительно-восстановительные ферменты являются объектом внимания, поскольку играют большую роль в процессах почвообразования. Активность этой группы ферментов служит индикатором напряженности процессов окисления и гумификации органических веществ. В связи с этим является актуальной количественная оценка активности полифенолоксидазы и пероксидазы в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния выбросов предприятия по производству строительных материалов (на примере ОАО «Красносельскстройматериалы», Беларусь).

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили образцы дерново-подзолистых почв лесных и прилегающих к ним сельскохозяйственных земель, отобранные на разном расстоянии от предприятия (1; 1,5; 2; 2,5; 3,5; 5 (6,5); 8; 15 км) с учетом «розы ветров» (СЗ, ЮЗ, СВ, ЮВ). Отбор проб проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01–83 [11], ГОСТ 28168–89 [12]. Отбор контрольных (фоновых) образцов почвы был осуществлен на расстоянии 15 км от источника загрязнения.

Климатические условия территории, прилегающей к цементному предприятию, оценивали по метеорологическим показателям Волковысской метеорологической станции. Преобладающими ветрами на протяжении всего года являются ветры западных и южных направлений. На рис. 1 приведена роза ветров в зимние, летние месяцы и за год в целом.

Пробы почвенных образцов отбирали с помощью почвенного бура из горизонта 0–20 см. На каждой пробной площадке (n=60) отбирали по пять проб пробоотборником. Почвенный покров территории исследования представлен дерново-подзолистыми песчаными почвами на моренных связных песках и супесчаными почвами на моренных пылевато-песчаных рыхлых супесях.

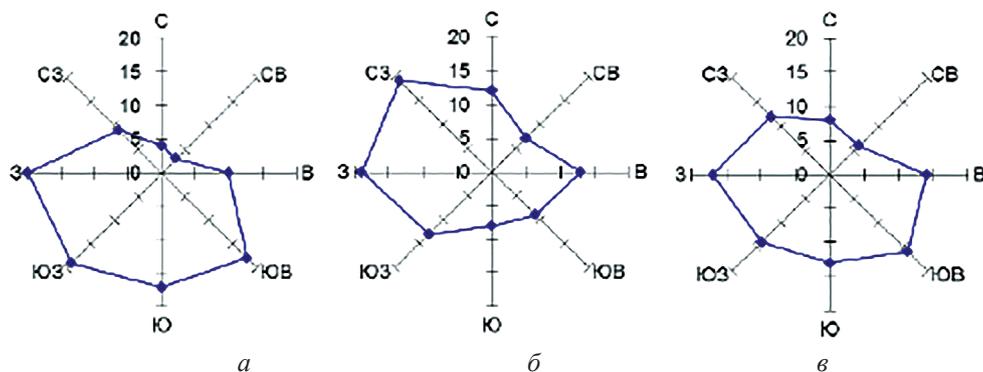


Рис. 1. Повторяемость направлений ветра (а – январь, б – июль, в – среднегодовая) [13]

Fig. 1. Repeatability of wind directions (a – January, b – July, c – average annual) [13]

Исследования биологической активности проводили в образцах летнего периода отбора (июль). Для определения активности почвенных оксидоредуктаз – полифенолоксидазы и пероксидазы – использовали колориметрический метод, разработанный Л. А. Карягиной, Н. А. Михайловской, с применением гидрохинона в качестве ферментного субстрата, где активность ферментов устанавливается по окрашенному продукту ферментативной реакции – бензохинону [14]. Ферментативную активность почв определяли в пятикратной повторности в воздушно-сухих образцах.

Статистическая обработка данных включала: оценку формы распределения с помощью гистограмм и критериев Колмогорова – Смирнова с поправкой Лиллиефорса и Шапиро – Уилка; корреляционный; дисперсионный; регрессионный и кластерный анализ. Процедура кластерного анализа выполнялась методом иерархической агломеративной кластеризации. В качестве меры расстояния использовался квадрат расстояния Евклида, классификация проводилась методом Варда [15]. Критические значения уровня значимости принималось равным 5 %. Анализ данных проводился с помощью пакетов программ Excel 2016 и Statistica 10.

### Результаты исследования и их обсуждение

Одним из важных показателей состояния почвы и степени ее трансформации является реакция почвенной среды, с которой тесно взаимосвязаны процессы превращения минеральной и органической их составляющих.

Поскольку цементная пыль распространяется воздушным путем, накопление карбонатов кальция наблюдается в поверхностных горизонтах и их содержание постепенно повышается по мере приближения к источнику загрязнения, что подтверждается подщелачиванием почвенной среды.

В табл. 1 представлен диапазон варьирования значений  $pH_{KCl}$  почвенных образцов территорий, прилегающих к цементному предприятию. Анализ  $pH_{KCl}$  дерново-подзолистых почв показал преобладание слабощелочных (при значениях  $pH_{KCl}$  от 7,06 до 7,42 ед.) и щелочных условий (при значениях  $pH_{KCl}$  от 7,55 до 8,09 ед.).

Таблица 1

Реакция дерново-подзолистых почв в градиенте расстояния от источника загрязнения и направления ветра

Table 1

Reaction of sod-podzolic soils in the gradient of the distance from the source of pollution and wind direction

| Показатель | Направление ветра | Расстояние от источника загрязнения, км |      |      |      |      |         |      |          |             |
|------------|-------------------|---|------|------|------|------|---------|------|----------|-------------|
|            |                   | 1                                       | 1,5  | 2    | 2,5  | 3,5  | 5 (6,5) | 8    | контроль |             |
| $pH_{KCl}$ | лес               | ЮЗ                                      | 6,81 | 7,20 | 7,06 | 7,31 | 6,21    | 6,10 | –*       | <b>6,07</b> |
|            |                   | ЮВ                                      | 7,35 | 7,61 | 6,71 | –    | 5,21    | –    | 5,32     | <b>6,10</b> |
|            |                   | СЗ                                      | 7,42 | 7,55 | –    | –    | 6,95    | 6,82 | 5,67     | <b>3,99</b> |
|            |                   | СВ                                      | –    | 7,57 | –    | 7,25 | 6,87    | 7,90 | 4,79     | <b>6,12</b> |
|            | поле              | ЮЗ                                      | –    | –    | –    | –    | –       | –    | –        | –           |
|            |                   | ЮВ                                      | 7,20 | 7,21 | –    | –    | 4,77    | 6,02 | 6,32     | <b>4,03</b> |
|            |                   | СЗ                                      | –    | 6,91 | 6,92 | –    | 6,90    | 6,83 | 6,38     | <b>5,47</b> |
|            |                   | СВ                                      | 7,57 | –    | 7,30 | 7,25 | 7,12    | 8,09 | –        | <b>4,67</b> |

Примечание. \* – отсутствие возможности отбора проб почвенных образцов

Диапазон варьирования усредненных значений  $pH_{KCl}$  в градиенте расстояния от источника загрязнения и в зависимости от направления ветра для почвенных образцов лесных земель составил 6,46–6,91 ед., а для сельскохозяйственных земель – 6,31–7,02 ед. (рис. 2, 3).

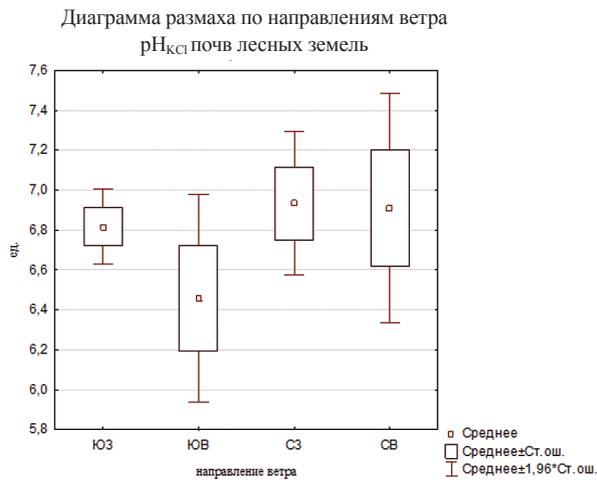


Рис. 2. Диаграмма размаха средних значений  $pH_{KCl}$  почв лесных земель по направлениям ветра

Fig. 2. Plot of the  $pH_{KCl}$  average span of the forest soils by wind directions

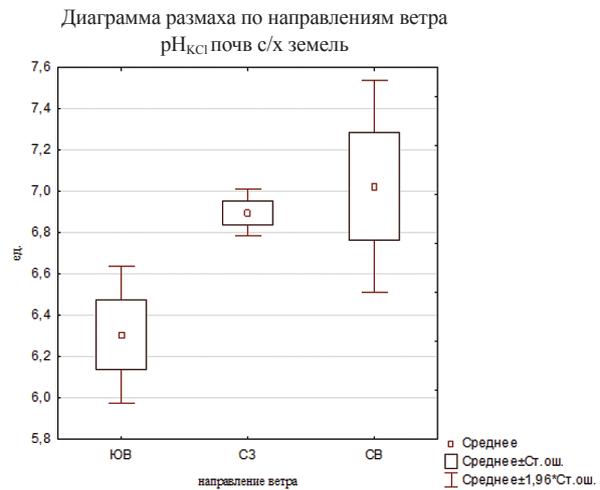


Рис. 3. Диаграмма размаха средних значений  $pH_{KCl}$  почв сельскохозяйственных земель по направлениям ветра

Fig. 3. Plot of the  $pH_{KCl}$  average span of the agricultural soils by wind directions

Следует отметить, что для почвенных образцов лесных земель с учетом розы ветров статистически достоверной разницы между средними значениями  $pH_{KCl}$  не выявлено, однако обнаружена статистически достоверная разница для почв сельскохозяйственных земель северо-восточного и юго-восточного направлений ( $p = 0,000725$ ).

Результаты иерархического кластерного анализа средних значений  $pH_{KCl}$  почв лесных земель представлены на рис. 4. На основании анализа данного графика можно выделить 3 группы близких по средним значениям  $pH_{KCl}$  почв лесных земель в градиенте расстояния от источника загрязнения: 1–2,5 км – 7,26 ед., 3,5–6,5 км – 6,58 ед., 8–15 км – 5,44 ед. (рис. 5).

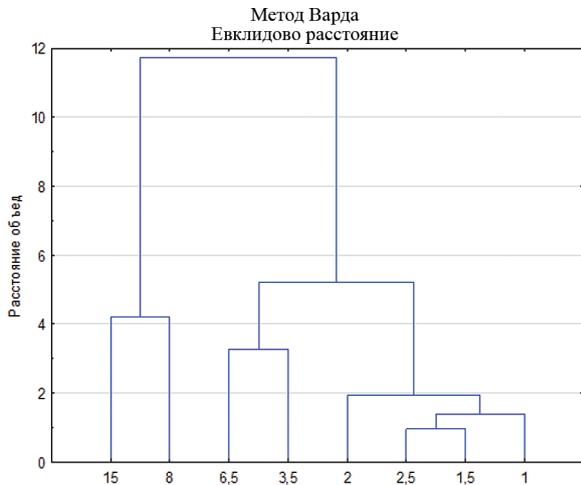


Рис. 4. Дендрограмма классификации средних значений  $pH_{KCl}$  почв лесных земель

Fig. 4. Dendrogram of the classification  $pH_{KCl}$  average values of the forest soil

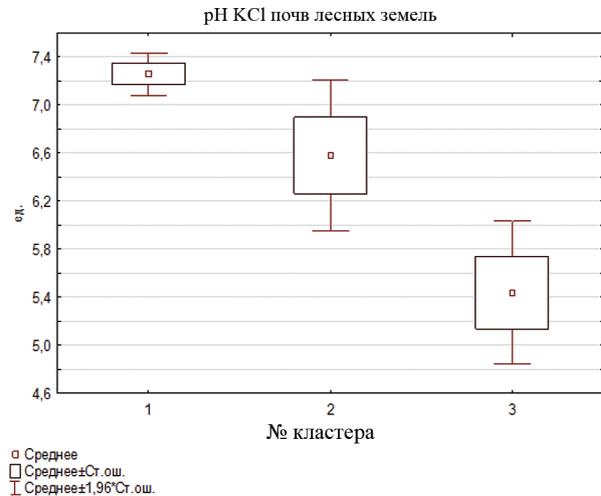


Рис. 5. Сравнение групп (кластеров) средних значений показателя  $pH_{KCl}$  почв лесных земель

Fig. 5. Comparison of groups (clusters) of average values of  $pH_{KCl}$  index of forest land soils

Результаты иерархического кластерного анализа средних значений  $pH_{KCl}$  почв сельскохозяйственных земель представлены на рис. 6. На основании анализа данного графика также выделились 3 группы близких по средним значениям  $pH_{KCl}$  в градиенте расстояния от источника загрязнения: 1–1,5 км – 7,22 ед., 2–6,5 км – 6,80 ед., 8–15 км – 5,37 ед. (рис. 7).

Непараметрический тест сравнения групп кластеров (по критерию Краскала – Уоллиса)  $pH_{KCl}$  дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель в градиенте расстояния от источника загрязнения показал статистически достоверные отличия между 1 и 3 кластерами с  $p = 0,00043$  и  $p = 0,00566$  соответственно (рис. 5, 7). Следует также отметить, что реакция почв, классифицируемых иерархическим кластерным анализом, в градиенте расстояния от источника загрязнения, независимо от розы ветров, изменялась линейно.

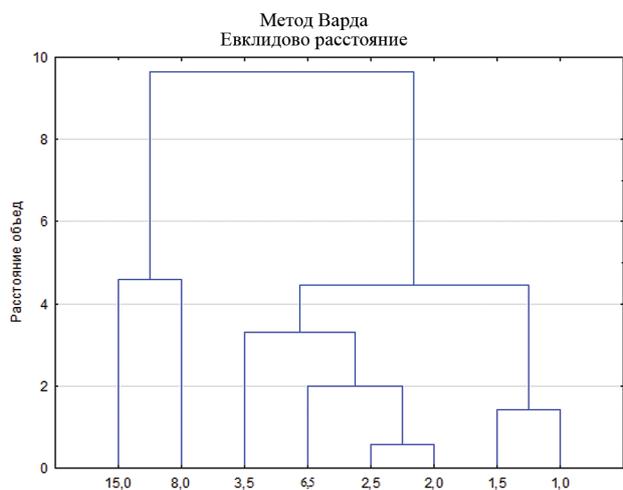


Рис. 6. Дендрограмма классификации средних значений  $pH_{KCl}$  почв сельскохозяйственных земель

Fig. 6. Dendrogram of the classification of the  $pH_{KCl}$  average values of the agricultural soil

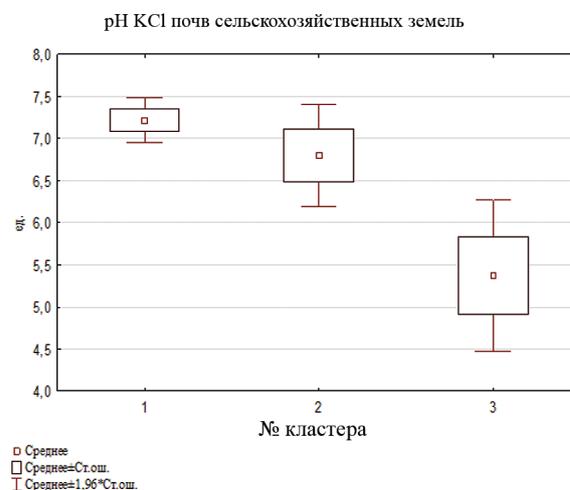


Рис. 7. Сравнение групп (кластеров) средних значений  $pH_{KCl}$  почв сельскохозяйственных земель

Fig. 7. Comparison of groups (clusters) of the  $pH_{KCl}$  average values in agricultural soils

Закономерности перераспределения загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух предприятием по производству строительных материалов, позволяют условно выделить 3 зоны с разным уровнем влияния газопылевых выбросов промышленного предприятия на реакцию почвы. Для изученных дерново-подзолистых почв сельскохозяйственных земель установлена зона максимального влияния газопылевых выбросов цементного предприятия на реакцию почвы в градиенте 1–1,5 км, а для лесных земель – 1–2,5 км от источника загрязнения.

В настоящее время в почвах обнаружены представители всех шести известных классов ферментов, выполняющих различные функции. Большинство исследователей в области почвенной энзимологии считают, что наиболее существенную роль играют два класса – гидролитические и окислительные ферменты [16–19].

Окислительные ферменты привлекают внимание исследователей благодаря их роли в процессах гумификации. Основными катализаторами гумификации разлагающегося органического вещества признаются оксидазы – фенолоксидазы и пероксидазы [3; 16; 20; 21]. Эти ферменты связаны с процессами окисления ароматических соединений и их производных до хинонов, которые в соответствующих условиях конденсируются с аминокислотами и пептидами с образованием первичных молекул гуминовых кислот [20; 22; 23].

Полифенолоксидазы осуществляют катализ в присутствии кислорода воздуха, пероксидазы – с помощью перекиси водорода, которая образуется в почве за счет жизнедеятельности микроорганизмов и действия оксидаз. Химические реакции также имеют место, но их значение второстепенно (поликонденсация идет без участия микроорганизмов). В качестве биохимических показателей для характеристики интенсивности гумификации лигнинов растительных остатков в почве предлагается активность окислительных ферментов – пероксидазы и полифенолоксидазы.

Полифенолоксидазы (ПФО) могут находиться в почве как в свободном, так и в связанном состоянии, основная функция – участие в биосинтезе гумусовых кислот за счет катализа реакций окислительной полимеризации ароматических соединений с участием кислорода воздуха [20; 24–26].

Для дерново-подзолистых почв, испытывающих воздействие газопылевых выбросов цементного предприятия, установлены следующие количественные значения полифенолоксидазной активности, представленные в табл. 2.

Полифенолоксидазная активность дерново-подзолистых почв в градиенте расстояния от источника загрязнения и направления ветра

Table 2

Polyphenol oxidase activity of sod-podzolic soils in the gradient of the distance from the source of pollution and wind direction

| Показатель                                    |      | Направление ветра | Расстояние от источника загрязнения, км |      |      |      |      |         |      |             |
|---|------|-------------------|---|------|------|------|------|---------|------|-------------|
|   |      |                   | 1                                       | 1,5  | 2    | 2,5  | 3,5  | 5 (6,5) | 8    | контроль    |
| ПФО,<br>мг 1,4 –<br>бензохинона/<br>10 г /1 ч | лес  | ЮЗ                | 0,28                                    | 0,28 | 0,29 | 0,34 | 0,32 | 0,33    | –    | <b>0,33</b> |
|   |      | ЮВ                | 0,18                                    | 0,24 | 0,29 | –    | 0,32 | –       | 0,31 | <b>0,42</b> |
|   |      | СЗ                | 0,31                                    | 0,39 | –    | –    | 0,41 | 0,32    | 0,45 | <b>0,87</b> |
|   |      | СВ                | –                                       | 0,16 | –    | 0,21 | 0,28 | 0,27    | 0,50 | <b>0,70</b> |
|   | поле | ЮЗ                | –                                       | –    | –    | –    | –    | –       | –    | –           |
|   |      | ЮВ                | 0,19                                    | 0,23 | –    | –    | 0,32 | 0,28    | 0,29 | <b>0,72</b> |
|   |      | СЗ                | –                                       | 0,32 | 0,39 | –    | 0,39 | 0,42    | 0,42 | <b>0,31</b> |
|   |      | СВ                | 0,20                                    | –    | 0,24 | 0,29 | 0,35 | 0,46    | –    | <b>0,45</b> |

Диапазон изменения активности ПФО варьирует по всем направлениям ветра в почвах лесных земель в пределах 0,16–0,50 мг, а в почвах сельскохозяйственных земель – 0,19–0,46 мг 1,4 – бензохинона на 10 г в.-с. почвы за 1 ч. Максимальной полифенолоксидазной активностью обладает почва под лесными фитоценозами северо-западного, северо-восточного направлений (фоновый контроль) и почвенный покров сельскохозяйственного назначения юго-восточного направления (фоновый контроль), где составляет 0,87 мг, 0,70 мг и 0,72 мг 1,4 – бензохинона на 10 г в.-с. почвы за 1 ч соответственно. Минимальная активность ПФО отмечена вблизи цементного предприятия (в радиусе 1 км) и составляет 0,16–0,20 мг 1,4 – бензохинона на 10 г в.-с. почвы за 1 ч.

В целом изученные дерново-подзолистые почвы характеризуются высокой полифенолоксидазной активностью, что связано с нейтральной реакцией среды, так как оптимум действия лежит в диапазоне рН 6,3–7,2 и насыщенностью почв основаниями [27; 28].

Диаграммы размаха средних значений активности ПФО для почв лесных и сельскохозяйственных земель с учетом розы ветров представлены на рис. 8, 9.

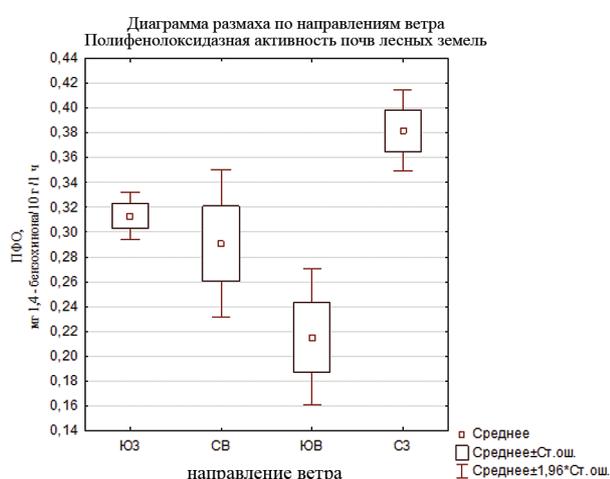


Рис. 8. Диаграмма размаха средних значений активности ПФО для почв лесных земель по направлениям ветра

Fig. 8. Plots of the PFO average values of for the activity of forest soils according to the wind directions

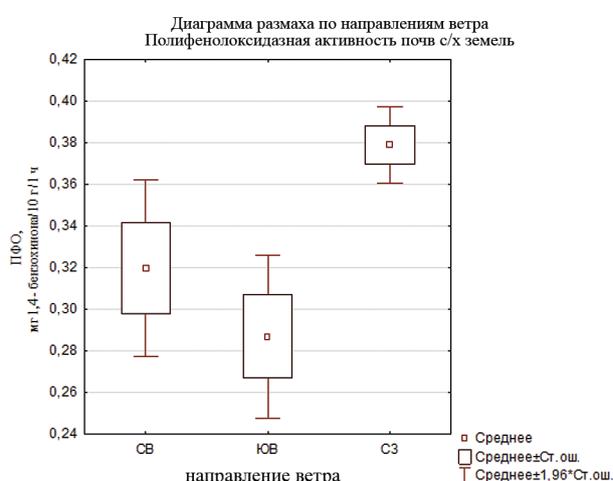


Рис. 9. Диаграмма размаха средних значений активности ПФО для почв сельскохозяйственных земель по направлениям ветра

Fig. 9. The diagram of the scope of average values of activity of PFO for soils of agricultural lands in the directions of wind

Выявлена статистически достоверная разница между средними значениями активности ПФО для почвенных образцов лесных земель северо-западного и юго-восточного ( $p = 0,000032$ ), северо-восточного направлений ( $p = 0,002227$ ), а для почв сельскохозяйственных земель значения активности ПФО отличались лишь между северо-западным и юго-восточным направлениями ( $p = 0,003059$ ).

Пероксидазы (ПО) поступают в почву в виде прижизненных выделений корней растений и микроорганизмов. Эти ферменты присутствуют в почве в свободном состоянии, а также могут быть связаны в органо-минерально-ферментные комплексы. Основная функция пероксидаз – регулирование биосинтеза гумусовых кислот за счет катализа реакций окислительной полимеризации ароматических соединений с участием кислорода  $H_2O_2$  [20; 24–26].

Для дерново-подзолистых почв, испытывающих воздействие газопылевых выбросов цементного предприятия, установлены значения пероксидазной активности (табл. 3).

Таблица 3

**Пероксидазная активность дерново-подзолистых почв в градиенте расстояния от источника загрязнения и направления ветра**

Table 3

**Peroxidase activity of sod-podzolic soils in the gradient of distance from the source of pollution and wind direction**

| Показатель                                  | Направление | Расстояние от ИЗ, км |      |      |      |      |         |      |          |             |
|---|-------------|----------------------|------|------|------|------|---------|------|----------|-------------|
|   |             | 1                    | 1,5  | 2    | 2,5  | 3,5  | 5 (6,5) | 8    | контроль |             |
| ПО,<br>мг 1,4 –<br>бензохинона/<br>10 г/1 ч | лес         | ЮЗ                   | 0,20 | 0,25 | 0,23 | 0,30 | 0,26    | 0,29 | –        | <b>0,29</b> |
|   |             | ЮВ                   | 0,49 | 0,15 | 0,26 | –    | 0,21    | –    | 0,21     | <b>0,30</b> |
|   |             | СЗ                   | 0,16 | 0,19 | –    | –    | 0,21    | 0,23 | 0,31     | <b>0,66</b> |
|   |             | СВ                   | –    | 0,26 | –    | 0,26 | 0,23    | 0,37 | 0,37     | <b>0,36</b> |
|   | поле        | ЮЗ                   | –    | –    | –    | –    | –       | –    | –        | –           |
|   |             | ЮВ                   | 0,14 | 0,16 | –    | –    | 0,35    | 0,16 | 0,22     | <b>0,45</b> |
|   |             | СЗ                   | –    | 0,19 | 0,21 | –    | 0,27    | 0,25 | 0,28     | <b>0,28</b> |
|   |             | СВ                   | 0,24 | –    | 0,28 | 0,30 | 0,30    | –    | 0,33     | <b>0,29</b> |

В результате проведенных исследований выявлено, что максимальной пероксидазной активностью обладает почвенный покров под лесным фитоценозом северо-западного (фоновый контроль) и юго-восточного направлений (в радиусе 1 км от ИЗ), где составляет 0,66 мг и 0,49 мг 1,4 – бензохинона на 10 г в.-с. почвы за 1 ч, а также почва сельскохозяйственных земель юго-восточного направления (фоновый контроль), где составляет 0,45 мг 1,4 – бензохинона на 10 г в.-с. почвы за 1 ч, что связано с уровнем и активностью растительных пероксидаз, которые экскретируются в ризосферу и вносят значительный вклад в общий пул пероксидаз в почве. Следует отметить, что активность ПО в изученных дерново-подзолистых почвах лесных и сельскохозяйственных земель превышает аналогичный показатель многих почв [8; 9]. Это отмечено и для дерново-карбонатных почв [29], что связано с насыщенностью кальцием, активирующим этот фермент.

Статистические данные средних значений активности ПО для почвенных образцов лесных и сельскохозяйственных земель с учетом розы ветров представлены на рис. 10, 11. Статистически достоверной разницы между средними значениями пероксидазной активности северо-восточного и юго-восточного направлений выявлены для почв лесных земель ( $p = 0,040043$ ) и сельскохозяйственных земель ( $p = 0,040087$ ), а также северо-восточного и северо-западного направлений – для почв лесных земель ( $p = 0,000112$ ) и сельскохозяйственных земель ( $p = 0,000001$ ) соответственно.

При анализе полученных данных по ферментативной активности выявлено, что преобладающее большинство образцов характеризуется большей активностью ПФО, чем ПО, особенно это характерно для почв лесных и сельскохозяйственных земель северо-западного направления. Следует также отметить статистически достоверную разницу между активностью ПФО и ПО как для почв лесных земель ( $p < 0,001$ ), так и сельскохозяйственных земель ( $p < 0,001$ ) северо-западного направления (рис. 12, 13).

При этом отмечены одинаковые средние величины активности ПФО (0,31–0,32 мг 1,4 – бензохинона /10 г/1 ч) и ПО (0,25–0,26 мг 1,4 – бензохинона /10 г/1 ч) как для почв лесных земель, так и сельскохозяйственных земель в градиенте расстояния от источника загрязнения (за исключением значений фоновых образцов) и независимо от направления ветра. Следует отметить, что для контрольного (фоновое) варианта дерново-подзолистых почв северо-западного и юго-восточного направлений активность ПО в 1,4–2 раза, а активность ПФО в 1,4–2,5 раза выше средних значений данных показателей.

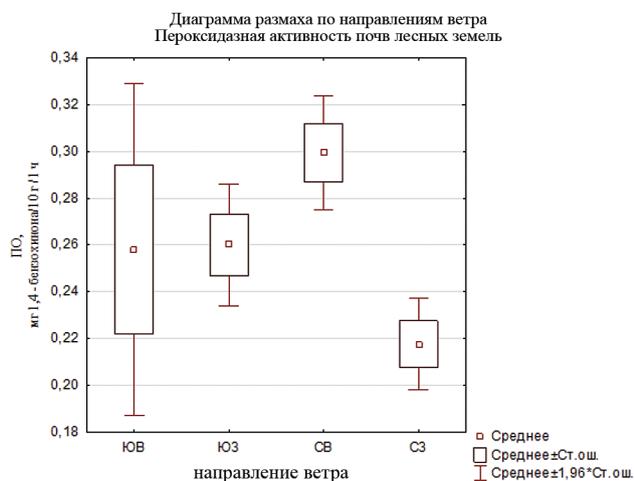


Рис. 10. Диаграмма размаха средних значений пероксидазной активности для почв лесных земель по направлениям ветра

Fig. 10. Plot of peroxidase activity average span forest soils by wind directions

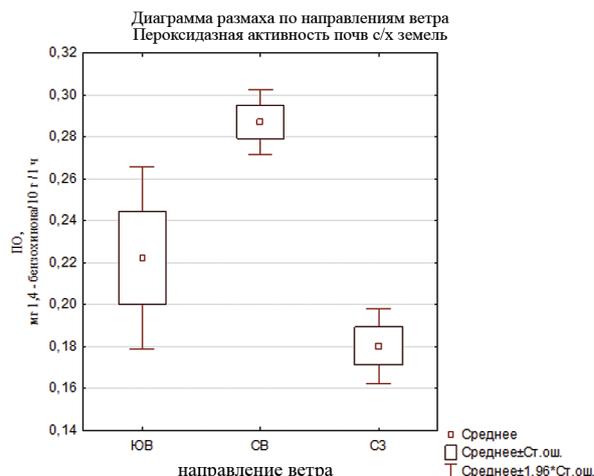


Рис. 11. Диаграмма размаха средних значений пероксидазной активности для почв сельскохозяйственных земель по направлениям ветра

Fig. 11. Plot of peroxidase activity average span for agricultural soils by wind directions

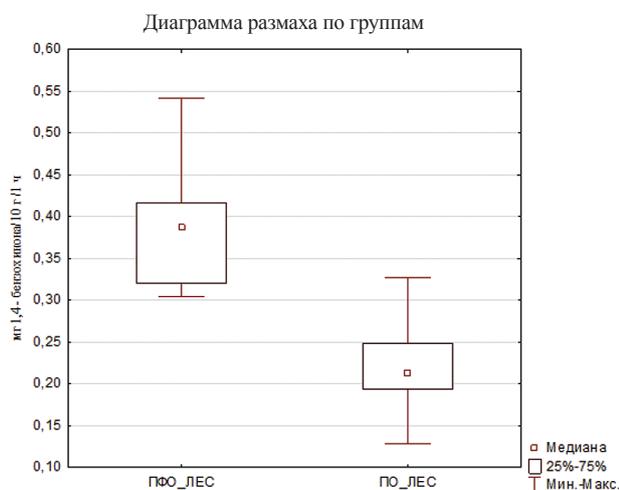


Рис. 12. Диаграмма размаха медианных значений активности полифенолоксидазы и пероксидазы для почв лесных земель северо-западного направления

Fig. 12. Chart of the median values of polyphenol oxidase and peroxidase activity for soils of forest lands of the North-Western direction

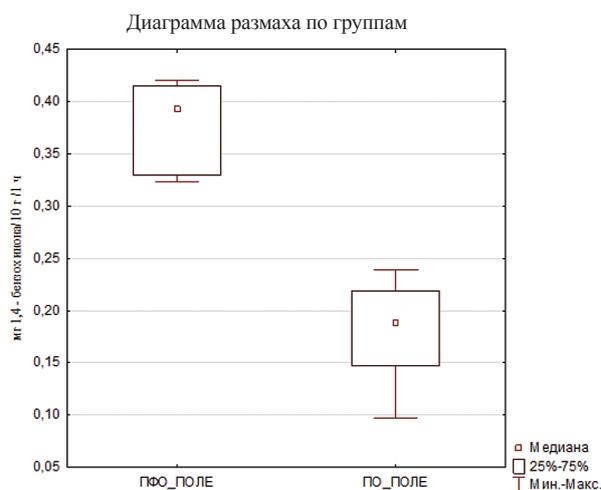


Рис. 13. Диаграмма размаха медианных значений активности полифенолоксидазы и пероксидазы для почв сельскохозяйственных земель северо-западного направления

Fig. 13. The diagram of the scope of median values of activity of polyphenol oxidase and peroxidase for soils of agricultural lands of the North-Western direction

Сравнительная оценка активности ПФО и ПО для почв лесных и сельскохозяйственных земель в градиенте расстояния от источника загрязнения (в радиусе 8 км) и независимо от направления ветра показала, что изученные дерново-подзолистые почвы оказываются достаточно устойчивыми к техногенному (цементному) загрязнению. Следует отметить, что степень устойчивости почв к антропогенным воздействиям конкретной территории объясняется, с одной стороны, буферностью самой почвы, а с другой – микроразнообразием микробиологических процессов.

Для выявления влияния отдельных экологических параметров нами была проведена обработка полученных данных многофакторным дисперсионным анализом. Результаты дисперсионного анализа для изученных дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель, прилегающих к цементному предприятию, представлены в табл. 4.

Результаты многофакторного дисперсионного анализа влияния расстояния от источника загрязнения и реакции почвенной среды на полифенолоксидазную и пероксидазную активности почв лесных земель и сельскохозяйственных земель

Table 4

Results of multivariate dispersion analysis of the influence of the distance from the source of pollution and the reaction of the soil environment on the polyphenol oxidase and peroxidase activity of soils of forest lands and agricultural lands

| Показатель                                   |      | Статистические показатели | Расстояние от источника загрязнения | Реакция среды (pH <sub>KCl</sub> ) |
|--|------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| ПФО,<br>мг 1,4 –<br>бензохинона/<br>10 г/1 ч | лес  | η <sup>2</sup> , %        | 92,36                               | 80,99                              |
|  |      | F                         | 3,99                                | 19,60                              |
|  |      | P                         | <b>0,0076*</b>                      | <b>1,31·10<sup>-7</sup></b>        |
|  | поле | η <sup>2</sup> , %        | 66,61                               | 71,19                              |
|  |      | F                         | 3,39                                | 5,44                               |
|  |      | P                         | <b>0,0456</b>                       | <b>0,0092</b>                      |
| ПО,<br>мг 1,4 –<br>бензохинона/<br>10 г/1 ч  | лес  | η <sup>2</sup> , %        | –                                   | 79,61                              |
|  |      | F                         | –                                   | 17,96                              |
|  |      | P                         | –                                   | <b>2,86·10<sup>-7</sup></b>        |
|  | поле | η <sup>2</sup> , %        | 61,90                               | 57,82                              |
|  |      | F                         | 2,71                                | 3,02                               |
|  |      | P                         | 0,0789                              | 0,0590                             |

Примечание. \* – Жирным шрифтом выделены значения при p < 0,05

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют, что уровни влияния расстояния от источника загрязнения и реакция почвенной среды на активность гумификационных процессов (ПФО и ПО) достаточно высокие. На активность ПФО и ПО для почв лесных земель сила влияния расстояния от источника загрязнения составила 92,36 % и для сельскохозяйственных земель – от 61,90 % до 66,61 %. При этом сила влияния реакции почвенной среды (pH<sub>KCl</sub>) на активность изученных ферментов для почв лесных земель составила от 79,61 % до 80,99 %, а для почв сельскохозяйственных земель – от 57,82 % до 71,19 %.

По результатам корреляционного анализа, представленным в табл. 5, отмечается изменение влияния реакции почвенной среды на изученные ферменты статистически достоверной отрицательной взаимосвязью.

Парный регрессионный анализ зависимости ферментативной активности (ПФО и ПО) дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель, а также расстояния от источника загрязнения выявил высоко достоверные взаимосвязи по всем направлениям ветра, за исключением юго-западного, что скорее всего связано с дополнительным опосредованным влиянием городской застройки в данном направлении. Для активности полифенолоксидазы выявлены достоверные взаимосвязи для почв лесных земель северо-восточного (r = 0,98), юго-восточного (r = 0,47) и северо-западного (r = 0,89) направлений, а для почв сельскохозяйственных земель – северо-восточного (r = 0,76) и юго-восточного (r = 0,96) направлений (рис. 14, 15).

Для активности пероксидазы выявлены достоверные взаимосвязи для почв лесных земель северо-восточного (r = 0,73) и северо-западного (r = 0,93) направлений, а для почв сельскохозяйственных земель – северо-восточного (r = 0,45), северо-западного (r = 0,79) и юго-восточного (r = 0,74) направлений (рис. 16, 17). Таким образом, отмечено снижение ферментативной активности по мере приближения к источнику загрязнения как для почв лесных земель, так и сельскохозяйственных земель.

Поскольку оба процесса – синтез и разложение гумуса – происходят в почве одновременно, то его количество определяется соотношением этих двух противоположно направленных процессов, а соотношение активности полифенолоксидазы к активности пероксидазы используют как условный биохимический коэффициент накопления гумуса (по Муромцеву) [22; 23].

Таблица 5

Результаты корреляционного анализа взаимосвязи показателей ферментативной активности и реакции почвенной среды для почв лесных и сельскохозяйственных земель

Table 5

Results of correlation analysis of the relationship between the indicators of enzymatic activity and the reaction of the soil environment for soils of forest and agricultural lands

| Показатель                                    |      | Направление ветра | Реакция среды (pH <sub>KCl</sub> ) |
|---|------|-------------------|------------------------------------|
| ПФО,<br>мг 1,4 –<br>бензохинона/<br>10 г /1 ч | лес  | ЮЗ                | -0,25                              |
|   |      | ЮВ                | -0,63                              |
|   |      | СЗ                | -0,67                              |
|   |      | СВ                | <b>-0,74</b>                       |
|   | поле | ЮЗ                | –                                  |
|   |      | ЮВ                | <b>-0,95</b>                       |
|   |      | СЗ                | -0,41                              |
| ПО,<br>мг 1,4 –<br>бензохинона/<br>10 г /1 ч  | лес  | ЮЗ                | -0,20                              |
|   |      | ЮВ                | 0,27                               |
|   |      | СЗ                | -0,67                              |
|   |      | СВ                | -0,06                              |
|   | поле | ЮЗ                | –                                  |
|   |      | ЮВ                | <b>-0,87</b>                       |
|   |      | СЗ                | <b>-0,90</b>                       |
|   |      | СВ                | -0,31                              |

Примечание. \* – Жирным шрифтом выделены значения при  $p < 0,05$

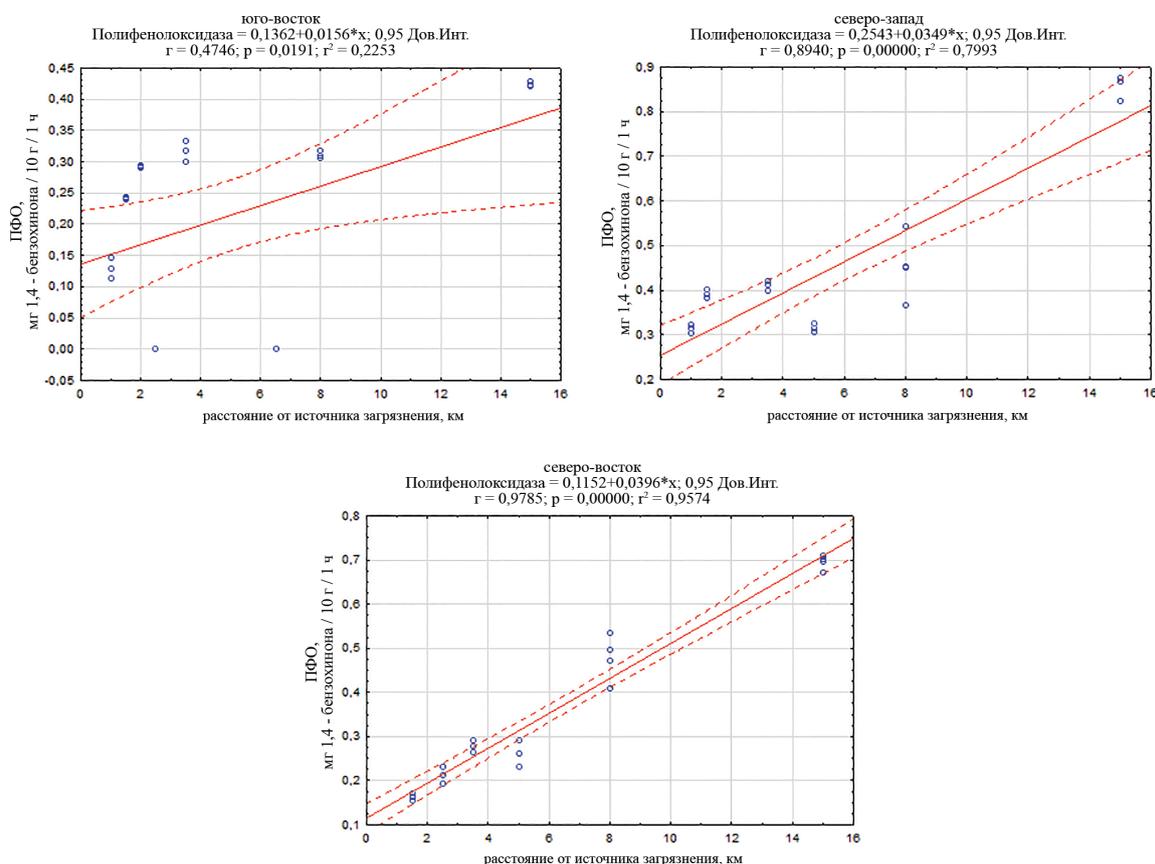


Рис. 14. Зависимость активности полифенолоксидазы для дерново-подзолистых почв лесных земель от расстояния от источника загрязнения по направлениям ветра

Fig. 14. Dependence of polyphenol oxidase activity for sod-podzolic soils of forest lands on the distance from the source of pollution by wind directions

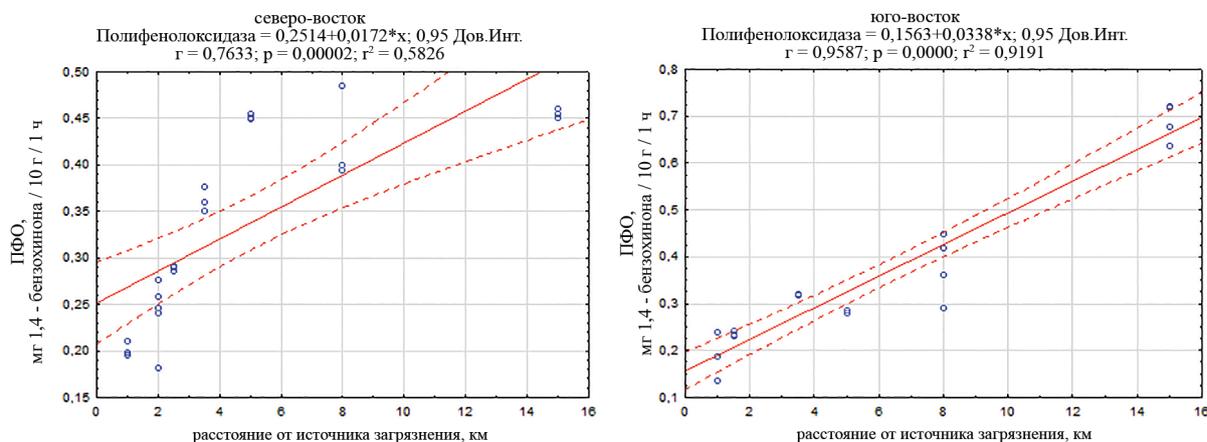


Рис. 15. Зависимость активности полифенолоксидазы для дерново-подзолистых почв сельскохозяйственных земель от расстояния от источника загрязнения по направлениям ветра

Fig. 15. Dependence of polyphenol oxidase activity for sod-podzolic soils of agricultural lands on the distance from the source of pollution by wind directions

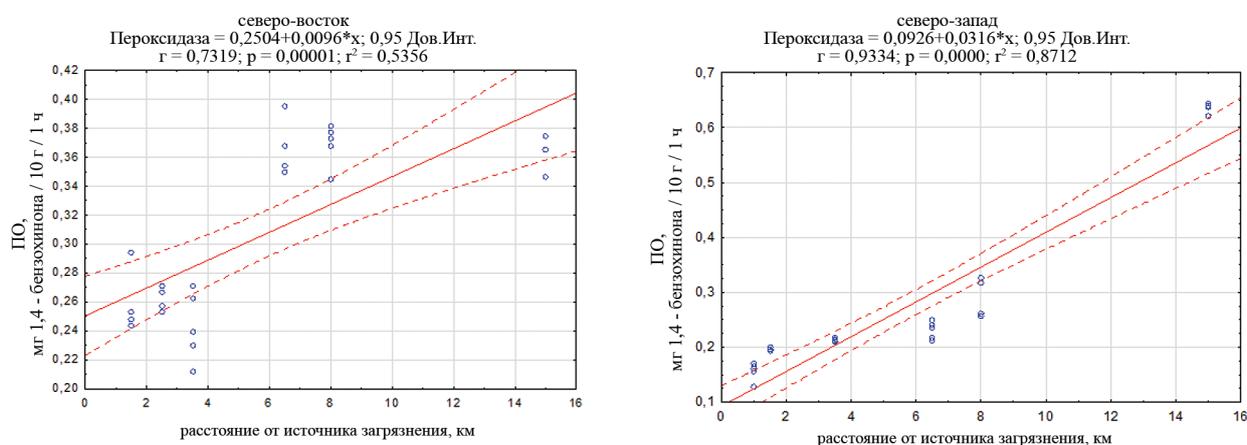


Рис. 16. Зависимость активности пероксидазы для дерново-подзолистых почв лесных земель от расстояния от источника загрязнения по направлениям ветра

Fig. 16. Dependence of peroxidase activity for sod-podzolic soils of forest lands on the distance from the source of pollution by wind directions

Для изученных дерново-подзолистых почв нами был рассчитан данный коэффициент, диапазон варьирования которого для почв лесных земель составил 0,95–1,71 ед., а для почв сельскохозяйственных земель – 1,06–1,62 ед. Следует отметить, что по северо-восточному направлению в радиусе 1–2,5 км от источника загрязнения наблюдалось снижение условного коэффициента гумусонакопления для почв лесных земель на 59–68 %, для почв сельскохозяйственных земель – 38–46 %. Статистически достоверная разница между активностью ПФО и ПО в радиусе 2,5 км от источника загрязнения была отмечена только для почв лесных земель при  $p = 0,00176$  (рис. 18, 19).

Увеличение пероксидазной активности и снижение коэффициента гумусонакопления в изученных дерново-подзолистых почвах лесных земель северо-восточного направления по мере приближения к источнику загрязнения свидетельствует об увеличении скорости разложения органического вещества и активном его потреблении при снижении потенциальной способности к гумусонакоплению, что может являться показателем ухудшения экологической обстановки.

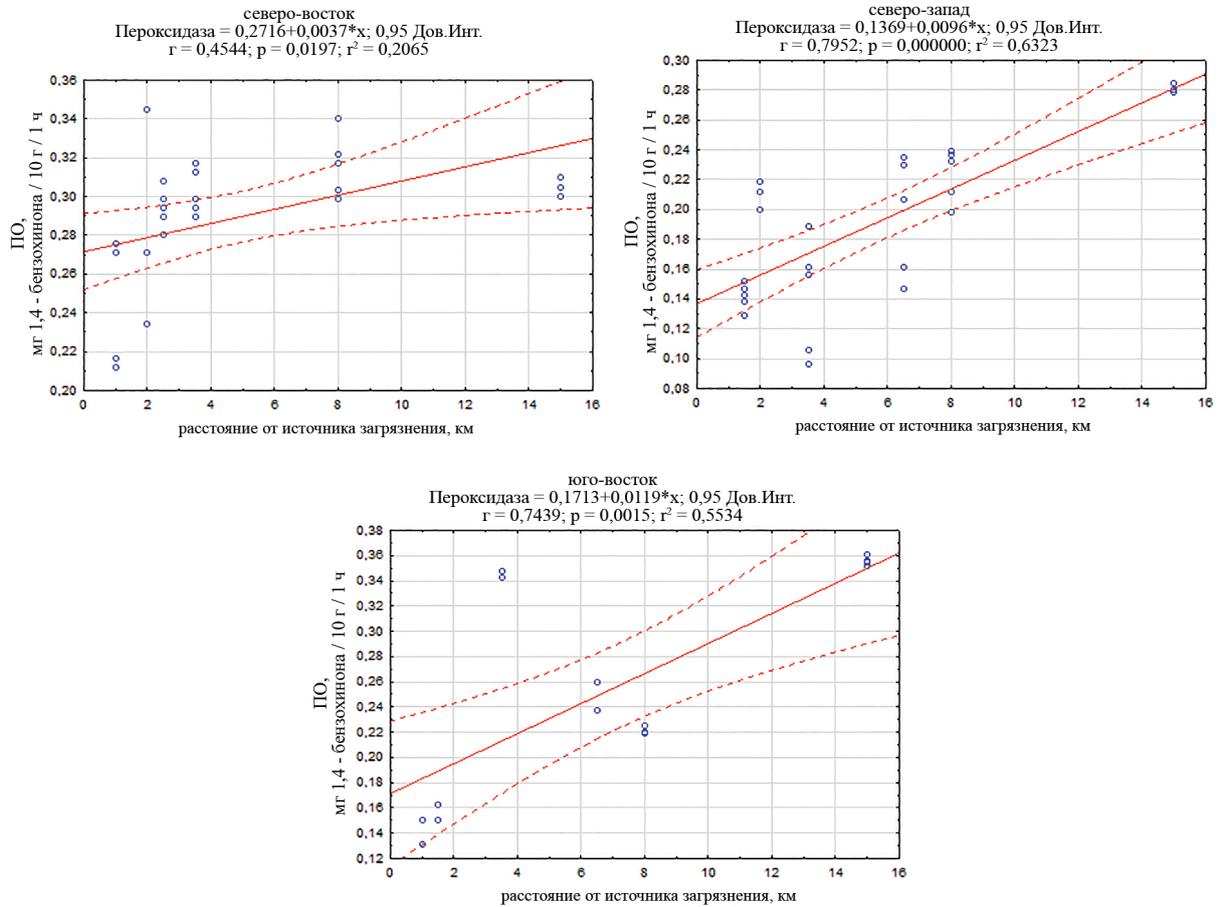


Рис. 17. Зависимость активности пероксидазы для дерново-подзолистых почв сельскохозяйственных земель от расстояния от источника загрязнения по направлениям ветра

Fig. 17. Dependence of peroxidase activity for sod-podzolic soils of agricultural lands on the distance from the source of pollution by wind directions

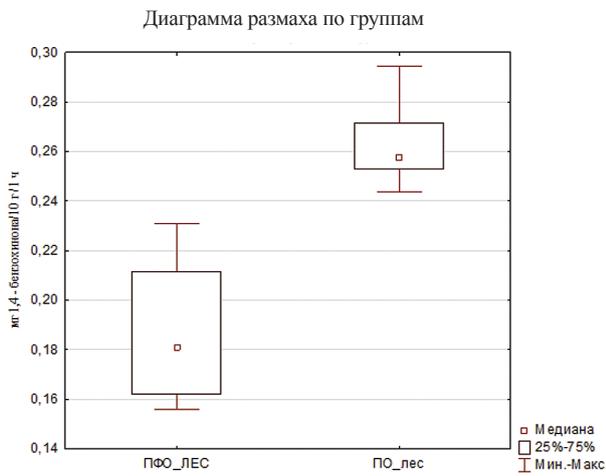


Рис. 18. Диаграмма размаха медианных значений активности полифенолоксидазы и пероксидазы для почв лесных земель северо-восточного направления

Fig. 18. Diagram of the range of median values of polyphenol oxidase and peroxidase activity for soils of forest lands of the North-Eastern direction

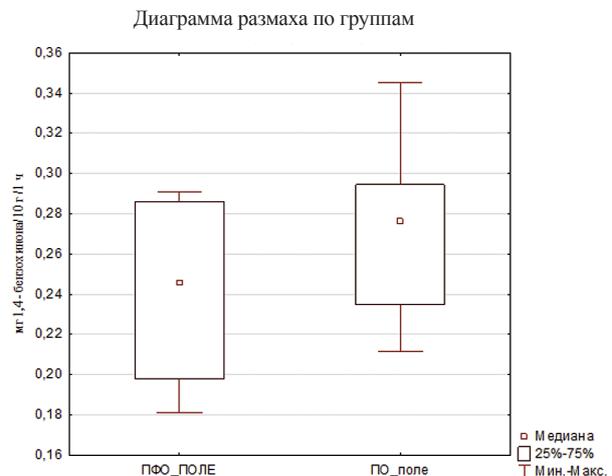


Рис. 19. Диаграмма размаха медианных значений активности полифенолоксидазы и пероксидазы для почв сельскохозяйственных земель северо-восточного направления

Fig. 19. The diagram of the scope of median values of activity of polyphenol oxidase and peroxidase for soils of agricultural lands of the North-Eastern direction

## Заключение

В результате проведенных нами исследований дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель выявлены значения  $pH_{KCl}$  почвенной среды в градиенте расстояния от источника загрязнения и с учетом розы ветров. Анализ кислотности почв показал, что в 42 % от исследованных образцов почв, обнаружено смещение значений  $pH_{KCl}$  в слабощелочную и щелочную области. Такая реакция почвенной среды объясняется распространением цементной пыли и накоплением в поверхностных горизонтах карбонатов кальция.

Для изученных дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель установлен уровень активностей ПФО и ПО в условиях воздействия предприятия по производству строительных материалов. Отмечена депрессия активности окислительных ферментов по мере приближения к источнику загрязнения. Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют, что уровень влияния реакции почвенной среды на активность ПФО и ПО достаточно высокий. Отклонение от оптимального значения pH приводит к понижению ферментативной активности, связанной, в первую очередь, с ионизацией функциональных групп аминокислотных остатков данного белка, обеспечивающих оптимальную конформацию активного центра фермента. Отмечено изменение влияния реакции почвенной среды на изученные ферменты отрицательной взаимосвязью, что обосновывает необходимость дальнейшего исследования влияния факторов различной природы на биологическую активность почвы в условиях промышленного (цементного) загрязнения.

Показатели потенциальной биологической активности (активности ПФО и ПО) отражают состояние дерново-подзолистых почв вблизи источника техногенного (цементного) загрязнения, для которых характерна наибольшая вариабельность для почв лесных земель северо-западного направления, а также для почв лесных и сельскохозяйственных земель юго-восточного направления.

При изучении дерново-подзолистых почв рассчитан для них условный коэффициент гумусонакопления. По мере приближения к источнику загрязнения (в радиусе 2,5 км) коэффициент гумусонакопления для почв лесных и сельскохозяйственных земель северо-восточного направления снижается, что указывает на создание наиболее неблагоприятных условий для гумусонакопления.

Данные показатели активности могут использоваться как дополнительные биохимические характеристики потенциальной способности накопления гумуса и служить прогнозным индикатором изменения экологического состояния дерново-подзолистых почв в условиях техногенного загрязнения.

## Библиографические ссылки

1. Мамитко АВ, Никитина ЗИ Динамика микробных популяций в разных почвах. В: *Биодинамика и плодородие почвы*. Таллин: [б. н.]; 1979 р. 64–68.
2. Туев НА. *Микробиологические процессы гумусообразования*. Москва: Агропромиздат, 1989.
3. Купревич ВФ, Щербакова ТА. *Почвенная энзимология*. Минск : Наука и техника, 1966.
4. Tabatabai MA. Soils enzymes. Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties. *Soil Science Society of America*. 1994;5:775–833.
5. Sariaslani FS. Microbial enzymes for oxidation of organic molecules. *Critical Reviews Biotechnology* 1989;9:171–257.
6. Щербакова, ТА. *Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества*. Минск: Наука и техника, 1983.
7. Boyd SA, Mortland MM. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes. В: *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker; 1990. р. 1–28.
8. Шашурин ММ. Ферментативная активность почв и почвогрунтов при хроническом воздействии экотоксикантов различной природы в условиях Центральной и Южной Якутии. *Наука и образование*. 2012;1:76–81.
9. Лапа ВВ, Михайловская НА, Ломопос ММ, Лопух ОВ и др. Влияние систем удобрения на ферментативную активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. *Почвоведение и агрохимия*. 2012;2(49): 187–200.
10. Напрасникова ЕВ, Данько ЛВ. Изучение трансформации почвенного покрова под влиянием урбанизации и техногенеза в условиях Восточной Сибири. *География и природные ресурсы*. 2004;4:36–40.
11. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб: ГОСТ 17.4.3.01–83. Введение 01.07.84. Москва: Издательство стандартов; 1984.
12. Почвы. Отбор проб: ГОСТ 28168–89. Введение 01.04.90. Москва: Издательство стандартов, 1990.
13. Оценка воздействия на окружающую среду [Интернет]. Волковысский районный исполнительный комитет [процитировано 20 декабря 2018 г. Доступно по: <https://volkovysk.grodno-region.by/uploads/files/OVOS-dlja-obsuzhdenij.pdf>.
14. Карагіна ЛА, Міхайлоўская НА. Вызначэнне актыўнасці поліфенолакідазы і пераксідазы ў глебе. *Весці Акадэміі навук БССР. Серыя сельскагаспадарчых навук*. 1986;2:40–41.
15. Буреева НН. *Многомерный статистический анализ с использованием ППП «Statistica»*. Нижний Новгород: [б. н.]; 2007.
16. Звягинцев ДГ, Бабьева ИЛ, Зенова ГМ. *Биология почв*. Москва: МГУ, 2005.
17. Щербакова ТА. *Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества*. Минск: Наука и техника, 1983.

18. Speir TW, Ross DJ. Hydrolytic enzyme activities to assess soil degradation and recovery. In: *Dick RP, Burns RG, editors. Enzymes in the environment: activity, ecology and applications*. New York: Marcel Dekker; 2002. p. 407–431.
19. Dick RP. *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications*. Granada: [p. u.]; 1999.
20. Александрова ЛН. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Ленинград: Наука; 1980. с. 122–133.
21. Петерсон НВ, Периг ГТ. Источники образования пероксидазы в почве. *Почвоведение*. 1984;9:70–77.
22. Kirk TK, Ferrel RL. Enzymatic «combustion»: the microbial degradation of lignin. *Annual Review Microbiology*. 1987;41:465–505.
23. Martin JP, Haider KA. Comparison of the use of phenolase and peroxidase for the synthesis of model humic acid type polymers. *Soil Science Society of America*. 1980;44(5):983–988.
24. Тюрин ИВ. *Органическое вещество почвы и его роль в плодородии*. Москва: Наука; 1965.
25. Schnitzer M. Soil organic matter. The next 75 years. *Soil Science*. 1991;151:41–58.
26. Гулько АЕ, Хазиев ФХ. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность. *Почвоведение*. 1992;11:55–67.
27. Галстян АШ. *Ферментативная активность почв Армении*. Ереван: Айстан; 1974.
28. Чундерова АИ. Активность полифенолоксидазы и пероксидазы в дерново-подзолистых почвах. *Почвоведение*. 1970;7:22–28.
29. Марчик ТП. *Биологическая активность в системе оценки состояния дерново-карбонатных почв (на примере почв Гродненской области)* [автореферат диссертации]. Минск: [б. н.]; 2014.

## References

1. Mamitko AV, Nikitina ZI. [Dynamics of microbial populations in different soils]. In: *Biodinamika i plodorodie pochv* [Biodynamics and soil fertility]. Tallinn: [publisher unknown]; 1979. p. 64–68. Russian.
2. Tuev NA. *Mikrobiologicheskie processy gumusobrazovaniya* [Microbiological processes of humus formation]. Moscow: Agropromizdat; 1989. Russian.
3. Kuprevich VF, Shcherbakova TA. *Pochvennaja enzimologija* [Soil Enzymology]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1966. Russian.
4. Tabatabai MA. Soils enzymes. *Science Society of America*. 1994;5:775–833.
5. Sariaslani, FS. Microbial enzymes for oxidation of organic molecules. *Critical Reviews Biotechnology*. 1989;9:171–257.
6. Shcherbakova TA. *Fermentativnaja aktivnost' pochv i transformatsija organicheskogo veshchestva* [Enzymatic activity of soils and transformation of organic matter]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1983. Russian.
7. Boyd SA, Mortland MM. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes. In: *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker; 1990. p. 1–28.
8. Shashurin MM. [Enzymatic activity of soils and soils under chronic exposure to ecotoxicants of different nature in the conditions of Central and Southern Yakutia]. *Nauka i obrazovanie*. 2012;1:76–81. Russian.
9. Lapa VV, Mikhaylovskaya NA, Lomonos MM, Lopukh OV, et al. Influence of fertilizer systems on the enzymatic activity of sod-podzolic light-loamy soil. *Pochvovedenie i agrokhemija*. 2012;2(49):187–200. Russian.
10. Naprasnikova EV, Danko LV. [The study of the transformation of the soil cover under the impact of urbanization and technogenic conditions of the Eastern Siberia]. *Geografija i prirodnye resursy*. 2004;4:36–40. Russian.
11. [Nature protection. Soils. General requirements for sampling: GOST 17.4.3.01–83. Enter. 01.07.84]. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 1984. Russian.
12. [Soils. Sampling: GOST 28168-89. Enter. 01.04.90]. M: Izdatel'stvo standartov; 1990. Russian.
13. Environmental impact assessment [Internet]. Volkovysk district Executive Committee [cited 2018 December 20]. Available from: <https://volkovysk.grodno-region.by/uploads/files/OVOS-dlja-obsuzhdenij.pdf>. Russian.
14. Caragina LA, Mihailouskaya NA. [Determination of polyphenol oxidase and peroxidase activity in soil]. *Vestsi Akademii navuk BSSR. Seryja sel'skahašpadarchykh navuk*. [Proceedings of the Academy of Science of the BSSR. Series Agricultural Science] 1986;2:40–41. Belarusian.
15. Bureeva NN. *Mnogomerny statisticheskiy anaiz s ispolzovanitm PPP «Statika»* [Multivariate statistical analysis using PPP «Statistica»]. Nizhny Novgorod: [publisher unknown]; 2007. Russian.
16. Zvyagintsev DG, Babyeva IL, Zenova. GM. *Biologija pochv* [Soil Biology]. Moscow: MGU; 2005. Russian.
17. Shcherbakova TA. *Fermentativnaja aktivnost' pochv i transformatsija orngaičeskogo veshchestva* [Enzymatic activity of soils and transformation of organic matter]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1983. Russian.
18. Speir TW, Ross DJ. Hydrolytic enzyme activities to assess soil degradation and recovery. In: *Dick RP, Burns RG, editors. Enzymes in the environment: activity, ecology and applications*. New York: Marcel Dekker; 2002. p. 407–431.
19. Dick RP. *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications*. Granada: [publishen unknown]; 1999.
20. Alexandrova LN. *Organicheskoe veshchestvo pochvy i protsessy ego transformatsyi* [Soil organic matter and processes of its transformation]. Leningrad: Nauka; 1980. p. 122–133. Russian.
21. Peterson NB, Perig GT. [Sources of peroxidase formation in soil]. *Pochvovedenie*. 1984;9:70–77. Russian.
22. Kirk TK, Ferrel RL. Enzymatic «combustion»: the microbial degradation of lignin. *Annual Reviews Microbiology*. 1987;4:465–505.
23. Martin JP, Haider KA. Comparison of the use of phenolase and peroxidase for the synthesis of model humic acid type polymers. *Soil Science Society of America*. 1980;44(5):983–988.
24. Tyurin IV. *Organicheskoe veshchestvo pochvy i ego rol' v plodorodii* [Organic matter soil and its role in fertility]. Moscow: Nauka; 1965. Russian.
25. Schnitzer M. Soil organic matter. The next 75 years. *Soil Science*. 1991;151:41–58.
26. Gulko AE, Khaziev FN. Phenoloxidase of soils: production, immobilization, activity. *Pochvovedenie*. 1992;11:55–67. Russian.
27. Galstyan AS. *Fermentativnaja aktivnost' pochv Armenii* [Enzymatic activity of soils of Armenia]. Yerevan: Aistan; 1974. Russian.
28. Chunderova AI. [The Activity of polyphenol oxidase and peroxidase in sod-podzolic soils]. *Pochvovedenie*. 1970;7:22–28. Russian.
29. Marchik TP. *Biologicheskaja aktivnost' v sisteme otsenki sostojaniya dervno-karbonatnykh pochv (na primere pochv Grodnenskoj oblasti)* [Biological activity in the system of assessment of sod-carbonate soils (on the example of soils of Grodno region)] [PhD thesis]. Minsk: [publisher unknown]; 2014. Russian.

УДК 631.466:634.739.3:736(476)

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И МИКРОБНЫХ УДОБРЕНИЙ НА МИКРОБИОТУ СУБСТРАТА ПОД ПОСАДКАМИ ГЕНЕРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ ГОЛУБИКИ НА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКАХ БЕЛАРУСИ

Ж. А. РУПАСОВА<sup>1</sup>), А. П. ЯКОВЛЕВ<sup>1</sup>), Г. И. БУЛАВКО<sup>1</sup>),  
С. П. АНТОХИНА<sup>1</sup>), Э. И. КОЛОМИЕЦ<sup>2</sup>), З. М. АЛЕЩЕНКОВА<sup>2</sup>)

<sup>1</sup>Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси,  
ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси,  
ул. академика В. Ф. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Беларусь

Анализируются результаты 3-летнего (2016–2019 гг.) сравнительного исследования в опытной культуре с генеративными растениями *Vaccinium angustifolium*, сортами *Vaccinium corymbosum Northcountry* и *Northblue* на рекультивируемом участке торфяной выработки, сезонной динамики основных характеристик микробиоты корнеобитаемого слоя субстрата – биомассы ФАМ, интенсивности дыхания и активности метаболических процессов на фоне внесения  $N_{16}P_{16}K_{16}$  и микробных удобрений МаКлоР (в 10- и 50 %-ной концентрации), АгроМик, Бактопин и АМГ при дифференцированном и-отчасти совместном применении. Определена существенная зависимость выявленных закономерностей от генотипа растений, уровня минерального питания и гидротермического режима сезона. Установлено преимущественно стимулирующее влияние испытываемых агроприемов на основные характеристики микробиоты. Наиболее результативным в плане увеличения массы активно функционирующих микроорганизмов было совместное применение препаратов Бактопин и АМГ, тогда как наибольшую активизацию дыхательных и метаболических процессов обеспечивало внесение  $N_{16}P_{16}K_{16}$ , а под посадками сортовой голубики также жидкого удобрения АгроМик.

### Образец цитирования:

Рупасова ЖА, Яковлев АП, Булавко ГИ, Антохина СП, Коломиец ЭИ, Алещенкова ЗМ. Влияние минеральных и микробных удобрений на микробиоту субстрата под посадками генеративных растений голубики на выработанных торфяниках Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;3:80–89.

### For citation:

Rupasova ZhA, Yakovlev AP, Bulavko GI, Antokhina SP, Kolomiets EI, Aleschenkova ZM. Effect of mineral and microbial fertilizers on the substrate microbiote under landing of generative plants of blueberries on the worked peatland of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;3:80–89. Russian.

### Автор:

**Жанна Александровна Рупасова** – доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, заведующий лабораторией химии растений.

**Александр Павлович Яковлев** – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией экологической физиологии растений.

**Галина Ивановна Булавко** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической физиологии растений.

**Светлана Павловна Антохина** – ведущий инженер лаборатории экологической физиологии растений.

**Эмилия Ивановна Коломиец** – доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, директор Института микробиологии, заведующий лабораторией средств биологического контроля.

**Зинаида Михайловна Алещенкова** – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории взаимоотношений микроорганизмов почвы и высших растений Института микробиологии.

### Author:

**Zhanna A. Rupasova**, doctor of sciences (biology), corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, professor, head of laboratory of chemistry of plants.

*J.Rupasova@cbg.org.by*

**Alexander P. Yakovlev**, PhD (biology), docent; head of the laboratory of ecological physiology of plants.

*A.Yakovlev@cbg.org.by*

**Galina I. Bulavko**, PhD (biology); chief research at the laboratory of ecological physiology of plants.

*bulavko\_g@mail.ru*

**Svetlana P. Antokhina**, leading engineer at the laboratory of ecological physiology of plants.

*antokhina\_lana@mail.ru*

**Emilia I. Kolomiets**, doctor of science (biology); corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus; director of the Institute of Microbiology; head of the laboratory of biological control means.

*kolomiets@mbio.bas-net.by*

**Zinaida M. Aleschenkova**, doctor of science (biology); head of the laboratory of interrelations between microorganisms of soil and higher plants of the Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus.

*kolomiets@mbio.bas-net.by*

**Ключевые слова:** полное минеральное удобрение; микробные препараты; голубика; сорта; микробная биомасса; интенсивность дыхания; метаболическая активность.

## EFFECT OF MINERAL AND MICROBIAL FERTILIZERS ON THE SUBSTRATE MICROBIOTE UNDER LANDING OF GENERATIVE PLANTS OF BLUEBERRIES ON THE WORKED PEATLAND OF BELARUS

ZH. A. RUPASOVA<sup>a</sup>, A. P. YAKOVLEV<sup>a</sup>, G. I. BULAVKO<sup>a</sup>,  
S. P. ANTOKHINA<sup>a</sup>, E. I. KOLOMIET<sup>b</sup>, Z. M. ALESCHENKOVA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Central Botanical Garden, National Academy of Sciences of Belarus,  
2v Surganova Street, Minsk 220012, Belarus

<sup>b</sup>Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus,  
2 Academician V. F. Kupreviča Street, Minsk 220141, Belarus

Corresponding author: Zh. A. Rupasova (J.Rupasova@cbg.org.by)

The article presents the results of a 3-years comparative research in experimental culture with generative plants *Vaccinium angustifolium* and varieties *Northcountry* and *Northblue* *Vaccinium corymbosum* seasonal dynamics of the main characteristics of the microbiota of the root peat layer of the peat substrate – biomass PAM, respiration rate and activity of metabolic processes against the background of N<sub>16</sub>P<sub>16</sub>K<sub>16</sub> and «MaKloR» microbial fertilizers (in 10- and 50 % concentration), «AgroMik», «Bactopin» and «AMG» with differentiated and partly combined use. A significant dependence of the revealed regularities on the plant genotype, the level of mineral nutrition and the hydrothermal regime of the season has been established. The stimulating effect of the tested agricultural practices on the main characteristics of the microbiota was established. The most effective in terms of increasing the weight of actively functioning microorganisms was the joint use of «Bactopin» and «AMG» preparations, while the greatest activation of respiratory and metabolic processes was provided by applying N<sub>16</sub>P<sub>16</sub>K<sub>16</sub>, and under the planting of varietal blueberries also «AgroMik» liquid fertilizer.

**Keywords:** full mineral fertilizer; microbial preparations; blueberries; varieties; microbial biomass; respiration rate; metabolic activity.

### Введение

В связи с совершенствованием технологии фиторекультивации торфяных месторождений Беларуси, выбывших из промышленной эксплуатации, на основе выращивания интродуцированных ягодных растений рода *Vaccinium* в плане оптимизации режима их минерального питания представляется целесообразным использование в этих целях микробных препаратов комплексного действия, способствующих активизации микробиологических и биохимических процессов в остаточном слое торфяной залежи. Это позволило бы не только отказаться от традиционно применяемых на этих малоплодородных и сильнокислых землях дорогостоящих минеральных удобрений, но и обеспечить получение экологически чистой высоковитаминной ягодной продукции, соответствующей требованиям органического земледелия, что согласуется с принятым в ноябре 2018 г в Республике Беларусь Законом «О производстве и обращении органической продукции». В настоящее время в Институте микробиологии НАН Беларуси создан ряд новых микробных препаратов на основе ассоциативных азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий, показавших высокую эффективность на зерновых и овощных культурах [1; 2], а также на культуре голубики при возделывании на выработанных торфяниках [3; 4], которые участвуют в высвобождении основных элементов питания из прочносвязанного состояния с переводом их в легкодоступные соединения и формируют специфичный комплекс микроорганизмов [5]. Цель данной работы – сравнительное исследование основных свойств микробиоты зоны ризогенеза остаточного слоя торфяной залежи под посадками двух видов голубики – узколистного и высокорослого на фоне внесения минеральных и ряда микробных удобрений.

### Материалы и методы исследования

Исследования выполнены в 2016–2018 гг. в опытной культуре под посадками генеративных растений *V. angustifolium* и двух сортов *V. corymbosum* – *Northcountry* и *Northblue* на рекультивируемом участке торфяной выработки верхового типа в Докшицком р-не Витебской обл. Полевые опыты были заложены на участке сильнокислого (рН<sub>KCl</sub> – 2,8), малоплодородного (содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O не более 12–15 и 11–

21 мг/кг соответственно), полностью лишённого растительности остаточного слоя донного торфа средней степени разложения, представленного сфагново-древесно-пушицевой ассоциацией. Схема опыта включала 6 вариантов в трехкратной повторности и предусматривала двукратное за сезон (в мае – июне) луночное внесение удобрений: 1) контроль, без внесения удобрений; 2) внесение 10 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлоР (0,5 л/растение) в сочетании с сухим микоризным удобрением АМГ из расчета 20 г на 100 л рабочего раствора, или 0,1 г на 1 растение; 3) внесение 50 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлор (0,5 л / растение); 4) внесение 2 % рабочего раствора жидкого препарата АгроМик (0,5 л/растение); 5) внесение 2 % рабочего раствора жидкого препарата Бактопин (0,5 л/растение) в сочетании с сухим микоризным удобрением АМГ из расчета 20 г на 100 л рабочего раствора, или 0,1 г на 1 растение; 6) внесение в почву NPK 16:16:16 кг/га д.в., или 5 г на 1 растение. В каждом варианте опыта было высажено по 18 растений голубики.

Определение микробной биомассы в торфяном субстрате проводили 3–5 раз за сезон с использованием физиологического метода [6] на газовом хроматографическом комплексе Хромос ГХ-1000. Значение метаболического коэффициента вычисляли как отношение микробной биомассы, заключенной в 1 г субстрата, к количеству выделенной ею в течение часа углекислоты [7]. Все измерения и определения осуществляли в 3–5-кратной повторности с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований [8] с использованием программ STATISTICA v. 6.0 (StatSoft, Inc.2001), Microsoft Office Excel 2007 [9].

Выявление наиболее эффективных агроприемов осуществляли на основе запатентованного способа ранжирования объектов по совокупности анализируемых признаков [10].

### Результаты исследования и их обсуждение

Годы исследований характеризовались выраженными контрастами погодных условий вегетационного периода, отмеченного в 2016 г. на 6–19 % более высоким, по сравнению с многолетней климатической нормой, температурным фоном при избыточном выпадении осадков в апреле, мае и особенно в июле, а также остром дефиците влаги в июне, августе и в меньшей степени в сентябре. Вегетационный период 2017 г. отличался в основном близким к средней климатической норме температурным фоном при недостатке влаги в июне, августе и сентябре и ее существенном избытке в апреле и октябре. В отличие от двух предыдущих, сезон 2018 г. на всем протяжении характеризовался аномально жаркой погодой с превышением на 18–76 % среднеголетних температурных показателей при существенном дефиците атмосферных осадков, и лишь в июле их количество на 28 % превысило многолетнюю норму.

В результате повариантного сравнительного исследования сезонной динамики микробной биомассы под опытными посадками голубики, дающего наиболее объективное представление об интенсивности деструктивных процессов, протекающих в верхнем слое торфяного субстрата, только в условиях 2017 г. было выявлено абсолютное сходство профилирующих тенденций в сезонной динамике микробной биомассы под посадками всех трех таксонов голубики. Оно отличалось в ее увеличении в 1,4–3,4 раза к середине лета и последующем, еще более значительном снижении (в 1,8–6,0 раз) к осени, что наиболее выразительно проявилось в субстрате под *V. angustifolium*, особенно в вариантах опыта с внесением препарата МаКлоР. При этом в менее благоприятные по погодным условиям сезоны 2016–2018 гг. установлено более выраженное сходство тенденций в сезонной динамике биомассы ФАМ под растениями *V. angustifolium* и сорта *Northcountry*, нежели под таковыми сорта *Northblue*, что было обусловлено генотипическими различиями стимулирующего влияния корневых выделений на численность микроорганизмов, а также различиями темпов развития их надземной сферы.

Следует отметить, что несмотря на определенную общность тенденций в сезонной динамике массы ФАМ, в корнеобитаемом слое субстрата на фоне испытываемых агроприемов были выявлены существенные межвариантные различия данного показателя, что свидетельствовало об индивидуальном характере их влияния на жизнедеятельность микробиоты. Из сопоставления относительных различий с контролем микробной биомассы в отдельных вариантах полевого опыта на основных этапах сезонного развития растений, результаты которого приведены в табл. 1, следует, что в весенний период, для которого, как известно, характерна наибольшая активность микробоценозов, во всех вариантах опыта с внесением удобрений и во все годы наблюдений, под посадками *V. angustifolium* и сорта *Northblue* наблюдалось отставание от контроля численности ФАМ на 8–50 % и, напротив, его превышение на 5–47 % под таковыми сорта *Northcountry*. Лишь в первый год внесения удобрений под *V. angustifolium* и сортом *Northblue* отмечено существенное (на 45 и 72 % соответственно) увеличение, по сравнению с контролем, запасов микробной биомассы при совместном использовании Бактопина и препарата АМГ, сочетавшееся в первом случае с их увеличением на 28 % также при внесении N<sub>16</sub>P<sub>16</sub>K<sub>16</sub>. Под сортом *Northcountry* в обоих вариантах опыта с применением препарата МаКлоР и удобрения АгроМик имело

место снижение данного показателя на 15–26 %. В зоне ризогенеза *V. angustifolium* и сорта *Northblue* наиболее выраженное ингибирующее действие на численность микроорганизмов в весенний период на протяжении большей части периода наблюдений оказывало внесение жидкого препарата АгроМик. При этом наибольшее стимулирующее влияние на данный показатель микробиоты зоны ризогенеза сорта *Northcountry* выявлено при использовании 50 %-ного МаКлоРа.

В середине лета в характере влияния большинства испытываемых агроприемов на биомассу ФАМ были выявлены строго индивидуальные для каждого таксона голубики неоднозначные изменения, относительно майского срока, в значительной мере определявшиеся гидротермическим режимом сезона (табл. 1). Так, под растениями *V. angustifolium* только в 2016–2017 гг. был показан незначительный стимулирующий эффект от совместного использования Бактопина и препарата АМГ, с увеличением численности микроорганизмов на 5–11 % относительно контроля. Наибольшее же ее увеличение в 2016 г. установлено при внесении  $N_{16}P_{16}K_{16}$ , в 2017 г. – в вариантах опыта с применением МаКлоРа. На фоне чрезвычайно жаркой и засушливой погоды лета 2018 г. наблюдалось существенное (на 40–53 %) снижение численности микроорганизмов относительно контроля во всех вариантах, кроме варианта с совместным внесением Бактопина и препарата АМГ, в котором оно не превысило 7 %.

В годы с экстремальным характером погодных условий (2016 и 2018) для зоны ризогенеза сорта *Northcountry* было показано преимущественное снижение численности микроорганизмов на 6–20 % по сравнению с контролем. Однако под посадками сорта *Northblue* отмечено ее увеличение на фоне большинства испытываемых агроприемов, особенно внесения  $N_{16}P_{16}K_{16}$ , что увязывается с установленным нами существенным торможением в это время ростовых процессов у растений данного сорта [3] и обусловленным этим ослаблением их конкуренции с микробиотой за элементы минерального питания.

В осенний период года доминирующей тенденцией в изменении запасов микробной биомассы в торфяном субстрате под посадками всех таксонов голубики на фоне испытываемых агроприемов являлось их существенное увеличение по сравнению с контролем (табл. 1), что обусловлено не только прекращением ростовых процессов у культивируемых растений и связанным с этим ограничением их потребностей в питании, но и активизацией развития эдафобионтов при комфортных значениях температуры и влажности субстрата.

Таблица 1

**Относительные различия с контролем основных характеристик микробиоты корнеобитаемого слоя торфа в вариантах полевого опыта с внесением удобрений на основных этапах сезонного развития генеративных растений голубики в годы исследований, %**

Table 1

**Relative differences with the control of the main characteristics of the microbiota of the root layer of peat in the field experience variants with the application of fertilizers at the main stages of the seasonal development of blueberries generative plants in the years of study, %**

| Вариант опыта                  | Показатель                              |              |              |   |              |              |                               |              |              |
|--------------------------------|---|--------------|--------------|---|--------------|--------------|-------------------------------|--------------|--------------|
|                                | $S_{\text{биом}}, \text{мкг C/g торфа}$ |              |              | дыхание почвы, $\text{мкг CO}_2/\text{г торфа в сутки}$ |              |              | метаболический коэффициент, % |              |              |
|                                | май                                     | июль         | сентябрь     | май   | июль         | сентябрь     | май                           | июль         | сентябрь     |
| <b><i>V. angustifolium</i></b> |   |              |              |   |              |              |                               |              |              |
| <b>2016 г.</b>                 |   |              |              |   |              |              |                               |              |              |
| 2                              | -13,7                                   | -17,8        | <b>+26,1</b> | -18,0   | –            | <b>+7,3</b>  | -5,3                          | <b>+18,8</b> | -15,0        |
| 3                              | -13,0                                   | –            | <b>+35,9</b> | -4,3  | -13,3        | -35,6        | <b>+10,5</b>                  | -12,5        | -50,0        |
| 4                              | -41,9                                   | –            | –            | -17,4   | <b>+16,0</b> | -25,4        | <b>+42,1</b>                  | <b>+18,8</b> | -20,0        |
| 5                              | <b>+45,0</b>                            | <b>+11,1</b> | <b>+40,4</b> | -13,0   | <b>+22,6</b> | -22,6        | -36,8                         | <b>+12,5</b> | -45,0        |
| 6                              | –                                       | <b>+24,7</b> | -20,4        | -26,1   | <b>+22,0</b> | -15,2        | -21,1                         | –            | <b>+10,0</b> |
| <b>2017 г.</b>                 |   |              |              |   |              |              |                               |              |              |
| 2                              | -47,6                                   | <b>+6,6</b>  | -28,6        | <b>+17,4</b>  | –            | -28,2        | <b>+120,0</b>                 | –            | –            |
| 3                              | -45,2                                   | <b>+6,0</b>  | –            | –   | -48,6        | -21,5        | <b>+70,0</b>                  | –            | -25,0        |
| 4                              | -46,3                                   | -6,7         | <b>+45,1</b> | <b>+4,3</b>   | <b>+15,0</b> | <b>+42,1</b> | <b>+90,0</b>                  | –            | -6,3         |
| 5                              | -29,2                                   | <b>+4,7</b>  | <b>+13,7</b> | <b>+14,7</b>  | <b>+12,0</b> | <b>+15,5</b> | <b>+60,0</b>                  | –            | –            |
| 6                              | -25,1                                   | –            | <b>+49,3</b> | <b>+13,7</b>  | -6,3         | <b>+35,0</b> | <b>+50,0</b>                  | –            | -12,5        |

Окончание табл. 1  
Ending table 1

| 2018 г.           |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 2                 | -8,3  | -53,1 | –     | -11,4 | -27,3 | -33,7 | –      | +50,0  | -37,5  |
| 3                 | -8,2  | -41,2 | –     | +13,4 | -22,0 | -12,7 | +25,0  | +30,0  | -12,5  |
| 4                 | -41,8 | -45,2 | –     | -29,5 | -20,7 | -24,7 | +16,7  | +40,0  | -25,0  |
| 5                 | -41,1 | -6,5  | –     | -16,5 | -11,0 | +9,3  | +41,7  | -10,0  | –      |
| 6                 | -45,8 | -40,4 | +6,4  | -17,0 | -24,4 | -17,2 | +50,0  | +30,0  | -25,0  |
| Сорт Northcountry |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
| 2016 г.           |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
| 2                 | -20,0 | -7,9  | -18,3 | –     | -26,1 | -29,4 | +21,1  | -17,6  | -11,1  |
| 3                 | -14,5 | +8,4  | –     | +11,8 | -43,8 | -52,5 | +31,6  | -47,1  | -50,0  |
| 4                 | -26,4 | –     | -34,2 | +29,0 | +6,3  | -36,8 | +73,7  | +5,9   | -5,6   |
| 5                 | +36,9 | +14,6 | +8,2  | -4,3  | +34,9 | -49,8 | -31,6  | +17,6  | -55,6  |
| 6                 | +6,1  | +11,4 | -36,8 | +15,7 | +30,3 | –     | +10,5  | +17,6  | +55,6  |
| 2017 г.           |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
| 2                 | +42,2 | -17,0 | +41,1 | +8,4  | -17,6 | +7,7  | -26,7  | –      | -25,0  |
| 3                 | +47,1 | -9,4  | -7,3  | +23,7 | -32,2 | +41,5 | -13,3  | –      | +58,3  |
| 4                 | +19,4 | -11,1 | +22,8 | +18,1 | -24,1 | -13,7 | –      | –      | -25,0  |
| 5                 | +6,2  | -16,2 | +42,4 | –     | +11,1 | +7,0  | -6,7   | –      | -25,0  |
| 6                 | –     | -10,2 | -5,1  | -5,7  | -35,2 | +12,5 | -6,7   | –      | +25,0  |
| 2018 г.           |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
| 2                 | +8,7  | -18,2 | +13,7 | +20,2 | +41,7 | -22,1 | +8,3   | +80,0  | -28,6  |
| 3                 | +26,0 | +10,4 | +6,9  | +42,6 | +70,6 | +4,5  | +16,7  | +60,0  | -      |
| 4                 | +10,0 | –     | –     | +33,2 | –     | -33,0 | +25,0  | –      | -28,6  |
| 5                 | +19,7 | -19,8 | +9,6  | +29,7 | +36,5 | -28,5 | +8,3   | +80,0  | -28,6  |
| 6                 | –     | -6,1  | –     | +31,9 | +91,9 | -18,0 | +25,0  | +100,0 | -14,3  |
| Сорт Northblue    |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
| 2016 г.           |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
| 2                 | -26,2 | -15,1 | +14,4 | -12,1 | -18,2 | +60,0 | +20,8  | –      | +38,5  |
| 3                 | -14,6 | –     | +30,9 | -12,8 | -8,6  | +4,4  | -      | -10,0  | -23,0  |
| 4                 | -40,0 | -12,9 | -19,0 | -10,0 | +7,6  | +23,2 | +50,0  | +30,0  | +46,2  |
| 5                 | +72,0 | –     | +23,3 | -3,8  | +51,9 | -5,6  | -41,7  | +60,0  | -23,0  |
| 6                 | +28,2 | –     | -38,7 | -27,2 | +19,3 | +70,3 | -41,7  | +20,0  | +169,2 |
| 2017 г.           |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
| 2                 | -13,8 | -5,7  | +13,8 | -23,9 | -     | +27,7 | -10,5  | –      | +11,8  |
| 3                 | -29,0 | +12,0 | +70,8 | -10,8 | +24,0 | +38,4 | +26,3  | –      | -17,6  |
| 4                 | -13,4 | -4,4  | +99,1 | -39,2 | -43,3 | +57,5 | -31,6  | –      | -23,5  |
| 5                 | -9,7  | -8,5  | +48,8 | -26,8 | -     | +72,0 | -31,6  | –      | +11,8  |
| 6                 | -13,0 | +6,1  | +64,5 | -34,5 | +43,9 | +13,0 | -26,3  | –      | -35,3  |
| 2018 г.           |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
| 2                 | -14,4 | +16,8 | +6,1  | +17,7 | -19,1 | +9,8  | +40,0  | -30,0  | –      |
| 3                 | –     | +12,4 | +13,3 | +30,3 | -9,9  | +35,5 | +40,0  | -20,0  | +20,0  |
| 4                 | -44,9 | -15,7 | +10,6 | +13,9 | -4,9  | -19,7 | +110,0 | +10,0  | -20,0  |
| 5                 | -14,4 | +5,3  | -14,2 | +40,3 | -15,5 | +7,1  | +60,0  | -20,0  | +20,0  |
| 6                 | -49,6 | +37,6 | +17,5 | –     | +21,9 | +49,2 | +100,0 | -20,0  | +40,0  |

Примечание. Прочерк (–) означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с контролем при  $P > 0,05$

По нашим оценкам, наиболее высокие значения скорости выделения углекислого газа из торфяного субстрата были установлены в первый год внесения удобрений. В последующие же годы, в связи со стабилизацией процесса функционирования микробиоты, они стали значительно меньшими, причем не зависели существенно от генотипа растений, формирующих зону ризогенеза. В сезонной динамике данного показателя под посадками голубики в большинстве вариантов опыта прослеживались однотипные тенденции, не совпадавшие, как правило, с установленными для массы ФАМ в летний период года и отличавшиеся заметным сходством с ними в конце вегетационного периода. При этом, независимо от погодных условий сезона, к середине лета происходило значительное снижение интенсивности дыхания микробиоты с последующим увеличением в осенний период (в основном, в первый год внесения удобрений) и с преимущественным ее снижением в последующие годы. При этом весенние значения данного показателя в большинстве случаев превышали осенние в 1,1–3,6 раза при наиболее выразительных контрастах на фоне экстремальных погодных условий сезона 2018 г.

Как следует из табл. 1, внесение удобрений значительно активизировало дыхательный процесс в зоне ризогенеза сортовой голубики, нежели в таковой *V. angustifolium*, под посадками которой выявленные различия опытных вариантов с контролем по скорости выделения  $\text{CO}_2$ , в основном коррелировала с установленной для биомассы ФАМ весной и летом 2018 г., а также осенью 2017 г., тогда как под посадками сорта *Northcountry* подобное совпадение во все годы наблюдалось преимущественно весной и летом, а под посадками сорта *Northblue* – весной и осенью. В большинстве же случаев наиболее значительным превышением контрольного уровня выделения углекислого газа из зоны ризогенеза характеризовались варианты опыта с внесением микробных удобрений. Однако каких-либо общих закономерностей для разных таксонов голубики в сезонной динамике в разные годы наблюдений выявить не удалось.

Величина метаболического коэффициента микробоценозов ( $q\text{CO}_2$ ) под посадками генеративных растений голубики варьировалась в рамках полевого эксперимента в сходных у разных таксонов диапазонах значений от 0,05 до 0,36, что указывало на их невысокую активность. В сезонной динамике данного показателя под посадками всех таксонов голубики в большинстве вариантов опыта прослеживались сходные тенденции со снижением летом и последующим увеличением осенью 2016 и 2017 гг., тогда как в 2018 г. наблюдалось дальнейшее снижение либо стабилизация его значений.

Как следует из табл. 1, на фоне испытываемых агроприемов в весенний период во все годы активность микробиоты под посадками *V. angustifolium*, как правило, была выше, чем в контроле, на 10–120 % при максимальных различиях в наиболее благоприятных условиях сезона 2017 г. При этом в 2016 и 2018 гг. подобное, но менее выраженное превышение сохранялось и в летний период, однако с наступлением осени значения метаболического коэффициента уже уступали контрольным на 6–50 %. Под посадками сортовой голубики превышение контрольных значений метаболического коэффициента в весенний период на 8–110 % установлено только в 2016 и 2018 гг., тогда как в 2017 г. наблюдалось его отставание от контроля на 7–32 % при наибольших различиях под сортом *Northblue*. В середине лета сходная под обоими сортами голубики направленность различий опытных вариантов с контролем по данному признаку установлена только в первые два года наблюдений, в первом из которых превышение на 6–60 % контрольных значений установлено на фоне внесения  $\text{N}_{16}\text{P}_{16}\text{K}_{16}$ , АгроМика, а также Бактопина в сочетании с препаратом АМГ и отставание от них при использовании обеих концентраций препарата МаКлоР. Во второй год внесение удобрений не оказало влияния на величину метаболического коэффициента. В условиях чрезвычайно жаркого и засушливого лета 2018 г. под посадками сортов *Northcountry* и *Northblue* обозначилась противоположная друг другу направленность различий с контролем по данному признаку – положительная в первом случае и отрицательная – во втором. В осенний период под сортом *Northcountry* было показано преимущественное отставание значений метаболического коэффициента от контроля на 6–56 %, тогда как под сортом *Northblue* превышение на 12–169 %, наиболее значительное в обоих случаях в первый год внесения удобрений.

Приведенные выше результаты трехлетних исследований основных характеристик микробиоты корнеобитаемого слоя торфяного субстрата под посадками трех таксонов генеративных растений голубики на фоне испытываемых агроприемов в основном показали их стимулирующее влияние на развитие и функционирование этой сферы. Вместе с тем относительные размеры выявленных различий существенно варьировались в зависимости от генотипа растений не только в сезонном, но и в многолетнем циклах наблюдений, что не позволяло выявить агроприемы с наиболее выраженным позитивным влиянием на исследуемые характеристики микробоценозов. Итак, для оценки интегрального эффекта в каждом варианте опыта с их применением мы ориентировались на усредненные в сезонном и трехлетнем циклах наблюдений различия опытных вариантов с контролем по отдельным анализируемым признакам, а также по их совокупности, приведенные в табл. 2.

Нетрудно убедиться, что в весенний период года наиболее значительное, причем сходное по величине интегральное позитивное влияние на биомассу ФАМ под посадками обоих сортов *V. corymbosum* оказало совместное внесение микробных препаратов Бактопин и АМГ, обусловившее ее увеличение почти на 24 %, по сравнению с контролем. Все же остальные агроприемы действовали отрицательно на численность микроорганизмов в зоне ризогенеза сорта *Northblue*, предопределив ее снижение на 11–34 %, особенно при внесении АгроМика, использование которого, как и внесение  $N_{16}P_{16}K_{16}$ , не оказало влияния на данный показатель под сортом *Northcountry*, тогда как применение препарата МаКлоР, особенно 50 %-ного, способствовало его увеличению на 5–14 %. В отличие от сортовой голубики, под посадками *V. angustifolium* во всех вариантах опыта с внесением удобрений наблюдалось снижение биомассы ФАМ на 5–43 % относительно контроля: наиболее значительное, как и под сортом *Northblue*, при внесении АгроМика и наименьшее при совместном внесении Бактопина и препарата АМГ, оказавшемся самым результативным в этом плане под посадками сортовой голубики.

Таблица 2

Усредненные в 3-летнем цикле наблюдений относительные различия с контролем основных характеристик микробиоты корнеобитаемого слоя торфа в вариантах полевого опыта на основных этапах сезонного развития генеративных растений голубики, %

Table 2

Average in the 3-year observation cycle, the relative differences with the control of the main characteristics of the microbiota of the root peat layer in the field experiment variants at the main stages of the seasonal development of blueberries generative plants, %

| Вариант опыта                  | Показатели                        |              |              |               |  |              |              |               |                               |              |              |               |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|---------------|--|--------------|--------------|---------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------|
|                                | $C_{\text{биом}}$ , мкг С/г торфа |              |              |               | дыхание почвы, мкг $CO_2$ /г торфа в сутки |              |              |               | метаболический коэффициент, % |              |              |               |
|                                | май                               | июль         | сентябрь     | совок. эффект | май  | июль         | сентябрь     | совок. эффект | май                           | июль         | сентябрь     | совок. эффект |
| <b><i>V. angustifolium</i></b> |                                   |              |              |               |  |              |              |               |                               |              |              |               |
| 2                              | -22,8                             | -14,6        | +7,7         | -29,7         | -8,6                                       | -9,9         | -6,0         | -24,5         | <b>+21,4</b>                  | <b>+30,0</b> | -13,3        | <b>+38,1</b>  |
| 3                              | -21,8                             | -7,8         | <b>+19,2</b> | -10,4         | –  | -25,1        | -29,3        | -54,4         | <b>+28,6</b>                  | <b>+10,0</b> | -33,3        | <b>+5,3</b>   |
| 4                              | -43,3                             | -14,6        | <b>+7,2</b>  | -50,7         | -15,9                                      | <b>+5,4</b>  | -12,5        | -23,0         | <b>+42,9</b>                  | <b>+30,0</b> | -20,0        | <b>+52,9</b>  |
| 5                              | -4,7                              | –            | <b>+22,3</b> | <b>+17,6</b>  | -7,9                                       | <b>+10,2</b> | -10,4        | -8,1          | <b>+7,1</b>                   | <b>+10,0</b> | -20,0        | -2,9          |
| 6                              | -23,1                             | -4,8         | –            | -27,9         | -8,6                                       | -9,9         | -6,0         | -24,5         | <b>+14,3</b>                  | <b>+10,0</b> | -6,7         | <b>+17,6</b>  |
| сорт <i>Northcountry</i>       |                                   |              |              |               |  |              |              |               |                               |              |              |               |
| 2                              | <b>+4,9</b>                       | -14,9        | –            | -10,0         | <b>+4,3</b>                                | -13,4        | -22,7        | -31,8         | <b>+6,7</b>                   | –            | -16,7        | -10,0         |
| 3                              | <b>+13,7</b>                      | –            | –            | <b>+13,7</b>  | <b>+21,5</b>                               | -23,2        | -30,2        | -31,9         | <b>+13,3</b>                  | -22,2        | –            | -8,9          |
| 4                              | –                                 | –            | -14,0        | -14,0         | <b>+27,3</b>                               | –            | -32,7        | -5,4          | <b>+40,0</b>                  | –            | -16,7        | <b>+23,3</b>  |
| 5                              | <b>+23,7</b>                      | -9,1         | <b>+14,7</b> | <b>+29,3</b>  | –  | <b>+27,4</b> | -38,1        | -10,7         | -13,3                         | <b>+22,2</b> | -41,7        | -32,8         |
| 6                              | –                                 | –            | -21,0        | -21,0         | <b>+13,9</b>                               | <b>+18,2</b> | –            | <b>+32,1</b>  | <b>+13,3</b>                  | <b>+33,3</b> | <b>+33,3</b> | <b>+79,9</b>  |
| сорт <i>Northblue</i>          |                                   |              |              |               |  |              |              |               |                               |              |              |               |
| 2                              | -18,5                             | -5,2         | <b>+12,0</b> | -11,7         | -10,1                                      | -14,2        | <b>+45,2</b> | <b>+20,9</b>  | <b>+11,1</b>                  | -12,5        | <b>+16,7</b> | <b>+15,3</b>  |
| 3                              | -15,1                             | <b>+7,7</b>  | <b>+32,5</b> | <b>+25,1</b>  | –  | –            | <b>+17,1</b> | <b>+17,1</b>  | <b>+16,7</b>                  | -12,5        | -16,7        | -12,5         |
| 4                              | -33,7                             | -9,5         | <b>+9,5</b>  | -33,7         | -14,8                                      | -10,1        | <b>+26,1</b> | –             | <b>+27,8</b>                  | <b>+25,0</b> | –            | <b>+52,8</b>  |
| 5                              | <b>+24,0</b>                      | –            | <b>+16,6</b> | <b>+40,6</b>  | –  | <b>+21,3</b> | <b>+15,8</b> | <b>+37,1</b>  | -22,2                         | <b>+25,0</b> | –            | <b>+2,8</b>   |
| 6                              | -10,6                             | <b>+10,5</b> | -4,9         | -5,0          | -24,0                                      | <b>+27,1</b> | <b>+53,1</b> | <b>+56,2</b>  | -11,1                         | –            | <b>+50,0</b> | <b>+38,9</b>  |

Примечание. Прочерк (–) означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с контролем при  $P > 0,0$

В летний период года в зоне ризогенеза *V. angustifolium* большинство испытываемых агроприемов способствовало снижению запасов микробной биомассы в среднем на 5–15 %, и лишь при внесении Бактопина в сочетании с препаратом АМГ не было выявлено различий с контролем по данному показателю, как и под посадками сорта *Northcountry* при внесении  $N_{16}P_{16}K_{16}$ , АгроМика и 50 %-ного МаКлоРа. Использование же 10 %-ной концентрации последнего, как и Бактопина в сочетании с АМГ, способствовало снижению биомассы ФАМ на 9–15 %, относительно контроля. Под посадками сорта *Northblue*

отмечено ее увеличение на 8–11 % только на фоне внесения  $N_{16}P_{16}K_{16}$  и 50 %-ного МаКлоР, тогда как в остальных вариантах наблюдалось либо ее снижение на 5–10 %, либо отсутствие изменений относительно контроля. В осенний период года под посадками *V. angustifolium* и сорта *Northblue* использование всех микробных удобрений, особенно 50 %-ного МаКлоРа и Бактопина в сочетании с АМГ, способствовало увеличению на 7–33 % массы ФАМ по сравнению с контролем.

Внесение же  $N_{16}P_{16}K_{16}$  было абсолютно неэффективным, и во втором случае даже незначительно снижало ее запасы. Под сортом *Northcountry* позитивное влияние на данный показатель, сопоставимое с таковым под сортом *Northblue*, было установлено лишь на фоне совместного внесения Бактопина и АМГ, тогда как остальные агроприемы способствовали либо его снижению, особенно при использовании  $N_{16}P_{16}K_{16}$ , либо не оказывали на него заметного влияния.

Усредненные в трехлетнем цикле наблюдений значения скорости выделения  $CO_2$  из корнеобитаемой зоны субстрата в весенний период на фоне большинства испытываемых агроприемов, особенно внесения 50 %-ного МаКлоРа и АгроМика, превышали таковые в контроле на 4–27 % только под посадками сорта *Northcountry*, при противоположной картине под *V. angustifolium* и сортом *Northblue*, свидетельствующей об ингибировании данного процесса на 8–24 %, особенно при внесении АгроМика, что, как и предыдущем случае, коррелировало с изменениями биомассы ФАМ (табл. 2). В летний период наиболее выраженная активизация дыхания микробиоты под посадками всех таксонов голубики на 10–27 %, относительно контроля, наиболее значительная под *V. corymbosum*, установлена на фоне совместного внесения Бактопина и АМГ, причем подобный эффект под последней был показан также при внесении  $N_{16}P_{16}K_{16}$ . Незначительное усиление потока  $CO_2$  из зоны ризогенеза *V. angustifolium* отмечено также при использовании АгроМика. Во всех же остальных случаях наблюдалось либо ослабление дыхательного процесса на 10–25 %, либо отсутствие влияния на него испытываемых агроприемов. В осенний период показатель, усредненный за 3 года, интенсивности выделения  $CO_2$  на фоне испытываемых агроприемов превышал таковой в контроле на 17–53 % только под посадками сорта *Northblue*, особенно при внесении  $N_{16}P_{16}K_{16}$  и 10 %-ного МаКлоРа в сочетании с АМГ. Под посадками же *V. angustifolium* и сорта *Northcountry* использование микробных препаратов способствовало ослаблению потока  $CO_2$  из зоны ризогенеза на 6–38 %, по сравнению с контролем, особенно при совместном применении Бактопина и АМГ, тогда как внесение  $N_{16}P_{16}K_{16}$  не оказывало заметного влияния на данный процесс.

Что касается интегрального показателя функциональной активности микробоценозов – метаболического коэффициента, то в весенний период года под посадками голубики, особенно *V. angustifolium* и сорта *Northcountry*, на фоне большинства испытываемых агроприемов превышал таковой в контроле на 7–43 %, особенно при внесении АгроМика и отставал от него в наибольшей степени при совместном внесении Бактопина и АМГ (табл. 2). Под посадками *V. angustifolium* аналогичная картина сохранялась и в летний период, тогда как под сортовой голубикой последний агроприем занимал уже лидирующее положение в активизации функционирования микробиоты, как и внесение  $N_{16}P_{16}K_{16}$  под сортом *Northcountry* и АгроМика под сортом *Northblue*. В осенний период в зоне ризогенеза всех таксонов голубики, особенно *V. angustifolium* и сорта *Northcountry*, наблюдалось существенное ингибирование жизненной активности микробоценозов под действием удобрений со снижением метаболического коэффициента на 7–42 % по сравнению с контролем и лишь на фоне внесения  $N_{16}P_{16}K_{16}$  отмечено его увеличение под посадками обоих сортов *V. corymbosum*.

С целью выявления в 3-летнем цикле наблюдений самого результативного агроприема, оказавшего наиболее существенное позитивное влияние на исследуемые характеристики микробиоты корнеобитаемого слоя торфа на протяжении всего вегетационного периода, во всех вариантах опыта для каждой из данных характеристик было проведено суммирование выявленных различий с контролем, учитывая их знак. Установлено, что под всеми таксонами голубики наиболее значительным позитивным влиянием на запасы микробной биомассы, нарастающим в ряду *V. angustifolium*, сорт *Northcountry* и сорт *Northblue*, оказало совместное внесение Бактопина и АМГ, способствовавшее их увеличению, по сравнению с контролем, на 18–41 %. Вместе с тем под обоими сортами *V. corymbosum*, особенно *Northblue*, было показано увеличение численности микроорганизмов на 14–25 % при использовании 50 %-ного МаКлоРа. Практически неэффективными в этом плане оказались все остальные агроприемы, способствовавшие снижению массы ФАМ на 10–50 %, наибольшему под *V. angustifolium* и сортом *Northblue* на фоне внесения АгроМика, тогда как под сортом *Northcountry* –  $N_{16}P_{16}K_{16}$ .

Показано, что только под посадками сорта *Northblue* наблюдалось усиление дыхательного процесса на 17–56 %, относительно контроля, наиболее значительное при совместном использовании Бактопина и АМГ, но особенно при внесении  $N_{16}P_{16}K_{16}$ , оказавшем стимулирующее действие на дыхательный процесс также под сортом *Northcountry*, под которым, как и под *V. angustifolium*, результирующее влияние

остальных агроприемов на него было исключительно отрицательным, обусловившим ослабление потока  $\text{CO}_2$  на 5–54 %, наибольшее на фоне внесения 50 %-ного МаКлоРа.

Как следует из табл. 2, совокупный за 3 года интегральный эффект от испытываемых агроприемов в плане активизации метаболической активности микробоценозов наиболее выразительно проявился под посадками *V. angustifolium* и сорта *Northblue*, под которыми в большинстве вариантов опыта значения метаболического коэффициента превышали контрольные на 5–53 %. При этом, независимо от генотипа растений, наиболее существенное усиление жизнедеятельности микробиоты наблюдалось на фоне внесения АгроМика и  $\text{N}_{16}\text{P}_{16}\text{K}_{16}$ , тогда как неэффективным в этом плане было внесение 50 %-ного МаКлоРа, а также Бактопина в сочетании с препаратом АМГ.

### Заключение

В результате 3-летнего исследования в опытной культуре с генеративными растениями *V. angustifolium* и сортами *V. corymbosum Northcountry* и *Northblue* сезонной динамики основных характеристик микробиоты корнеобитаемого слоя торфяного субстрата – биомассы ФАМ, интенсивности дыхания и активности метаболических процессов на фоне внесения  $\text{N}_{16}\text{P}_{16}\text{K}_{16}$  и микробных удобрений МаКлоР (в 10- и 50 %-ной концентрации), АгроМик, Бактопин и АМГ при дифференцированном и отчасти совместном применении определена существенная зависимость выявленных закономерностей от генотипа растений, уровня минерального питания и гидротермического режима сезона.

Установлено преимущественно стимулирующее влияние испытываемых агроприемов на основные характеристики микробиоты. Наиболее результативным в плане увеличения биомассы активно функционирующих микроорганизмов было совместное применение препаратов Бактопин и АМГ, тогда как наибольшую активизацию дыхательных и метаболических процессов обеспечивало внесение  $\text{N}_{16}\text{P}_{16}\text{K}_{16}$ , а под посадками сортов *V. corymbosum* также жидкого удобрения АгроМик.

Выявленная активизация жизнедеятельности микробоценозов в зоне ризогенеза торфяного субстрата под действием микробных удобрений, способствующая увеличению содержания в нем доступных форм питательных элементов, свидетельствует о большей целесообразности их использования на посадках голубики на рекультивируемых площадях выработанных торфяников по сравнению с минеральными удобрениями. Это позволит получать экономически выгодную, экологически чистую, высоковитаминную ягодную продукцию данной культуры, что соотносится с принципами органического земледелия.

### Библиографические ссылки

1. Алешенкова ЗМ. Микробные удобрения для стимуляции роста и развития растений. *Наука и инновации*. 2015;8(150):66–67.
2. Соловьева ЕА, Савчиц ТЛ, Алешенкова ЗМ, Иуштивич ВН. Микробный препарат АгроМик для стимуляции роста и развития тритикале. В: *Коломиец ЭИ, Лобанок АГ, редакторы. Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: сборник научных трудов*. Минск: Беларуская навука; 2013. с. 331–342.
3. Рупасова ЖА, Яковлев АП, Вашкевич МН. И др. Генотипические и возрастные различия текущего прироста генеративных растений голубики на фоне внесения минеральных и микробных удобрений на выработанных торфяных месторождениях. *Бюллетень Главного ботанического сада РАН*. 2018. Выпуск 204; 2:44–59.
4. Рупасова ЖА, Яковлев АП, Алешенкова, ЗМ. и др. Влияние минеральных и микробных удобрений на параметры плодородия и содержание органических кислот в плодах голубики на выработанном участке торфяного месторождения на севере Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2017;4:100–106.
5. Dobrovol'skaya TG, Zvyagintsev DG, Chernov IYu, Golovchenko AV, et al. The role of microorganisms in the ecological functions of soils. *Eurasian Soil Science*. 2015. Volume 48;9:959–967.
6. Мирчинк ТГ. *Почвенная микология*. Москва: Издательство Московского университета; 1988. 220 с.
7. Ананьева НД. *Микробиологическая оценка почв в связи с самоочищением от пестицидов и устойчивостью к антропогенным воздействиям* [автореферат диссертации]. Москва: [б. н.]; 2001. 50 с.
8. Мятлев ВД, Панченко ЛА, Ризниченко ГЮ, АТ Терехин АТ. *Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели*. Москва: Академия; 2009. 320 с.
9. Боровиков ВП. *STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере*. Санкт-Петербург: Питер; 2003. 688 с.
10. Рупасова ЖА, Решетников ВН, Яковлев АП. *Способ ранжирования таксонов растения*. Патент ВУ 17648. Дата публикации 30.10.13.

### Referenes

1. Aleshchenkova ZM. *Mikrobnye udobreniya dlya stimulyacii rosta i razvitiya rastenij* [Microbial fertilizers for stimulation of plant growth and development]. *Nauka i innovacii* [Science and Innovation]. 2015;8(150):66–67. Russian.
2. Solov'eva EA. *Mikrobnyj preparat AgroMik dlya stimulyacii rosta i razvitiya tritikale* [Microbial fertilizers for stimulation of growth and development of plants]. In: *Kolomiec EI, Lobanok AG editors. Mikrobnye biotekhnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty: sbornik nauchnykh trudov*. Minsk: Belaruskaya navuka; 2013. p. 331–342. Russian.

3. Rupasova Zh, Yakovlev AP, Vashkevich MN, et al. *Genotipicheskiye i vozrastnyye razlichiya tekushchego prirosta generativnykh rasteniy golubiki na fone vneseniya mineral'nykh i mikrobnyykh udobreniy na vyrabotannykh torfyanykh mestorozhdeniyakh* [Genotypic and age-related differences in the current growth of blueberry generative plants on the background of mineral and microbial fertilizer application in depleted peat deposits]. *Byulleten' Glavnogo Botanicheskogo sada RAN* [Bulletin Main Botanical Garden RAS]. 2018. Issue 204;2:44–59. Russian.
4. Rupasova ZA, Yakovlev AP, Aleschenkova ZM, et al. *Vliyanie mineralnykh i mikrobnyykh udobreniy na parametry plodonosheniya i sodержanie organicheskikh kislot v plodakh golubiki na vyrabotannom uchastke torfyanogo mestorozhdeniya na severe Belarusi* [Influence of mineral and microbial fertilizers on fruiting parameters and the content of organic acids in the fruits of blueberry on opencast peatland in conditions of the north of Belarus]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* [Journal Belarusian State University. Ecology] 2017;4:100–106. Russian.
5. Dobrovol'skaya TG, Zvyagintsev DG, Chernov IYu, Golovchenko AV, et al. The role of microorganisms in the ecological functions of soils. *Eurasian Soil Science*. 2015. Volume 48;9:959–967.
6. Mirchink TG. *Pochvennaya mikologiya: uchebnik* [Soil mycology]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 1988. 220 p. Russian.
7. Ananeva ND. *Mikrobiologicheskaya otsenka pochv v svyazi s samoochishcheniem ot pestitsidov i ustoychivostyu k antropogennym vozdeystviyam* [Microbiological assessment of soils in connection with self-purification from pesticides and resistance to anthropogenic influences] [PhD thesis]. Moscow: [publisher unknown];2001. 50 p. Russian.
8. Myatlev VD. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika. Matematicheskie modeli. Uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy* [Probability theory and mathematical statistics. Mathematical models]. Moscow: Akademiya; 2009. 320 p. Russian.
9. Borovikov VP. *STATISTICA: Iskusstvo analiza dannykh na kompyutere* [STATISTICA: The art of data analysis on a computer]. St. Petersburg: Piter; 2003. 688 p. Russian.
10. Rupasova ZhA, VN, Reshetnikov VN, AP, Yakovlev AP. *Sposob ranzhirovaniya taksonov rasteniya* [Method of ranking plant taxa]. Patent BY 17648. Data publication 2013 Oktober 30. Russian.

Статья поступила в редколлегию 31.07.2019.  
Received by editorial board 31.07.2019.

УДК 614.72:629.2](470.313)

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ Г. РЯЗАНИ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

А. М. ЦУРГАН<sup>1)</sup>, А. А. ДЕМЕНТЬЕВ<sup>1)</sup>, А. А. ЛЯПКАЛО<sup>1)</sup>, Ю. А. МАЖАЙСКИЙ<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова,  
ул. Высоковольтная, 9, 390026, г. Рязань, Россия

<sup>2)</sup>Мещерский филиал «ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова», ул. Мещерская, 1А, 390021, г. Рязань, Россия

Приводятся результаты суточного и недельного мониторинга протяженности транспортных потоков со скоростями движения 5–10 км/час (тяжелые условия) и выбросов автотранспорта на улицах и окружных дорогах г. Рязани в весенний период года. Материал исследования – картографические данные, публикуемые в свободном доступе на сайте [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru). Отметим, что картографический метод может быть использован для оценки антропогенного воздействия автотранспорта на атмосферный воздух населенных пунктов. При этом формирование тяжелых транспортных условий ведет к существенному увеличению антропогенного загрязнения атмосферного воздуха города выбросами автотранспорта, особенно в утренний и вечерний «часы пик», 8 и 18 ч соответственно, а также на улицах города в конце, а на окружных дорогах – в середине рабочей недели. Выявлен значительный прирост выбросов загрязняющих веществ автотранспортом, максимальные значения которого на отдельных перегонах в утренний и вечерний «часы пик» могут достигать 20 и 40 % от среднего выброса. Наибольший прирост компонентов выбросов автотранспорта наблюдался на улицах центра города и в утренний и вечерний «часы пик» в среднем составил 18,3 и 20,0 %.

**Ключевые слова:** автотранспорт; выбросы; загрязнение атмосферного воздуха; интенсивность движения.

## THE IMPACT OF MOTOR VEHICLE EMISSIONS VARIOUS TRAFFIC ON THE AIR THE CITY OF RYAZAN IN THE SPRING

A. M. TSURGAN<sup>a</sup>, A. A. DEMENTIEV<sup>a</sup>, A. A. LYAPKALO<sup>a</sup>, Yu. A. MAZHAYSKY<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Ryazan State Medical University after named I. P. Pavlov,  
9 Visokovoltnaja Street, Ryazan 390026, Russia

<sup>b</sup>Meshchersky branch of the VNIIGiM after named A. N. Kostakova,  
1A Meshcherskaya Street, Ryazan, 390021, Russia  
Corresponding author: A. M. Tsurgan ([alex.tsurgan@mail.ru](mailto:alex.tsurgan@mail.ru))

### Образец цитирования:

Цурган АМ, Дементьев АА, Ляпкало АА, Мажайский ЮА. Воздействие выбросов автотранспорта различной интенсивности движения на атмосферный воздух г. Рязани в весенний период. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2019;3:90–94.

### For citation:

Tsurgan AM, Dementiev AA, Lyapkalo AA, Mazhaysky YuA. The impact of motor vehicle emissions various traffic on the air the city of Ryazan in the spring. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2019;3:90–94. Russian.

### Авторы:

**Александр Михайлович Цурган** – кандидат медицинских наук; старший преподаватель кафедры общей гигиены.  
**Алексей Александрович Дементьев** – доктор медицинских наук, доцент; заведующий кафедрой общей гигиены.  
**Александр Андреевич Ляпкало** – доктор медицинских наук, профессор; профессор кафедры общей гигиены.  
**Юрий Анатольевич Мажайский** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; главный научный сотрудник.

### Authors:

**Alexandr M. Tsurgan**, PhD (medicine); senior lecturer at the department of general hygiene.  
[alex.tsurgan@mail.ru](mailto:alex.tsurgan@mail.ru)  
**Aleksey A. Dementiev**, doctor of science (medicine), docent; head of the department of general hygiene.  
[dementiev\\_a@mail.ru](mailto:dementiev_a@mail.ru)  
**Alexandr A. Lyapkalo**, doctor of science (medicine), full professor; professor at the department of general hygiene.  
[lyapkalo\\_a@mail.ru](mailto:lyapkalo_a@mail.ru)  
**Yury A. Mazhaysky**, doctor of science (agriculture), professor; chief researcher of the VNIIGiM after named A. N. Kostakova  
[director@mntc.pro](mailto:director@mntc.pro)

The article presents the results of daily and weekly monitoring of the length of traffic flows with speeds of 5–10 km/h (severe conditions) and emissions of vehicles on the streets and ring roads of Ryazan in the spring. The material of the study was cartographic data published in the public domain on the website [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru). Studies have shown that the cartographic method can be used to assess the anthropogenic impact of vehicles on the atmospheric air of settlements. At the same time, the formation of heavy transport conditions leads to a significant increase in anthropogenic air pollution of the city by vehicle emissions, especially in the morning and evening «rush hours», respectively 8 and 18 hours, on the streets at the end, and on the district roads in the middle of the working week. A significant increase in emissions of pollutants by road was revealed, the maximum values of which on separate stretches in the morning and evening “peak hours” can reach 20 and 40 % of the average emission, respectively. The largest increase in vehicle emission components was observed in the streets of the city centre and in the morning and evening “peak hours” averaged 18.3 and 20.0 %, respectively.

**Keywords:** motor transport; emissions; air pollution; traffic intensity.

## Введение

В городской инфраструктуре автомобильный транспорт является наиболее динамично развивающимся компонентом, что ведет к увеличению интенсивности движения на элементах улично-дорожной сети и нарастанию вклада его выбросов в загрязнение атмосферного воздуха [4; 6]. Неблагоприятное воздействие автотранспорта на атмосферный воздух и здоровье горожан усугубляется приземным характером его выбросов, плотной застройкой, затрудняющей рассеивание и рассредоточение элементов улично-дорожной сети города непосредственно в жилой зоне города [3].

Важным элементом оценки антропогенного воздействия автотранспорта на социозкосистему города является контроль транспортных условий на элементах улично-дорожной сети [1], однако при этом часто не учитывается скорость транспортных средств на элементе УДС, что может существенно снижать точность оценки величины эмиссии загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух с выбросами автотранспорта [2]. В связи с этим использование картографического метода исследования скоростных режимов транспортных потоков на магистралях является вполне обоснованным и актуальным.

Цель работы – оценка динамики интенсивности транспортных потоков и выбросов загрязняющих веществ автотранспортом в весенний период года на улицах г. Рязани и окружающих дорогах с использование картографического метода регистрации интенсивности транспортных потоков.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Изучение часовой динамики тяжелых транспортных условий (ТТУ).
2. Анализ дневной динамики ТТУ.
3. Определение доли участков автомагистралей с тяжелыми транспортными условиями.
4. Оценка изменения среднего выброса автотранспорта при нарушении тяжести транспортных условий.

## Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на территории г. Рязани – центра Рязанской обл., численность населения которого на 1 января 2019 г. составила 540 тыс. чел. [5].

Материалом исследования служили картографические данные, публикуемые в свободном доступе на сайте [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru). в г. Рязани. Нами определялась протяженность транспортных потоков со скоростями движения 5–10 км/час (тяжелые условия, цвет красный). Определялась длина участков с тяжелыми транспортными условиями в разное время суток: 1–6 ч (ночь), 7–12 ч (утро), 13–18 ч (день), 19–24 ч (вечер) и в разные дни недели. К пиковым значениям относились длины участков перегона с тяжелыми транспортными условиями, выходящие за доверительные интервалы их средних значений ( $p < 0,05$ ). Сравнительный анализ интенсивности движения в отдельные дни недели проводился по среднечасовой протяженности тяжелых транспортных условий на перегонах в указанный день недели в течение весеннего периода. Статистическая обработка осуществлялась методами дисперсионного и корреляционного анализа.

## Результаты исследования и их обсуждение

По данным мониторинга интенсивности движения, формирование тяжелых транспортных условий ТТУ на улицах города и окружающих дорогах в отдельные дни недели имело существенные отличия (рис. 1). Результаты исследования свидетельствуют, что на окружающих дорогах в первую половину недели среднечасовой показатель протяженности участков с ТТУ постепенно увеличивался с 0,636 км (в понедельник) до 1,335 км (в среду), затем наблюдалось его постепенное снижение до 0,992 км (в пятницу) и последующее резкое падение к выходным дням в 3,4–4,9 раза.

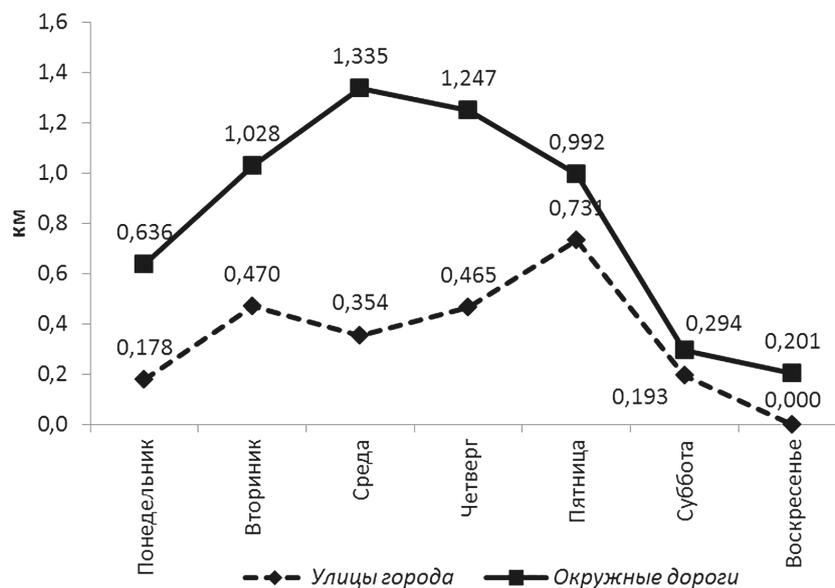


Рис. 1. Среднечасовая протяженность тяжелых транспортных условий на улицах города и окружных дорогах в разные дни недели

Fig. 1. The average hourly length of the heavy traffic conditions on the streets and ring roads on different days of the week

На улицах города в первые два дня недели регистрировалось существенное увеличение среднечасовой протяженности ТТУ (в 2,6 раза), со вторника по четверг ее значения колебались в пределах 0,354–0,470 км, а затем скачкообразно увеличились к пятнице до 0,731 км, достигнув своего максимума. В субботу вышеназванный показатель снизился в 3,8 раза и составил 0,193 км, тогда как в воскресенье ТТУ на улицах города не регистрировались. Выявленные отличия в формировании ТТУ на улицах города и окружных дорогах объясняется различным происхождением основных потоков автотранспорта. На окружных дорогах – это транзитный поток, рост которого к середине рабочей недели вполне закономерен и согласуется с увеличением деловой активностью. На улицах города (при той же закономерности) пятничный пик увеличения среднечасовой протяженности ТТУ можно объяснить стремлением горожан покинуть черту города и выехать в места отдыха перед выходными.

Среднечасовая протяженность ТТУ на окружных дорогах была выше, чем на улицах города (в рабочие дни в 1,4–3,8 раза), что свидетельствует о более интенсивном транспортном потоке, недостаточной пропускной способности ее отдельных участков, требующих модернизации.

Суточная динамика формирования тяжелых транспортных условий в рабочие и выходные дни имела свои особенности (рис. 2). В рабочие дни недели тяжелые транспортные условия на улицах города и окружных дорогах не регистрировались с 21 и с 23 ч соответственно и до 6 ч утра. При этом, наибольшая средняя протяженность участков с тяжелыми транспортными условиями наблюдалась в 8 и 18 ч, при на улицах города и окружных дорогах в утренний час пик она составила соответственно 2,6 и 2,1 км, а в вечерний – 1,8 и 3,6 км. Таким образом, в 8 ч средняя протяженность участков с тяжелыми транспортными условиями на улицах города незначительно превышала аналогичный показатель на окружных дорогах, тогда как в 18 ч средняя длина участков с ТТУ на окружных дорогах была в 2 раза больше, чем на улицах города ( $p < 0,05$ ).

В субботу тяжелые транспортные условия на улицах города регистрировались только с 9 до 16 ч, тогда как на окружных дорогах они наблюдались в более широком временном интервале (с 7 до 21 ч). Регистрировалось постепенное увеличение средней длины участков с ТТУ на улицах города с 9 до 13 ч (с 0,044 до 1,151 км) и последующее уменьшение их протяженности. На окружных дорогах в период с 7 до 16–17 ч наблюдалось менее выраженное увеличение длина участков с ТТУ (с 0,189 до 0,833 км), а затем их постепенное сокращение. По воскресеньям тяжелые транспортные условия на улицах города не регистрировались, поскольку на окружных дорогах средняя протяженность таких участков постепенно нарастала с 12 до 19 ч и составила 1,137 км. К 20 ч наблюдалось ее незначительное снижение (до 1,067 км), в последующий период ТТУ не фиксировались.

Между средней протяженностью участков с тяжелыми транспортными условиями на улицах города и окружных дорогах выявлена достоверная прямая корреляционная связь средней силы ( $r_{xy} = 647$ , при  $p < 0,05$ ), что свидетельствует о динамическом единстве автотранспортной системы города.

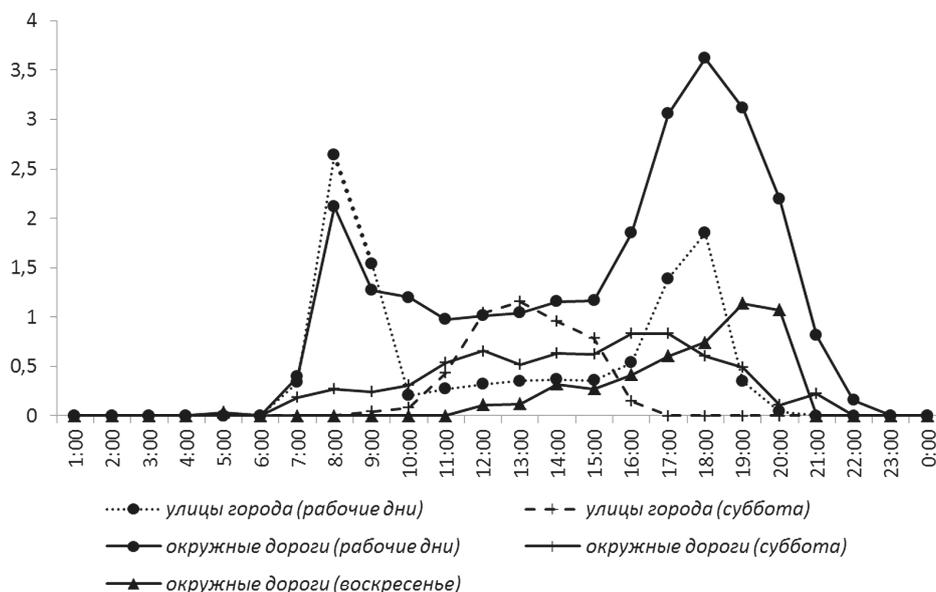


Рис. 2. Распределение участков с тяжелыми транспортными условиями в зависимости от времени суток (весенний период)

Fig. 2. Distribution of sites with heavy traffic conditions, depending on the time of day (spring)

Формирование тяжелых транспортных условий ведет к замедлению транспортного потока, формированию «автомобильных пробок» и увеличению воздействия выбросов автотранспорта на атмосферный воздух [2]. Нами был рассчитан относительный прирост выбросов основных компонентов отработанных газов автомобильного транспорта во время пиковых значений ТТУ с учетом их протяженности на улицах города и окружных дорогах (табл.).

При исследовании было выявлено, что наибольший прирост компонентов выбросов автотранспорта наблюдался на улицах центра города и составил в 8 и 18 ч 18,3 и 20,0 % соответственно. При этом наибольший прирост выбросов отмечался на ул. Есенина и составил в 8 и 18 ч 20 и 40 % соответственно. На втором месте по величине прироста выбросов автотранспорта находились окружные дороги. При этом на их перегонах в 8 ч утра относительный прирост выбросов автотранспорта составил 15,6 % и был в 1,3 раза выше, чем во время вечернего «часа пик». В ходе исследования установлено, что его наибольшее значение (20,0 %) в 8 ч утра было характерно и для Восточной окружной дороги, тогда как в 18 ч – для перегона Северной окружной дороги от поста ГИБДД до Касимовского шоссе.

В остальных районах города прирост выбросов компонентов отработанных газов автотранспорта в утренний и вечерний «часы пик» находился в пределах 9,0–10,8 % и 7,0–10,2 % соответственно. Обращает на себя внимание, что на Московском шоссе был более выражен утренний «час пик», во время которого эмиссия загрязняющих веществ от транспортного потока в атмосферный воздух выросла на 10,7 %, что в 4,9 раза выше, чем в 18 ч ( $p < 0,05$ ).

Таблица

**Относительный прирост выбросов основных загрязняющих веществ на перегонах улично-дорожной сети города в периоды пиковых значений протяженности тяжелых транспортных условий (в %)**

Table

**The relative increase in emissions of major pollutants on the sections of the urban road network during periods of peak values of the length of heavy traffic conditions (in%)**

| Расположение перегонов улично-дорожной сети | Время |       |
|---|-------|-------|
|   | 8:00  | 18:00 |
| Приокский и Канищево                        | 9,0   | 10,2  |
| Центр города                                | 18,3  | 20,0  |
| Дашково–Песочня                             | 10,8  | 7,0   |
| Московское шоссе                            | 10,7  | 2,2   |
| Окружные дороги                             | 15,6  | 12,0  |

## Заключение

По результатам исследования необходимо сделать следующие выводы:

1. Картографический метод исследования может быть использован для оценки антропогенного воздействия автотранспорта на атмосферный воздух населенных пунктов.
2. Формирование тяжелых транспортных условий ведет к существенному увеличению антропогенного загрязнения атмосферного воздуха города выбросами автотранспорта.
3. Периодами наиболее интенсивного воздействия автотранспортной системы города на атмосферный воздух следует считать утренний и вечерний «часы пик», 8 и 18 ч соответственно, на улицах города в конце, а на окружных дорогах в середине рабочей недели.
4. Утренний и вечерний «часы пик» были более выражены в течение рабочей недели, а дневной «час пик» чаще наблюдался в выходные дни.
5. Выявлен значительный прирост выбросов загрязняющих веществ автотранспортом, максимальные значения которого на отдельных перегонах в утренний и вечерний «часы пик» могут достигать 20 и 40 % от среднего выброса.
6. Наибольший прирост компонентов выбросов автотранспорта наблюдался на улицах центра города. В утренний и вечерний «час пик» в среднем он составил 18,3 и 20,0 % соответственно.

## Библиографические ссылки

1. Лыгин СА, Сафиуллин АР. Влияние автотранспорта на экологическое состояние атмосферного воздуха г. Бирска республики Башкортостан. *Инновации в науке*. 2018;1 (77): 25–27.
2. Цурган АМ, Деметьев АА. Транспортные развязки Северного обвода и шоссе М5: эколого-гигиенические аспекты. В: *Кирюшин ВА, редактор. Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения. Материалы 20-ой научно-практической конференции с международным участием*. Рязань: РязГМУ; 2016. Выпуск 20. с. 231–240.
3. Жарчинский НВ, Михневич ЕЛ. Влияние пропускной способности транспортной сети г. Томска на загрязнение атмосферного воздуха и оценка риска для здоровья населения. В: *Адам АМ, редактор. Экология и управление природопользованием. Сборник научных трудов Первой всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Томск: [б. н.]; 2017. Выпуск 1. с. 72–73.
4. Говорущенко НЯ. *Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте*. Москва: Транспорт; 1990.
5. *Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктов*: ГОСТ Р 56162-2014. Введение 01.07.2015. [Интернет]. [Процитировано 11 июля 2019 г.]. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200113823/>
6. Предварительная оценка численности населения Рязанской области на 1 января 2019 года и в среднем за 2018 год [Интернет]. [Процитировано 09 марта 2019 г.]. Доступно по: [http://ryazan.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/ryazan/resources/](http://ryazan.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/ryazan/resources/)

## References

1. Lygin SA, Safiullin AR. The influence of motor transport on the ecological state of the atmospheric air of the city of Birsk in the Republic of Bashkortostan. *Innovacii v nauke*. 2018;1(77): 25–27. Russian.
2. Curgan AM, Dementiev AA. [Traffic interchanges of the Northern bypass and the M5 highway: environmental and hygienic aspects]. In: *Kirushin VA, redactor. Social'no-gigienicheskij monitoring zdorov'ja naselenija. Materialy 20-j nauchno-prakticheskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. Rjazan': RjazGMU; 2016. Volume 20. p. 231–240. Russian.
3. Zharchinskij NV, Mihnevich EL. [Influence of throughput capacity of the Tomsk transport network on air pollution and risk assessment for public health]. In: *Adam AM, redactor. Jekologija i upravlenie prirodopol'zovaniem. Sboknik nauchnyh trudov Pervoi vsersijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. Tomsk: [publisher unknown]; 2017. Volume 1. p. 72–73. Russian.
4. Govorushhenko NJa. *Jekonomija topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte*. Moscow: Transport; 1990: 133. Russian.
5. GOST R 56162-2014[Internet]. *Vybrosy zagrjaznjajushhij veshhestv v atmosferu. Metod rascheta vy-brosov ot avtotransporta pri provedenii svodnyh raschetov dlja gorodskih naselennyh punktov*».[Cited 2019 Jul 11]. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200113823/> Russian.
6. *Predvaritel'naja ocenka chislenosti naselenija Rjazanskoj oblasti na 1 janvarja 2019 goda i v srednem za 2018 god* [A preliminary estimate of the population of the Ryazan region on January 1, 2019 and the average for 2018]. [Internet]. [Cited 2019 March 09]. Available from: [http://ryazan.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/ryazan/resources](http://ryazan.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/ryazan/resources). Russian.

Статья поступила в редколлегию 15.07.2019.  
Received by editorial board 15.07.2019.

---

---

# ЮБИЛЕИ

---

## JUBILEES

---

---



**Владимир Кириллович  
САВЧЕНКО**

**Uladzimir Kirylavich  
SAUCHANKA**

27 сентября 2019 г. исполняется 80 лет лауреату Государственной премии Беларуси, члену-корреспонденту НАН Беларуси, доктору биологических наук, профессору Владимиру Кирилловичу Савченко, внесшему крупный вклад в разработку проблем геномики, генетики, экологии, эволюции, глобалистики, философии и методологии науки.

Владимир Кириллович родился 27 сентября 1939 г. в селе Хмельное Буда-Кошелевского района Гомельской области. После окончания семилетки поступает в 1953 г. в Буда-Кошелевский лесной техникум, который с отличием заканчивает в 1957 г. В числе талантливых выпускников направляется в Белорусский технологический институт, который также заканчивает с красным дипломом в 1962 г. и рекомендацией для поступления в аспирантуру. В этом же году зачисляется в аспирантуру Института генетики и цитологии АН БССР. В 1966 г. защищает кандидатскую, а в 1977 г. – докторскую диссертации. С 1978 по 1990 гг. работает в должности заведующего лабораторией теоретической генетики ИГиЦ АН БССР, основанной академиком П. Ф. Рокицким. За

время работы в Институте генетики и цитологии (1963–1990, 2002–2007), секторе естественных наук ЮНЕСКО (1990–2002) и Института философии НАН Беларуси (2010–2018) В. К. Савченко вырос в крупного ученого, обогатившего отечественную и мировую науку трудами большой научной и практической значимости.

В 1963–1969 гг. В. К. Савченко совместно с членом-корреспондентом В. Е. Бормотовым проведена гибридизация диплоидных и тетраплоидных форм сахарной свеклы, изучена цитогенетическая структура и продуктивность гибридов, оценена комбинационная способность диплоидных сортов и тетраплоидных линий. На основе результатов этих исследований выработаны рекомендации по повышению эффективности селекции триплоидных гибридов, которые затем были реализованы в процессе выведения белорусских гибридов сахарной свеклы.

Предложенная В. К. Савченко система сетевых пробных скрещиваний (1975 г.) и разработанные для нее методы генетического анализа количественных признаков, включая компьютерные

программы, получили широкое распространение в странах СНГ и были использованы генетико-селекционными учреждениями при селекции на гетерозис 15 видов растений и нескольких видов животных. В составе коллектива авторов за цикл работ по проблеме гетерозиса В. К. Савченко в 1984 г. присуждена Государственная премия в области науки и техники Белорусской ССР.

В 1970–1977 гг. ученый выполнил теоретический анализ наследования генов в полиплоидных популяциях, а также влияние свободных скрещиваний и инбридинга на перестройку генетической структуры полиплоидных популяций. Изучил действие отбора при разной степени доминирования генов, провел сравнение эффективности действия отбора в диплоидных и полиплоидных популяциях. Построил генетические модели структуры количественных признаков для диплоидных и тетраплоидных популяций, анализ которых позволил установить генетические причины геномно-инженерного эффекта. Теоретически обосновал представление о геномной лабильности бисексуальных животных, являющейся основой быстрого изменения структуры кариотипа животных в процессе их эволюции и открывающей принципиальную возможность экспериментального манипулирования геномами животных. Во время стажировки в США (1981) разработал способ геномной инженерии модельного бисексуального вида *Drosophila melanogaster* (1982 г.), получил и стабилизировал обоеполюе линии дрозофилы, несущие в ядрах клеток удвоенное число хромосом.

В 1979–1990 гг. В. К. Савченко теоретически обосновал концепцию ассоциативного отбора и экспериментально доказал его высокую биологическую эффективность. В развитие идей о ведущей роли естественного отбора в эволюции он выделил интегративный, диссипативный, консервативный, конъюгативный, кумулятивный и эпигенезный эффекты естественного и искусственного ассоциативного отбора. Им предложена и теоретически обоснована концепция геносферы, коэволюционно и функционально взаимосвязанной генетической системы биосферы, обеспечивающей ее функционирование, воспроизводство и развитие во времени и поддерживающей устойчивость всей планетарной системы. В последние годы он разработал новую научную область – «ценогенетику» как генетику биотических сообществ и на основе трансдисциплинарного синтеза знаний основал «геогеномику», которая отвечает на вопрос как организована планетарная геносфера.

В 1970–1980 гг. вышли его публикации по истории генетики и философии биологии. С 2010 г. он работает главным научным сотрудником Института философии НАН Беларуси и совместно с коллегами из РАН разрабатывает актуальные проблемы

биоэтики генома человека, анализирует глобальные изменения, ищет пути предупреждения негативных последствий глобального экологического кризиса, развивает методологию междисциплинарных исследований.

С 1980 по 1990 гг. Владимир Кириллович являлся председателем Белорусского национального комитета по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАБ). В 1990 г. он приглашается на работу в качестве главного программного специалиста от Республики Беларусь в Сектор естественных наук Секретариата ЮНЕСКО в Париже. В его обязанности входит курирование деятельности Национальных комитетов по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАБ) в странах Центральной и Восточной Европы, Северной научной сети МАБ, включающей ученых из 10 развитых стран Европы и Америки. В это время основал и руководил работой Чернобыльской экологической научной сети ЮНЕСКО.

Проект организации и функционирования Сети был разработан В. К. Савченко с учетом опыта, накопленного Сектором естественных наук ЮНЕСКО в различных областях междисциплинарных исследований. Сеть координировала сотрудничество ученых Беларуси, России и Украины как между собой, так и с их коллегами из 19 стран Европы, Азии и Америки с целью комплексного изучения экологических аспектов катастрофы и разработки рекомендаций по преодолению ее негативных последствий. Результаты научных исследований по экологии Чернобыля были опубликованы в его монографии и 4 сборниках научных трудов в Минске, Москве, Нью-Йорке, Лондоне, Венеции, закрепив за Национальной академией наук Беларуси международное научное лидерство по этой проблеме. Изданием научной Сети являлся «Чернобыль дайджест» – междисциплинарный сборник реферативной и обзорной информации по проблемам Чернобыля, регулярно выходивший с 1991 г. при поддержке ЮНЕСКО на русском и английском языках в Институте генетики и цитологии НАН Беларуси.

В рамках Чернобыльской программы ЮНЕСКО Владимиром Кирилловичем проведена большая работа по мобилизации внебюджетных средств с целью оказания помощи пострадавшим районам Беларуси, России и Украины. Они были использованы для поставок медицинского оборудования, транспортных средств, лекарств, а также строительства 9 центров психологической реабилитации пострадавшего населения на загрязненных территориях.

Опираясь на данные междисциплинарного синтеза, им выдвинута системная концепция экологических последствий катастрофы и их многообразных долгосрочных последствий. Она допол-

няет ведомственную «локально-аварийную» схему и опирается на научные выводы, обоснованные в Национальных академиях наук Беларуси, Украины и Российской академии наук, поддерживается международным научным сообществом и государственными комитетами по экологии Чернобыля трех стран. Особые отношения сложились с МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. ЮНЕСКО поддержала придание ему международного статуса, организовала кафедру ЮНЕСКО и регулярно передавала в библиотеку научные труды.

В 1969–1978 гг. В. К. Савченко читал курсы лекций студентам Белорусского государственного университета, выступал перед аспирантами и соискателями биологических и химических институтов академии наук, а также слушателями школ по использованию математических методов в генетике и селекции в странах СНГ. Состоял членом Ученых советов по защите диссертаций в Институте генетики и цитологии и Институте философии НАН Беларуси, биологическом факультете БГУ и Международном государственном экологическом университете имени А. Д. Сахарова. Под руководством В. К. Савченко подготовлены и защищены 8 кандидатских диссертаций, а три сотрудника возглавляемой им в течение 12 лет лаборатории теоретической генетики, защитили докторские диссертации.

В. К. Савченко работал вице-президентом и ученым секретарем Белорусского общества генетиков и селекционеров (1966–1988 гг.), был членом Национальной комиссии Беларуси по делам ЮНЕСКО (1980–1990 гг.), членом президиума Белорусского комитета защиты мира (1980–1990 гг.), а также членом Нью-Йоркской академии наук, Московского общества естествоиспытателей и Американской ассоциации развития науки (AAAS).

Автор более 400 научных работ, включая 12 индивидуальных монографий (4 изданы за рубежом на английском языке и 1– на русском), 6 коллективных монографий, 3 изобретения. Имеет международные награды: медаль «500 Founders of the 21<sup>st</sup> Century» Международного биографического центра (Кембридж, Англия, 2003) и медаль «Great Minds of the 21<sup>st</sup> Century». Американского биографического института (США, 2003). Награжден медалью ВДНХ СССР, Почетной грамотой Президиума Верховного Совета БССР, медалями и Почетными грамотами Президиума и Отделения биологических наук НАН Беларуси.

Свой очередной юбилей Владимир Кириллович Савченко встречает полный новых идей и планов. Пожелаем ему крепкого здоровья и новых творческих успехов.

*Ерошов А. И.*, доктор биологических наук, профессор, академик Международной академии экологии, профессор кафедры социально-гуманитарных наук и устойчивого развития

*Гончарова Н. В.*, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой ЮНЕСКО

*Мишаткина Т. В.*, кандидат философских наук, доцент, профессор кафедры социально-гуманитарных наук и устойчивого развития.

## СОДЕРЖАНИЕ

### СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

|  |   |
|--|---|
| <i>Гончарова Н. В.</i> Проект ЮНЕСКО «Национальная школа-лаборатория по биоэтике для школьников – инструмент реализации Повестки 2030 в Республике Беларусь» ..... | 4 |
|--|---|

### ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

|   |    |
|---|----|
| <i>Позняк С. С., Прудникова К. А., Конопелько О. М., Хох А. Н.</i><br>Перспективы мониторинга состояния природной среды с использованием спорово-пыльцевых зерен растений Республики Беларусь ..... | 9  |
| <i>Сыса А. Г., Держанская А. В.</i> Биоиндикация антропогенного эвтрофирования водоемов Могилевской области .....   | 18 |
| <i>Толкач Г. В., Токарчук С. М., Жук А. Л., Куцко К. Э.</i><br>Изучение и визуализация данных содержания частиц микропластика в водоемах города Бреста с использованием ГИС-технологий .....        | 32 |

### РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

|  |    |
|--|----|
| <i>Киевицкая А. И.</i> Исследования нейтронно-физических характеристик подкритических систем на стенде «Яліна» ..... | 41 |
|--|----|

### МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

|  |    |
|--|----|
| <i>Батян А. Н., Костецкая Т. В., Лемешевский В. О.</i> Эпидемиологические аспекты заболеваемости раком молочной железы в Республике Беларусь .....                         | 51 |
| <i>Марчук И. Н., Смолякова Р. М., Шпадарук Е. М., Прокапук А. И.</i><br>Иммуногистохимическая характеристика молекулярно-биологических подтипов рака молочной железы ..... | 58 |

### ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

|   |    |
|---|----|
| <i>Самусик Е. А., Марчик Т. П., Головатый С. Е.</i><br>Полифенолоксидазная и пероксидазная активность дерново-подзолистых почв в условиях воздействия выбросов предприятия по производству строительных материалов .....  | 65 |
| <i>Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Булавко Г. И., Антохина С. П., Коломиец Э. И., Алещенкова З. М.</i><br>Влияние минеральных и микробных удобрений на микробиоту субстрата под посадками генеративных растений голубики на выработанных торфяниках Беларуси ..... | 80 |
| <i>Цурган А. М., Дементьев А. А., Ляпкало А. А., Мажайский Ю. А.</i><br>Воздействие выбросов автотранспорта различной интенсивности движения на атмосферный воздух г. Рязани в весенний период .....  | 90 |

### ЮБИЛЕИ

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Владимир Кириллович Савченко ..... | 95 |
|------------------------------------|----|

## CONTENTS

### SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

*Goncharova N. V.* UNESCO project «National school-laboratory on bioethics for schoolchildren – instrument of implementing the Agenda 2030 in the Republic of Belarus» .....4

### THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

*Pazniak S. S., Prudnikova K. A., Konopelko O. M., Khokh A. N.* Perspectives of monitoring of the natural environment using spore-dusty grains of plants in the Republic of Belarus.....9

*Sysa A. G., Derzhanskaya A. V.* Bioindication of anthropogenic eutrophication of water resources in Mogilev region.....18

*Tolkach G. V., Tokarchuk S. M., Zhuk A. L., Kutsko K. E.* Study and visualization of microplastic particle content in reservoirs of the city of Brest using GIS-technologies .....32

### RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

*Kiyavitskaya H. I.* Neutronics investigation of subcritical systems at the Yalina facility .....41

### MEDICAL ECOLOGY

*Batyan A. N., Kosteckaya T. V., Lemiasheuski V. O.* Epidemiological aspects of breast cancer incidence in Republic of Belarus.....51

*Marchuk I. N., Smolyakova R. M., Shpadaruk E. M., Prokapuk A. I.* Immunohistochemical characteristics of molecular-biological subtypes of breast cancer.....58

### INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

*Samusik E. A., Marchyk T. P., Golovatyi S. E.* Polyphenol oxidase and peroxidase activity of sod-podzolic soils under the impact of the emissions of a plant producing construction materials....65

*Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Bulavko G. I., Antokhina S. P., Kolomiets E. I., Aleschenkova Z. M.* Effect of mineral and microbial fertilizers on the substrate microbiote under landing of generative plants of blueberries on the worked peatland of Belarus.....80

*Tsurgan A. M., Dementiev A. A., Lyapkalo A. A., Mazhaysky Yu. A.* The impact of motor vehicle emissions various traffic on the air the city of Ryazan in the spring....90

### JUBILEES

Uladzimir Kirylavich Sauchanka .....95

*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. 2019**

Учредитель:  
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,  
220030, Минск.

Почтовый адрес: ул. Долгобродская, 23/1,  
220070, Минск.

Тел. 398-89-34, 398-93-44.

E-mail: [jecology@bsu.by](mailto:jecology@bsu.by)

«Журнал Белорусского государственного  
университета. Экология» издается с сентября 2017 г.  
До августа 2017 г. выходил под названием  
«Экологический вестник»  
(ISSN 1994-2087).

Редактор *Л. М. Корневская*  
Технический редактор *М. Ю. Мошкова*  
Корректор *М. Ю. Мошкова*

Подписано в печать 20.09.2019.  
Тираж 100 экз. Заказ 359.

Республиканское унитарное предприятие  
«Информационно-вычислительный центр  
Министерства финансов Республики Беларусь»  
ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014.  
Ул. Кальварийская, 17, 220004, Минск.

© БГУ, 2019

**Journal  
of the Belarusian State University. Ecology.  
No. 3. 2019**

Founder:  
Belarusian State University

Registered address: 4 Niezaliežnasci Ave.,  
220030, Minsk.

Correspondence address: 23/1 Dajhabrodskaja Str.,  
220070, Minsk.

Tel. 398-89-34, 398-93-44.

E-mail: [jecology@bsu.by](mailto:jecology@bsu.by)

«Journal of the Belarusian State University. Ecology»  
published since September, 2017.  
Until August, 2017 named «*Ekologičeskii vestnik*»  
(ISSN 1994-2087).

Editor *L. M. Korenevskaya*  
Technical editor *M. Yu. Moshkova*  
Proofreader *M. Yu. Moshkova*

Signed print 20.09.2019.  
Edition 100 copies. Order number 359.

RUE "Information Computing Center of the Ministry  
of Finance of the Republic of Belarus".  
License for publishing No. 02330/89, 3 March, 2014.  
17 Kalvaryjskaya Str., 220004, Minsk.

© BSU, 2019