



ИБ ФИЦ Коми  
НЦ УрО РАН

# ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ: проблемы и пути их решения

---

КНИГА 1



Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Вятский государственный университет»  
(Киров, Россия)

Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук  
(Сыктывкар, Россия)

Ляонинский институт науки и технологии  
(Бэньси, провинция Ляонин, КНР)

## **ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Материалы  
II Международной научно-практической конференции  
23–24 апреля 2025 г.

Книга 1

Киров, 2025

УДК 504.06(470.342)(082)  
ББК 20.1+74.200.57  
Э 400

Печатается по рекомендации Научного совета ВятГУ

**Ответственный редактор:**

**Т. Я. Ашихмина**, д-р техн. наук, профессор, зав. НИЛ биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Вятского государственного университета

**Редакционная коллегия:**

**И. Ф. Чадин**, директор, канд. биол. наук, **С. Г. Литвинец**, проректор, канд. с.-х. наук, **Л. И. Домрачева**, профессор, д-р биол. наук, **Л. В. Кондакова**, профессор, д-р биол. наук, **А. С. Олькова**, профессор, д-р биол. наук, **И. Г. Широких**, в. н. с., д-р биол. наук, **Т. А. Адамович**, доцент, канд. геогр. наук, **Е. В. Береснева**, профессор, канд. пед. наук, **Е. В. Дабах**, с. н. с., канд. биол. наук, **М. А. Зайцев**, доцент, канд. пед. наук, **Г. Я. Кантор**, с. н. с., канд. техн. наук, **Е. А. Клековкина**, н. с., доцент, канд. геогр. наук, **Т. И. Кутявина**, с. н. с., канд. биол. наук, **С. В. Пестов**, н. с., доцент, канд. биол. наук, **В. В. Рутман**, м. н. с., **В. М. Рябов**, старший преподаватель, **Е. В. Рябова**, доцент, канд. биол. наук, **М. Л. Сазанова**, н. с., доцент, канд. биол. наук, **Н. В. Сырчина**, доцент, канд. хим. наук, **Е. В. Товстик**, доцент, канд. биол. наук, **А. И. Фокина**, доцент, канд. биол. наук, **О. В. Чернова**, доцент, канд. хим. наук, **С. В. Шабалкина**, доцент, канд. биол. наук.

Э 400      Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы II Международной научно-практической конференции. Книга 1. (г. Киров, 23–24 апреля 2025 г.). – Киров : Вятский государственный университет, 2025. – 380 с.

ISBN 978-5-98228-288-0 (Книга 1)  
ISBN 978-5-98228-290-3

В книге 1 сборника материалов II Международной научно-практической конференции «Экология родного края: проблемы и пути их решения» представлены результаты научных исследований и разработок в области экологии, работы по химии и экологии почв, экологическим аспектам обращения с отходами производства и потребления. Рассмотрены экологические проблемы регионов России и других стран и возможные пути их решения. Обсуждаются вопросы социальной экологии, экологического образования, воспитания и просвещения.

Сборник материалов конференции предназначен для научных работников, преподавателей, специалистов природоохранных служб и ведомств, аспирантов, студентов высших учебных заведений.

За достоверность сведений, изложенных в материалах конференции, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Благодарим руководство филиала «КЧХК» АО «ОХК «УРАЛХИМ» в г. Кирово-Чепецке за партнерство и сотрудничество.

УДК 504.06(470.342)(082)  
ББК 20.1+74.200.57

ISBN 978-5-98228-288-0 (Книга 1)  
ISBN 978-5-98228-290-3

© Вятский государственный университет  
(ВятГУ), 2025

Federal State Budgetary Educational Institution  
of Higher Education  
Vyatka State University  
(Kirov, Russia)

Institute of Biology of Komi Scientific Center  
of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
(Syktyvkar, Russia)

Liaoning Institute of Science and Technology  
(Benshi, Liaoning Province, PRC)

# **HOME COUNTRY ECOLOGY: PROBLEMS AND SOLUTIONS**

Proceedings  
of the II International Scientific and Practical Conference  
April 23–24, 2025

Chapter 1

Kirov, 2025

УДК 504.06(470.342)(082)  
ББК 20.1+74.200.57  
H 76

Printed on the recommendation of the Scientific Council of VyatSU

**Responsible editor:**

**T. Ya. Ashikhmina**, Dr. of Engineering, Professor, Head of Biomonitoring Research Laboratory of the Institute of Biology of Komi Scientific Center of Ural branch of RAS and Vyatka State University.

**Editorial Board:**

**I. F. Chadin**, Director, Ph.D. in Biology, **S. G. Litvinets**, Vice-Rector, Ph.D. in Agricultural Sciences, **L. I. Domracheva**, Professor, Dr. of Biology, **L. V. Kondakova**, Professor, Dr. of Biology, **A. S. Olkova**, Professor, Dr. of Biology, **I. G. Shirokikh**, Leading Researcher, Dr. of Biology, **T. A. Adamovich**, Associate Professor, Ph.D. in Geography, **E. V. Beresneva**, Professor, Ph.D. in Pedagogic, **O. V. Chernova**, Associate Professor, Ph.D. in Chemistry, **E. V. Dabakh**, Senior Scientist, Ph.D. in Biology, **A. I. Fokina**, Associate Professor, Ph.D. in Biology, **G. Y. Kantor**, Senior Researcher, Ph.D. in Engineering, **E. A. Klekovkina**, Researcher, Associate Professor, Ph.D. in Geography, **T. I. Kutyavina**, Senior Scientist, Ph.D. in Biology, **S. V. Pestov**, Researcher, Associate Professor, Ph.D. in Biology, **V. V. Rutman**, Junior Researcher, **V. M. Ryabov**, Senior Lecturer, **E. V. Ryabova**, Associate Professor, Ph.D. in Biology, **M. L. Sazanova**, Researcher, Associate Professor, Ph.D. in Biology, **S. V. Shabalkina**, Associate Professor, Ph.D. in Biology, **N. V. Syrchina**, Associate Professor, Ph.D. in Chemistry, **E. V. Tovstik**, Associate Professor, Ph.D. in Biology, **M. A. Zaitsev**, Associate Professor, Ph.D. in Pedagogic.

H 76      Home Country Ecology: Problems and Solutions : Proceedings of the II International Scientific & Practical Conference. Chapter 1. (Kirov, April 23–24, 2025). – Kirov : Vyatka State University, 2025. – 380 p.

ISBN 978-5-98228-288-0 (Chapter 1)

ISBN 978-5-98228-290-3

Book 1 of the Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference “Home Country Ecology: problems and solutions” presents the results of scientific research and development in the field of ecology, papers on the soil chemistry and ecology, environmental aspects of production and consumption waste management. Environmental problems of the Russian regions and other countries and possible solutions are considered. The questions of social ecology, ecological education, upbringing and enlightenment are discussed.

The conference proceedings are intended for researchers, teachers, specialists of environmental services and departments, postgraduates, students of higher educational institutions.

The authors are responsible for the accuracy of the information contained in the conference proceedings. The opinion of the editorial board may not coincide with the opinion of the authors.

We would like to thank the management of the KCChK Branch of JSK URALCHEM in Kirovo-Chepetsk for partnership and cooperation.

УДК 504.06(470.342)(082)  
ББК 20.1+74.200.57

ISBN 978-5-98228-288-0 (Chapter 1)  
ISBN 978-5-98228-290-3

© Vyatka State University (VyatSU), 2025

# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ 1 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

|                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Хомяков Д. М.</b> Агроэкологические проблемы Нечерноземной зоны России .....                                                                                                                                                     | 11 |
| <b>Дабах Е. В., Бусыгин А. С.</b> О проблеме постагрогенных земель в Кировской области .....                                                                                                                                        | 17 |
| <b>Скребенков Е. А., Лиханова И. А., Холопов Ю. В., Денева С. В., Рудь А. А., Лаптева Е. М.</b> Углерод в почвах на двучленных отложениях: содержание, профильное распределение, запасы.....                                        | 22 |
| <b>Филимонова А. В.</b> Сезонная динамика содержания органического углерода в дерново-подзолистых почвах со вторым гумусовым горизонтом.....                                                                                        | 26 |
| <b>Кубик О. С., Шамрикова Е. В., Денева С. В.</b> Качественный и количественный состав низкомолекулярных органических соединений прибрежных почв Российской Арктики.....                                                            | 32 |
| <b>Лю-Лян-Мин Е. И., Шамрикова Е. В., Груздев И. В., Жангуров Е. В.</b> Фракционирование и определение липидных компонентов в почвах.....                                                                                           | 35 |
| <b>Шахтарова О. В., Денева С. В., Лаптева Е. М.</b> Концентрация макро- и микроэлементов в структурных компонентах почв северной лесотундры (юго-восток Большеземельской тундры) .....                                              | 39 |
| <b>Прокашев А. М., Ананченко Б. А., Матушкин А. С., Пупышева С. А., Чендев Ю. Г.</b> Некоторые особенности почв приречных экотонов малых и средних рек юга Вятского края .....                                                      | 45 |
| <b>Дабах Е. В.</b> Почвообразование на гипсодержащих отходах химического производства .....                                                                                                                                         | 48 |
| <b>Смотрина Ю. А., Скребенков Е. А., Бондаренко Н. Н., Холопов Ю. В., Лаптева Е. М., Далькэ И. В., Захожий И. Г.</b> Влияние инвазии <i>Heraclеum sosnowskyi</i> на физические свойства дерново-подзолистых почв средней тайги..... | 53 |
| <b>Михалицына Ю. С., Погудина Я. П.</b> Исследование возможности использования золы уноса ТЭЦ в качестве удобрения .....                                                                                                            | 57 |

## СЕКЦИЯ 2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНОВ, ПУТИ РЕШЕНИЯ

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Пугач В. Н., Литвинец С. Г., Ашихмина Т. Я.</b> Наукоемкость региона, научные направления, приоритетные проекты: проблемы и пути развития ..... | 62 |
| <b>Сафонов А. И.</b> Опыт проведения мониторинга в современных условиях Донбасса: критерии региональной фитоиндикации .....                        | 69 |



|                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Пересторонин В. П.</b> Научно-практические подходы по обращению с твердыми коммунальными отходами в Кировской области .....                                                                                                    | 73  |
| <b>Ms. Sameeksha Patidar</b> The role of soil chemistry in carbon sequestration and climate change mitigation .....                                                                                                               | 79  |
| <b>Mr. Tejas Jha, Dr. Seema Sharma</b> Thermodynamics of climate change: energy transfer in the atmosphere.....                                                                                                                   | 86  |
| <b>Лавров Д. А., Хомяков М. Д.</b> Роль землеустройства в решении региональных ресурсно-экологических проблем.....                                                                                                                | 89  |
| <b>Михалицына Ю. С., Ковтун Е. А.</b> Оценка влияния золоотвалов теплоэлектростанций на загрязненность водных объектов на примере золоотвала ТЭЦ-5 г. Кирова .....                                                                | 94  |
| <b>Позднякова Т. М., Ревуцкая И. Л.</b> Экологические риски для поверхностных водотоков Еврейской автономной области в условиях развития добывающих производств .....                                                             | 98  |
| <b>Вершинин А. А., Утомбаева А. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Кузнецова Т. В., Каримуллин Л. К., Князев И. В., Петров А. М.</b> Динамика микробного углерода в процессе рекультивации загрязненной нефтью серой лесной почвы .....   | 103 |
| <b>Седукова Г. В.</b> Гумус как показатель, регулирующий поступление радионуклидов в зеленые корма .....                                                                                                                          | 107 |
| <b>Седукова Г. В., Кристова Н. В., Исаченко С. А., Радченко С. В.</b> Влияние удобрений на урожайность и поступление радионуклидов в зеленую массу сорго сахарного при возделывании на территории радиоактивного загрязнения..... | 111 |
| <b>Милейко А. А., Седукова Г. В., Кристова Н. В., Исаченко С. А.</b> Накопление $^{40}\text{K}$ и $^{137}\text{Cs}$ в надземных органах растений сорго зернового .....                                                            | 115 |
| <b>Кузнецов Д. А.</b> Реагентные методы контроля запаха побочных продуктов птицеводства .....                                                                                                                                     | 119 |
| <b>Рутман В. В., Трапицын М. А., Скугорева С. Г.</b> Оценка состояния родников г. Кирова за период с 2010 по 2024 гг. ....                                                                                                        | 123 |
| <b>Пилип Л. В., Пилип П. А., Ашихмина Т. Я.</b> Передовая технология переработки побочных продуктов животноводства .....                                                                                                          | 127 |
| <b>Карпенко А. Ф.</b> О водопотреблении молокоперерабатывающей промышленностью Беларуси.....                                                                                                                                      | 130 |
| <b>Ефимова Т. Н., Шведова Т. Е.</b> Организация и функционирование городских особо охраняемых природных территорий на примере города Йошкар-Олы .....                                                                             | 134 |
| <b>Санин А. Ю.</b> Регулируемое развитие внутреннего туризма в Прионежье как один из способов решения экологических проблем региона .....                                                                                         | 140 |
| <b>Соловьев А. Н.</b> Об эффективности «Красной книги» в сохранении флоры и фауны.....                                                                                                                                            | 145 |
| <b>Домуладжанов И. Х., Домуладжанова Ш. И., Исмаилов Н. Р.</b> О социальных и экологических проблемах Ферганской долины.....                                                                                                      | 151 |

### СЕКЦИЯ 3 ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

|                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Sandesh Kumar Daftari</b> Sustainable pharmaceutical waste management: research-driven solutions for environmental protection.....                                                                                                  | 156 |
| <b>Komal Padme</b> Eco friendly packaging solution for pharmaceutical product: A sustainable approach .....                                                                                                                            | 161 |
| <b>Максимов И. С., Беляев А. А., Бродский В. А.</b> Комбинированная экстракционно- электрохимическая технология разделения редкоземельных элементов из промышленного сырья.....                                                        | 165 |
| <b>Чаусов Ф. Ф., Ломова Н. В., Пастухова Н. Н., Шумилова М. А., Казанцева И. С., Аверкиев И. К.</b> Прямое восстановление меди из отходов гальванохимических производств .....                                                         | 169 |
| <b>Чаусов Ф. Ф., Шумилова М. А.</b> Соли дикарбоновых кислот как реагенты-осадители меди из гальванических отходов .....                                                                                                               | 173 |
| <b>Ярусова С. Б., Гордиенко П. С., Андрющенко Э. Н., Шлык Д. Х., Сушков Ю. В., Замараева А. В.</b> Автоклавная переработка отходов борного производства.....                                                                           | 177 |
| <b>Чулков С. А., Широкова Е. С., Земцова Е. А., Торопов А. Н.</b> Изучение возможности применения отработанных масел в рецептуре компаунда на основе стирольного термоэластопласта.....                                                | 181 |
| <b>Liu T.</b> Preparation, characterization, and experimental study on the properties of palladium copper nanocatalysts .....                                                                                                          | 185 |
| <b>Yan J., Wang Z., Chen Y.</b> Controllable hydrothermal synthesis of nickel phosphide micro-nano materials and their photocatalytic degradation performance .....                                                                    | 193 |
| <b>Wang T., Yu H. Y., Liu T.</b> Research on the treatment of high-concentration organic wastewater from breweries using the sequential batch reactor (SBR) process.....                                                               | 197 |
| <b>Штин А. В., Логинова Е. А., Шрейдер А. Д.</b> Исследование факторов, влияющих на эффективность компостирования при утилизации органической фракции твердых коммунальных отходов.....                                                | 201 |
| <b>Шибeka Л. А., Доминиковская И. В.</b> Перспективы переработки отхода производства сахара в компост.....                                                                                                                             | 205 |
| <b>Жмакова Н. А., Макарова Н. Л.</b> Отходы табачных фабрик Беларуси и направления их использования .....                                                                                                                              | 208 |
| <b>Песцов Г. В., Прокудина О. В., Мягкова А. С., Третьякова А. В., Воронцов В. С.</b> Культивирование мицелия грибов <i>Flammulina velutipes</i> и <i>Lentinula edodes</i> на питательных средах с добавлением банановых отходов ..... | 213 |
| <b>Прохоров И. А., Сырчина Н. В.</b> Оптимизация расходов на переработку побочных продуктов животноводства и осадков сточных вод в органоминеральные удобрения .....                                                                   | 217 |



|                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Товстик Е. В., Надейкина А. П., Шуплецова О. Н.</b> Валидация методики определения содержания полифенолов в семенной оболочке зерновки овса..... | 222 |
| <b>Миндубаев А. З.</b> Что собой представляет биodeградация? .....                                                                                  | 226 |

#### СЕКЦИЯ 4

#### НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИИ

|                                                                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Li X. H., Hu W. H., Sun D.</b> Degradation of ciprofloxacin by activating molecular oxygen with sustained-release ferrous ion.....                                                                                        | 231 |
| <b>Jiang C., Wang X., Tong Y., Wang B.</b> Study on thioetherification of $\alpha$ -phenylethylamine via C–H bond activation as environmentally friendly approach.....                                                       | 234 |
| <b>Zhang Y., Luo X. D., Wang K. Y., E Y. S., Li X. H., Zhang H. M., Liu J. Y.</b> A theoretical study on the second-order nonlinear optical properties based on Ru(II) complexes with sulfur-bridged terpyridyl ligands..... | 244 |
| <b>E Y. S., Miao C. S.</b> Preparation and properties of silicon copolycarbonate as a new type of environmentally friendly flame retardants .....                                                                            | 248 |
| <b>Fu D., Sun D., Tan W. Q., Wang Z. Q., Lian L.</b> Research progress of passive micromixer.....                                                                                                                            | 251 |
| <b>Ревякина К. В., Тарасов С. Е., Плеханова Ю. В., Быков А. Г., Хохлова Г. В., Вайнштейн М. Б., Решетилов А. Н.</b> Микробный топливный элемент на основе бактерий <i>Rhodococcus</i> и <i>Glucanobacter</i> .....           | 255 |
| <b>Ломова Н. В., Чаусов Ф. Ф., Исупов Н. Ю., Шелковников Е. Ю.</b> Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия в инертных газовых средах – метод исследования чувствительных и метастабильных образцов .....                 | 260 |
| <b>Хузиахметов Р. Х., Сучков Е. А., Печенкин А. Д.</b> Термическая переработка фосфоритов различных месторождений с использованием отходов производств и оценка агрохимической эффективности получаемых термофосфатов.....   | 264 |
| <b>Шеромов А. М., Олькова А. С., Корякина А. С.</b> Влияние кислотности почвы, загрязненной цинком и медью, на ее токсикологические свойства.....                                                                            | 269 |
| <b>Липатников В. А., Соловьёва Е. С., Бякова П. Д.</b> Использование синтетических красителей на примере ализаринового желтого GG в производстве медицинских препаратов .....                                                | 273 |
| <b>Yang C., Fomin S. V., Shirokova E. S.</b> The possibility of replacing the primary butyl rubber with a reclaimed rubber while maintaining acceptable levels of technological and operational properties .....             | 276 |
| <b>Муравьева А. И., Фокина А. И.</b> Физико-химические свойства масляных экстрактов зверобоя.....                                                                                                                            | 280 |
| <b>Топорова Д. М., Козачок С. С., Фокина А. И.</b> Разработка рецептур гелей медицинского назначения на основе лабазника вязолистного.....                                                                                   | 282 |

|                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Фокина А. И., Киреева А. Р., Харина С. А., Шишкина В. В., Измestьев Е. С.</b> Свойства жировосковых композиций со смолой ели как основы для лекарственных карандашей .....                          | 285 |
| <b>Чемерис О. В.</b> Активность внеклеточных целлюлаз штаммов <i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr. при жидкофазном культивировании на древесных опилках .....                                                | 288 |
| <b>Федина В. В., Алферов С. В.</b> Каталитическая активность уксуснокислых бактерий <i>Glucanobacter oxydans</i> на разных стадиях роста для оптимизации функционирования биотопливного элемента ..... | 291 |
| <b>Сафонов А. И., Гермонова Е. А.</b> Краткосрочный прогноз фактора полемостресса в Донбассе на 2025–2027 годы .....                                                                                   | 297 |

## СЕКЦИЯ 5

### ЦИФРОВИЗАЦИЯ: НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

|                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Wang J., Gao W.</b> Hyperspectral imaging combined with deep learning models for the prediction of geographical origin and fungal contamination in millet .....                               | 302 |
| <b>Яворский А. Р., Бродский В. А., Гордионюк И. А., Василенко В. А.</b> VI-системы для мониторинга и повышения эффективности процессов очистки сточных вод на промышленных объектах .....        | 306 |
| <b>Гордионюк И. А., Бродский В. А., Яворский А. Р., Лебедев А. Е., Василенко В. А.</b> Подходы к созданию базы данных для автоматического проектирования систем переработки жидких отходов ..... | 312 |

## СЕКЦИЯ 6

### СОЦИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Dr. Rohan Singh Kushwah. PT</b> Social ecology and public health: an interdisciplinary approach to sustainable well-being .....                                                                | 317 |
| <b>Dr. Fiona Edwards (P.T)</b> Optimizing nutrition and lifestyle in polycystic ovary disorder (PCOD): a comprehensive approach to women's health .....                                           | 320 |
| <b>Калинина Н. И., Дубровская Е. Н., Костина К. Е.</b> Характеристика электромагнитных излучений, создаваемых в окружающей среде земными станциями спутниковой связи .....                        | 323 |
| <b>Сычёва В. А., Товстик Е. В., Шеромов А. М., Козвонин В. А., Олькова А. С.</b> Антимикробная активность тетрациклина в сочетании с фитохимическими веществами и растительными экстрактами ..... | 328 |
| <b>Никитенко Е. П., Копылова Е. А.</b> Личные электронные кабинеты студентов по здоровью и физическому развитию в системе высшего образования .....                                               | 331 |
| <b>Алексеев И. А., Чернова О. В.</b> Анализ содержания витаминов группы В в плодах шиповника и препаратах на его основе .....                                                                     | 335 |

## СЕКЦИЯ 7 ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ВОСПИТАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b><i>Pooja Bhalerao</i></b> Transformative pedagogies in environment education:<br>A confluence of project-based learning and technology integration.....                                                                                        | 339 |
| <b><i>Li Chen, Suwaree Yordchim, Suphat Sukamolson</i></b> The construction<br>of college English speaking ecological classroom from the perspective<br>of ecolinguistics – a case study of Liaoning Institute of Science and<br>Technology ..... | 344 |
| <b><i>Кузменко М. О., Тапорчикова М. В., Писаренко В. Ф.</i></b><br>Актуальные аспекты экологического воспитания обучающихся.....                                                                                                                 | 351 |
| <b><i>Кондакова Л. В., Ашихмина Т. Я.</i></b> Государственный природный<br>заповедник «Нургуш» – центр формирования экологической культуры<br>подростающего поколения.....                                                                        | 354 |
| <b><i>Чайковская В. А., Даровских Л. В., Береснева Е. В.</i></b><br>Использование дидактических игр с химико-экологическим содержанием<br>как средства мотивации учащихся к химии.....                                                            | 356 |
| <b><i>Лункашу Е. И., Даровских Л. В., Береснева Е. В.</i></b><br>Развитие познавательной активности школьников при изучении химии<br>через экологические задания в процессе групповой работы .....                                                | 360 |
| <b><i>Опарина Д. В., Береснева Е. В., Даровских Л. В.</i></b><br>Использование технологии критического мышления<br>при решении химико-экологических проблем на уроках химии в школе.....                                                          | 366 |
| <b><i>Ярусова С. Б., Иваненко Н. В.</i></b> Базовая кафедра экологии и<br>экологических проблем химической технологии<br>Владивостокского государственного университета:<br>итоги десятилетней деятельности .....                                 | 369 |
| <b><i>Джурабаева Х. Н., Сафарзода Г., Зувайдуллоев Ф. З.</i></b><br>Из опыта формирования экологической культуры студентов<br>в Институте энергетики Таджикистана.....                                                                            | 374 |

## СЕКЦИЯ 1 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

### АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

*Д. М. Хомяков*

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия, khot@bk.ru*

В статье определены, выделены и обсуждены некоторые аспекты развития сельского хозяйства Нечерноземной зоны РФ. Оценен ее потенциал при изменении природных и социально-экономических условий. Дано определение агроэкологии, основанное на подходах ФАО ООН. Подчеркнута роль землеустройства и цифровых систем в устойчивом развитии АПК.

Ключевые слова: агроэкология, сельское хозяйство, почвенные ресурсы, землеустройство, информационные системы.

Существует база определений термина агроэкология, созданная ФАО ООН [1]. На наш взгляд, агроэкологию можно определить, как отрасль экологии, изучающей взаимодействие людей между собой и с окружающей средой в процессе ведения сельского хозяйства и обеспечения продовольственной безопасности. Основной объект исследований – экосистемы, функционирование которых поддерживается агрономическими мероприятиями. Частью таких систем являются: почва (почвенный покров) и человек (население во всем многообразии деятельности и возникающих отношений – экономических, социальных, правовых, технологических, научных и т. д.). Цель агроэкологических исследований – определение возможности и прогнозирование последствий достижения продовольственной безопасности, а также применения разных видов, способов и технологий сельскохозяйственного производства для природно-территориальных комплексов различного уровня, компонентов окружающей среды и биосферы в целом. Этот подход соответствует десяти выделенным компонентам агроэкологии, утвержденным Советом ФАО в 2019 г. [2].

Землями сельскохозяйственного назначения признаются земли, находящиеся за границами населенных пунктов, предоставленные для нужд сельского хозяйства или предназначенные для этих целей. Они выступают как основное средство производства в сельском хозяйстве, имеют особый правовой режим и подлежат особой охране, направленной на сохранение их площади,

предотвращение развития негативных процессов и повышение плодородия почв.

Сейчас в состав РФ входят 89 субъектов. По данным Государственного (национального) доклада о состоянии и использовании земель в РФ в 2023 г. [3] площадь земельного фонда на 01.01.2024 составила 1723399,1 тыс. га без учета внутренних морских вод и территориального моря. Сведения содержат характеристики земель 87 субъектов без учета площади земель Запорожской и Херсонской областей.

На 01.01.2024 площадь земель сельскохозяйственного назначения составила 374967,5 тыс. га. В сравнении с предшествующим годом площадь этой категории земель в составе земельного фонда РФ уменьшилась на 4167,2 тыс. га, что связано с переводом их в категорию земель лесного фонда. Наибольшее уменьшение площади земель сельскохозяйственного назначения отмечено в Красноярском крае – на 4289,8 тыс. га, Архангельской области – на 1500,5 тыс. га, Забайкальском крае – на 590,4 тыс. га.

За отчетный период общая площадь категории земель сельскохозяйственного назначения, не предоставленных в пользование и включенных в состав земель фонда перераспределения, уменьшилась на 3108,5 тыс. га и на отчетную дату составила 39211,7 тыс. га. Площадь сельскохозяйственных угодий, вошедших в фонд перераспределения, уменьшилась на 631,3 тыс. га и составила 10379,7 тыс. га, при этом площадь пашни уменьшилась на 134,3 тыс. га и составила 3025,6 тыс. га.

Площадь несельскохозяйственных угодий в структуре земель сельскохозяйственного назначения составила 174302,2 тыс. га. Земли, предоставленные для северного оленеводства, в составе земель сельскохозяйственного назначения занимали 101418,2 тыс. га. Площадь сельскохозяйственных угодий в составе категории земель сельскохозяйственного назначения составила 200665,3 тыс. га, из них пашня – 118605,4 тыс. га (31,6%).

Землеустройство является одним из основных институтов земельного законодательства. Отношения в области землеустройства направлены на обеспечение рационального использования и охрану земель, организацию сельских и иных территорий в целях устойчивого социального и экономического развития, а так же охраны окружающей среды.

Минсельхоз России 03.03.2025 разместил на портале [regulation.gov.ru](https://regulation.gov.ru) проект нового Федерального закона «О землеустройстве» (ID проекта 02/04/03-25/0015515). Цель инициативы – повысить эффективность использования сельскохозяйственных земель, перейти от экстенсивного к интенсивному земледелию.

Среди прочих, законопроект закрепляет термин «агроэкологическое районирование» – деление территории сельскохозяйственных угодий с учетом почвенно-климатических факторов на однотипные по природным и хозяйственным свойствам земельные участки с целью типизации требований к организации их использования и охраны. В целях рационального использования земельных участков для осуществления агропроизводства проводится зо-

нирование земель сельскохозяйственного назначения, в том числе, с учетом сведений агроэкологического районирования.

При установлении сельскохозяйственных территориальных зон в первом приоритете учитываются почвенно-климатические факторы. В целях обеспечения воспроизводства плодородия почв, сохранения и улучшения природных ландшафтов и охраны окружающей среды в отношении земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, разрабатываются проекты землеустройства.

Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса РФ утверждена Постановлением Правительства РФ от 14.05.2021 № 731 и постоянно корректируется (далее – Госпрограмма). В настоящее время действует редакция от 24.12.2024 (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025).

Несмотря на наличие Госпрограммы по вовлечению земель сельскохозяйственного назначения в оборот, по сравнению с 2022 г. (100%) посевная площадь в РФ в 2024 г. по данным Росстата составила только 97,4% (без учета новых территорий), а именно 80,2 млн га [4].

Ранее Минсельхоз России опубликовал на [regulation.gov.ru](http://regulation.gov.ru) проект постановления правительства о внесении новых очередных изменений в государственную программу (ID проекта 01/01/09-24/00150866, дата создания 18.09.2024). Предложено создание единой федеральной почвенной карты земель сельскохозяйственного назначения, включая сельскохозяйственные угодья, границы которых установлены посредством создания единой федеральной карты-схемы земель сельскохозяйственного назначения в 87 субъектах РФ в 2025–2026 гг.

В действующую с 01.01.2025 г. редакцию Госпрограммы данные предложения не вошли. Нужно понимать, что предоставляя участок земель сельскохозяйственного назначения для ведения агропроизводства, хозяйствующему субъекту автоматически предоставляются права на использование почвенных ресурсов.

Почва является, с одной стороны, незаменимым и системообразующим компонентом биосферы, обладающим важнейшими экологическими функциями, а с другой – основой продовольственных систем любого территориального уровня. Земля – понятие территориально-обобщенное. В состав одного участка – объекта, имеющего свою топографию и пространственные характеристики (или одного земельного угодья), как правило, включены почвы с различными свойствами и режимами. Поэтому без данных о почвах, невозможно проектировать и создавать рациональные природоохранные системы земледельческого и мелиоративного использования, а так же адаптивно-ландшафтные системы земледелия в сельском хозяйстве или конкурентные агротехнологии. Эффективны и безопасны они будут только в случае учета строения почвенного покрова территорий и его неоднородности.

Об этом прямо указано в распорядительных документах Президента Российской Федерации В. В. Путина и следует из пункта 2 «Перечня поручений по итогам заседания Госсовета», утвержденного Президентом РФ 24.01.2017 № Пр-140ГС. Правительству РФ совместно с заинтересованными органами исполнительной власти субъектов РФ поручено подготовить и представить предложения по разработке порядка определения и установления нормативов качества почв и земель в зависимости от их природных особенностей, целевого назначения и величины предельных остаточных концентраций загрязняющих веществ в целях восстановления свойств почв, исходя из географических, геологических, гидрогеологических особенностей их формирования и природного фонового состояния территорий и акваторий.

Оценка ситуации в данной сфере правового регулирования и управления АПК была дана в Решении заседания Президиума Совета законодателей РФ при ФС РФ от 18.12.2020 «О мерах по обеспечению плодородия земель сельскохозяйственного назначения». Выдержки из принятого решения приводятся ниже.

«Сохранение, восстановление и повышение плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения являются составляющими развития и совершенствования агропромышленного комплекса РФ.

Президиум Совета законодателей РФ отмечает ряд проблем, препятствующих эффективному обеспечению плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения: отсутствие полной и достоверной информации о землях сельскохозяйственного назначения, их границах и качественных характеристиках, единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения; неэффективность землеустройства как комплекса мероприятий по изучению состояния почв, планированию и организации их рационального использования и охраны; неиспользование по назначению земель сельскохозяйственного назначения и последующее ухудшение их состояния; недостаточное нормативно-правовое регулирование своевременного выявления изменения состояния плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, оценки этих изменений.

Следует законодательно определить понятия почвы и ее плодородия как фундаментального уникального свойства.»

Нечерноземная зона впервые официально была обозначена в постановлении Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР от 20.03.1974 г. № 206 «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства Нечернозёмной зоны РСФСР» [5].

В настоящее время к Нечерноземной экономической зоне России в соответствии с «Общероссийским классификатором экономических регионов. ОК 024-95», утвержденным постановлением Госстандарта России от 27.12.1995 № 640 (ред. от 21.06.2023) относятся 32 ее субъекта. С 1991 г. в них произошли значительные изменения, как в численности сельского населения, так и в количестве и в структуре земель сельскохозяйственного назначения, включая пашню.



Проведя рейтинг регионов РФ [4], снизивших площади посевов в хозяйствах всех категорий к 2023 г. не более чем на 15% к уровню 1990 г., обнаружили в нем из областей Нечерноземья только Орловскую область с показателями 1331,4 тыс. га (84,9%). В десятку регионов РФ, максимально сокративших посевы к 2023 году (на 60% и более), вошли: Калужская область – 364,3 тыс. га (39,6%); Кировская область – 808,9 тыс. га (36,7%); Пермский край – 677,4 тыс. га (36,65); Ивановская область – 199,2 тыс. га (32,7%); Ярославская область – 239,0 тыс. га (31,1%); Тверская область – 441,5 тыс. га (29,2%); Смоленская область – 411,5 тыс. га (28,6%); Костромская область – 179,1 тыс. га (27,1%); Новгородская область – 128,3 тыс. га (26,5%); Псковская область – 198,4 тыс. га (22,7%).

В 2023 г. общая площадь Нечернозёмной зоны РФ составляла 2411,2 тыс. км<sup>2</sup>, посевная площадь – 14,4 млн га (17,5% от всей посевной площади РФ), численность населения равнялась 44 млн человек, из них сельское население составляло 10,4 млн человек. Выявлена устойчивая тенденция его снижения и процессы «социального опустынивания сельских территорий» [5].

Условия развития АПК и сельских территорий Нечерноземья отличаются большой спецификой, обусловленной влиянием крупнейших городских агломераций (Московской, Санкт-Петербургской, Нижегородской и др.) и интенсивностью оттока в них населения. Регион отличается дисперсностью сельского расселения, что требует повышенных затрат на развитие социальной и инженерной инфраструктуры [5].

В настоящее время сельское хозяйство в Нечернозёмной зоне развивается медленнее, чем в стране в целом. Если в 1991 г. доля Нечерноземья в валовой продукции отрасли составляла 34,3%, то в 2018 г. – 24,4%. Это произошло в основном за счёт растениеводства, где удельный вес региона снизился с 34,4% до 19,5%. Доля Нечерноземья в животноводстве тоже снизилась, но гораздо меньше – с 34,2% до 30,0%.

В Нечерноземье больше, чем в среднем по РФ, доля сельских домохозяйств с заброшенными земельными участками и пустующими домами: 20,1% против 13,7%. Особенно велика эта доля в Псковской, Брянской, Ивановской, Смоленской, Тверской, Костромской, Кировской и Архангельской областях.

Приоритетными направлениями развития АПК и сельских территорий Нечернозёмья являются:

– формирование зон специализации и товарного производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, для производства которых в регионе имеются благоприятные почвенные и агрометеорологические условия. В растениеводстве это: рожь, ячмень, овес, лён-долгунец, картофель, овощи, техническая конопля, гречиха. В животноводстве особое внимание следует обратить на производство молока, мяса КРС, развитие овцеводства и козоводства, коневодства, оленеводства, пчеловодства;

– принятие первоочередных мер по упорядочению землепользования, обобщение опыта и освоения адаптивно-ландшафтных систем земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории на основе землеустройства;

– восстановление и наращивание площадей почв земель сельскохозяйственного назначения прошедших комплексную мелиорацию и окультуривание полей.

Это можно осуществить путем внесения изменений в Госпрограмму, дополнив отдельными федеральными проектами, направленными на развитие АПК Нечернозёмной зоны РФ, с выделением дополнительного целевого финансирования. А также разработав ведомственную программу по развитию Нечерноземья в составе Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 14.07.2012 № 717 (ред. от 25.12.2024) .

Федеральным законом от 29.12.2006 № 264-ФЗ (ред. от 26.12.2024) «О развитии сельского хозяйства» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025) статьей 7 закреплено, что государственная поддержка развития сельского хозяйства, устойчивого развития сельских территорий осуществляется по основным направлениям, в том числе: обеспечение доступности кредитных ресурсов; развитие системы страхования рисков в сельском хозяйстве; развитие племенного животноводства и элитного семеноводства; обеспечение производства продукции животноводства и закладки многолетних насаждений и уход за ними; обеспечение обновления основных средств сельскохозяйственных товаропроизводителей; обеспечение мероприятий по повышению плодородия почв; обеспечение устойчивого развития сельских территорий, в том числе строительство и содержание в надлежащем порядке связывающих населенные пункты автомобильных дорог.

В статье 7 присутствует пункт 12 – поддержка сельскохозяйственных агропроизводителей, осуществляющих деятельность на неблагоприятных территориях. Ими признаются территории субъектов РФ, на которых вследствие природно-климатических условий, состояния почвы, а также социально-экономических факторов уровень доходов сельскохозяйственных товаропроизводителей ниже, чем в среднем по сельскому хозяйству, но ее производство должно осуществляться для обеспечения занятости сельского населения, повышения уровня его доходов и сохранения местных традиций.

Распоряжением Правительства РФ от 26.01.2017 № 104-р (ред. от 12.10.2023) «Об утверждении перечня субъектов Российской Федерации, территории которых относятся к неблагоприятным для производства сельскохозяйственной продукции территориям» в него включены следующие регионы Нечерноземной зоны: Республики Карелия, Коми, Мордовия; Пермский край; Архангельская, Ивановская, Ленинградская, Мурманская, Новгородская, Псковская области и Ненецкий автономный округ (11 из 30 субъектов

РФ, входящих в Нечерноземную зону, не считая городов федерального значения Москву и Санкт-Петербург).

#### **Библиографический список**

1. FAO 2022. Agroecology Knowledge Hub. Agroecology definitions [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/agroecology/knowledge/definitions/en/?page=4&ipp=6> (дата обращения: 15.03.2025).
2. FAO 2025. Центр знаний об агроэкологии. Десять компонентов агроэкологии [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/agroecology/overview/10-elements/ru/> (дата обращения: 15.03.2025).
3. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2023 году. М. : Росреестр, 2024. 181 с.
4. Российский статистический ежегодник. 2024: Стат. сб. М. : Росстат, 2024. 630 с.
5. Законодательное обеспечение развития агропромышленного комплекса России / под общей ред. В. И. Кашина. М. : Издание Государственной Думы, 2024. 224 с.

### **О ПРОБЛЕМЕ ПОСТАГРОГЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Е. В. Дабах<sup>1</sup>, А. С. Бусыгин<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия,  
ecolab2@gmail.com,*

*<sup>2</sup> Кировский филиал ФГБУ «РосАгрохимслужба», г. Киров, Россия*

Площади неиспользуемой пашни в Кировской области составляют более половины всех пахотных земель. Процесс зарастания земель сельскохозяйственного назначения, с одной стороны, приводит к потере плодородных почв как средства производства, с другой стороны, в некоторых случаях он обеспечивает сохранение почвенного плодородия, увеличение микробной биомассы, а также усиление секвестрации углерода. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 14 мая 2021 г. N 731 в пяти южных районах Кировской области проведено почвенно-агрохимическое обследование неиспользуемых пахотных земель с целью государственного учета и оценки их плодородия. Отмечено преобладание кислых почв, половина площадей приходится на почвы с низким содержанием подвижных соединений фосфора и калия. Таким образом, в зоне тайги и хвойно-широколиственных лесов в сложившихся социально-экономических условиях необходимо разработать четкие критерии целесообразности и перспективности вовлечения неиспользуемых пахотных земель в оборот.

Ключевые слова: земли сельскохозяйственного назначения, постагровая сукцессия, трансформация почв залежи.

Площадь Кировской области составляет 120,4 тыс. км<sup>2</sup>, земли сельскохозяйственного назначения занимают 32,1 тыс. км<sup>2</sup>, площадь пашни –

23 тыс. км<sup>2</sup> [1]. В структуре населения Кировской области, которое на январь 2025 г. насчитывает 1120178 человек, доля сельского населения составляет 21,5%. Таким образом, одной из проблем области является дефицит кадров в агропромышленном комплексе. Область находится в Нечерноземной полосе России, в природных зонах средней и южной тайги, а также хвойно-широколиственных лесов. Основными зональными почвами являются подзолистые, дерново-подзолистые и серые лесные. Несмотря на умеренно-холодный климат, относительно низкое естественное плодородие почв, социальные проблемы, Кировская область не включена в перечень субъектов РФ, территории которых относятся к неблагоприятным для производства сельскохозяйственной продукции (Распоряжения Правительства РФ от 26.01.2017 г. № 104-р и от 12.10.2023г. № 2819-р). Однако область входит в десятку регионов, максимально сокративших посевы к 2023 году [2]. По состоянию на 2024г. в области из 2 296 тыс. га пашни почти половина площадей не используется, из них 18% занято сорными травами, 38% не используется до 10 лет и 44% – более 10 лет. Эти данные носят ориентировочный характер, поскольку ежегодно агрохимическое обследование с актуализацией показателей проводится только в 2–3 районах Кировской области. Таким образом, проблема заращения земель сельскохозяйственного назначения в Кировской области является весьма актуальной.

В литературе, посвященной этой проблеме, отражены как отрицательные, так и положительные аспекты влияния процесса заращения на состояние природного комплекса, показана взаимосвязь восстановления растительности с постагрогенной трансформацией почв.

В работе [3] отмечено, что скорость восстановления древостоя, постагрогенная динамика флористического состава травяного яруса, разнообразия и соотношения в нем видов зависят от характера использования почв в прошлом. Чем меньше почва подвергалась агрономелиорации, в частности внесению навоза, тем выше скорость лесовосстановления и появления в напочвенном покрове опушечных, а затем бореальных видов. Степень окультуренности влияет на свойства постагрогенных почв [4]. Согласно исследованиям [5] возобновление леса на южнотаежных суходольных лугах зависит от гидроморфизма: в условиях нормального увлажнения при заращании мелколистным лесом возрастает кислотность почв, снижается степень насыщенности основаниями и содержание гумуса. В переувлажненных почвах в верхних горизонтах снижается кислотность и увеличивается насыщенность основаниями. В обоих случаях в составе гумуса возрастает доля ФК. Характер постагрогенного восстановления растительности и изменения свойств почв определяется их гранулометрическим составом: более существенное и быстрое увеличение кислотности происходит на легких почвах по сравнению с тяжелыми и на почвах заброшенных пашен по сравнению с заброшенными сенокосами. После прекращения распашки содержание углерода увеличивается за 100 лет примерно в 2 раза в суглинистых почвах и в 4 раза в песчаных [6]. При заращании пашни со временем увеличиваются мощность и запасы лес-

ных подстилок [7]. Подстилка появляется как горизонт примерно через 12–14 лет после прекращения распашки, причем через 30 лет ее запасы увеличиваются почти вдвое, а после выхода ели в древостой — еще в десять раз. Скорость возврата почв к исходному состоянию в процессе постагрогенной трансформации будет несколько запаздывать по сравнению со скоростью становления древостоя [8]. В среднетаежной подзоне после 40 лет зарастания свойства почв на залежи приближаются к свойствам целинных аналогов [9].

Изменение свойств почв определяется двумя основными почвообразовательными процессами: биологической аккумуляцией и элювиальным [10–12]. Во всех лесорастительных зонах перевод пахотных почв в залежные земли, занятые постоянной луговой или лесной растительностью, как правило, приводил к прогрессивному накоплению органического углерода в слое 0–10 см, что вызывало усиление дыхательной активности почв и существенное увеличение в них пула микробного углерода. В то же время за счет проявления процессов подзолообразования при развитии лесной растительности в слое 10–20 см происходило заметное увеличение кислотности. В подзоне хвойно-широколиственных лесов происходит увеличение кислотности после прекращения распашки, но затем по мере восстановления естественной растительности кислотность снова уменьшается. По степени влияния на динамику изменения всех изученных свойств почв в ходе их постагрогенной эволюции факторы можно расположить в следующем порядке: тип почвы > возраст залежи  $\approx$  глубина в пределах пахотного горизонта [10]. Степень дифференциации профиля при зарастании зависит от типа ландшафта (в транзитном она выше) [13].

Таким образом, процесс зарастания земель сельскохозяйственного назначения, с одной стороны, приводил к потере (иногда безвозвратной вследствие заболачивания, зарастания лесом) плодородных почв как средства сельскохозяйственного производства, при этом земли, которые с большими трудозатратами подготавливались под использование в качестве сельхозугодий, выходили из оборота; с другой стороны, в некоторых случаях он обеспечивал сохранение почвенного плодородия, увеличение микробной биомассы, а также усиливал секвестрацию углерода в экосистемах [14]. В условиях среднетаежной подзоны вновь образованные на залежных землях древостои по продуктивности нередко превосходят существовавшие до освоения, что обусловлено более высоким плодородием почв сельхозугодий [9].

Согласно Постановлению Правительства РФ от 14 мая 2021 г. N 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации» и Постановления Правительства РФ от 27 октября 2021 г. N 1832 «О внесении изменений в Государственную программу эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации», с 2022 г. федеральными государственными бюджетными учреждениями, центрами и станциями агрохимической службы, центрами химизации и сельскохозяйственной

радиологии, подведомственными Минсельхозу России, в границах неиспользуемых земель и имеющихся кадастровых кварталов проводятся почвенные обследования.

В Кировской области эти работы проводит Кировский филиал ФГБУ «РосАгрохимслужба» с целью государственного учета земель, сбора информации об изменении основных показателей плодородия почв и оценки состояния неиспользуемых земель, а также для оценки почв, подверженных водной и ветровой эрозии и другим негативным воздействиям. За 3 года было обследовано 108 тыс. га неиспользуемой пашни. Критериями выбора участков на постагрогенных землях для корректировки почвенных карт были: теплообеспеченность и плодородие почв, вовлеченность населения в сельскохозяйственную деятельность, в первую очередь, растениеводческую, наименьшая степень покрытия древесно-кустарниковой растительностью, наличие больших массивов неиспользуемой пашни с перспективой их дальнейшего использования в производстве сельскохозяйственной продукции, удаленность от логистических развязок дорожной сети. Соответственно, по согласованию с министерством сельского хозяйства и продовольствия Кировской области для проведения почвенного обследования в 2022–2024 гг. были выбраны земельные участки на территории пяти южных районов области – Лебяжского, Советского, Пижанского, Уржумского и Малмыжского. По результатам работ было показано, что 12% обследованной площади покрыто сорной травянистой растительностью, 32% составляют земли со степенью зарастания древесно-кустарниковой растительностью не более 10%; 36% – со степенью зарастания 10–30%; 20% – со степенью зарастания 30–50%. Почвы на неиспользуемой пашне в основном средне- и слабокислые – 32 и 34% соответственно. Более 55% почв характеризуется низким содержанием подвижного фосфора (менее 50 мг/кг), 50% – подвижного калия (менее 80 мг/кг). На долю высоко обеспеченных фосфором (более 151 мг/кг) приходится 10%, калием (более 171 мг/кг) – 5% обследованных почв.

Были откорректированы материалы крупномасштабного почвенного обследования (М 1:10 000), составлены картосхемы с привязкой к кадастровым номерам, намечены мероприятия по агротехническим работам и первичному окультуриванию почв с целью трансформации разновозрастной залежи в пахотные угодья. Несомненно, результаты этих работ могут быть основой для составления реестра зарастающих пахотных земель Кировской области. Однако масштабы этих работ должны быть расширены, они должны иметь соответствующее научное сопровождение. В настоящее время состояние почв и растительности на постагрогенных землях разного срока зарастания в разных природных зонах в пределах Кировской области изучены недостаточно. Кроме того, в относительно жестких природно-климатических условиях и при невысоком естественном плодородии почв необходимо разработать четкие критерии целесообразности вовлечения зарастающих земель сельскохозяйственных угодий в оборот.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка состояния трансформированных экосистем подзоны южной тайги, методические подходы к их биоремедиации», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 125021402208-5.*

### **Библиографический список**

1. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2023 году: Региональный доклад / под общей ред. Т. Э. Абашева. Киров, 2024. 191 с.
2. Российский статистический ежегодник. 2024 : Стат. сб. М. : Росстат, 2024. 630 с.
3. Телеснина В. М. Динамика состава и структуры растительности в ходе демулационной сукцессии (Костромская область). DOI: 10.17223/978-5-94621-927-3-2020-37 // Проблемы изучения растительного покрова Сибири : труды VII Междунар. научн. конф. Томск, 2020. С. 118–120.
4. Влияние степени исходного окультуривания на агрофизические показатели залежных дерново-подзолистых почв / А. В. Леднев, А. В. Дмитриев, Н. А. Пегова, Д. А. Попов. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.102-108 // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 67. № 6. С. 102–108.
5. Владыченский А. С., Телеснина В. М., Иванько М. В. Изменение некоторых свойств таежных почв при прекращении сельскохозяйственного использования (на примере Костромской области) // Доклады по экологическому почвоведению. 2006. Вып. 3. № 3. С. 130–160.
6. Рыжова И. М., Телеснина В. М., Ситникова А. А. Динамика свойств почв и структура запасов углерода в постагрогенных экосистемах в процессе естественного лесовосстановления // Почвоведение. 2020. № 2. С. 230–243.
7. Динамика морфологии и химических свойств лесной подстилки в ходе естественного постагрогенного лесовосстановления и ее отражение напочвенным покровом / Л. Г. Богатырев, В. М. Телеснина, О. В. Семенюк, А. И. Бенедиктова // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2020. № 3. С. 3–11.
8. Изменение кислотно-основных свойств окультуренных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава в процессе постагрогенной трансформации / А. В. Литвинович, В. Ф. Дричко, О. Ю. Павлова и др. // Почвоведение. 2009. № 6. С. 680–686.
9. Карпин В. А., Петров Н. В., Туюнён А. В. Восстановление лесных фитоценозов после различных видов сельскохозяйственного использования земель в условиях среднетаежной подзоны // Сибирский лесной журнал. 2017. № 6. С. 120–129.
10. Влияние процессов естественного лесовосстановления на микробиологическую активность постагрогенных почв Европейской части России / И. Н. Курганова, В. О. Лопес де Гереню, А. С. Мостовая и др. // Лесоведение. 2018. № 1. С. 3–23.
11. Телеснина В. М., Жуков М. А. Влияние способа сельскохозяйственного освоения на динамику биологического круговорота и ряда почвенных свойств в ходе постагрогенной сукцессии (Костромская область) // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1114–1129.
12. Леднев А. В., Дмитриев А. В. Зависимость агрохимических показателей залежных земель, расположенных на аккумулятивном направлении вещественно-энергетического потока от срока зарастания и типа почв // Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 5. С. 27–30.
13. Леднев А. В., Дмитриев А. В. Современные почвообразовательные процессы в постагрогенных дерново-подзолистых почвах Удмуртской республики / Почвоведение. 2021. № 7. С. 884–896.
14. Postagrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia / O. Kalinina, L. Giani., S. V. Goryachkin, D. I. Lyuri // Catena. 2015. Vol. 129. P. 1829.



## УГЛЕРОД В ПОЧВАХ НА ДВУЧЛЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ: СОДЕРЖАНИЕ, ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ЗАПАСЫ

*Е. А. Скребенков<sup>1,2</sup>, И. А. Лиханова<sup>1</sup>, Ю. В. Холопов<sup>1</sup>, С. В. Денева<sup>1</sup>,  
А. А. Рудь<sup>1</sup>, Е. М. Лаптева<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия, lapteva@ib.komisc.ru,*

<sup>2</sup> *Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина,  
г. Сыктывкар, Россия, evgeniiskrebenkov@mail.ru*

Рассмотрены особенности распределения и аккумуляции органического углерода в почвах, формирующихся в подзоне средней тайги на двучленных почвообразующих породах. Показано, что в подзолах запасы углерода в расчете на метровую толщю профиля составляют в среднем  $79 \pm 24$  т/га, в подзол-элювоземмах –  $66 \pm 9$  т/га. На долю органогенных горизонтов в подзолах приходится порядка 42% от общих запасов углерода, тогда как в подзол-элювоземмах – 36%. На распределение углерода в профилях и соотношение между органогенными и минеральными горизонтами рассмотренных почв значимое влияние оказывают их подтиповая принадлежность и особенности режима влажности почв в ландшафте.

Ключевые слова: почвы, двучленные отложения, тайга.

В Республике Коми почвы, формирующиеся на двучленных почвообразующих породах, занимают примерно 22% ее площади [1]. Двучленный характер почвообразующих пород, подстиление песков суглинками, которые служат водупором, создают устойчивое сезонное переувлажнение всего профиля почв, а также играют роль «водоотвода», если такие породы залегают на склоновых поверхностях рельефа [1, 2]. К одной из таких территорий, где распространены преимущественно двучленные почвообразующие породы, относится государственный природный заказник республиканского значения «Ляльский» (Республика Коми, МО МР «Княжпогостский»). В настоящее время на территории этого резервата находится тестовый полигон для мониторинга парниковых газов в рамках Российской системы климатического мониторинга (ВИП ГЗ) с целью создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и оценки бюджета углерода в лесах и других наземных системах [3].

Цель исследования – оценить запасы углерода в некоторых типах почв, сформированных на двучленных отложениях в подзоне средней тайги.

Объектом исследования послужили почвы тестового полигона «Ляльский». Площадь полигона 2х2 км. Мощность песчаной толщи, подстилаемой моренными суглинками с включением валунно-гравийного материала и карбонатов, варьирует, в зависимости от условий рельефа, крутизны склонов, дренированности территории, от нулевых значений до 100 см и более.

В различных растительных сообществах (ельниках, сосняках, мелко-лиственных сообществах из осины и березы) закладывали 30 постоянных пробных площадей (ППП). Для оценки содержания и запасов органического углерода ( $C_{орг}$ ) на каждой ППП закладывали полнопрофильный разрез (до глубины 100–120 см) и два полуразреза (до глубины 50–60 см) для морфологического описания, определения плотности горизонтов, доли крупнозема (валунно-галечникового материала), отбора образцов почв из генетических горизонтов для проведения физико-химических исследований. В совокупности заложены 30 разрезов и 60 полуразрезов. Для диагностики и идентификации почв использовали принципы современной классификации почв России [4, 5].

Содержание  $C_{общ}$  и  $N_{общ}$  определяли газохроматографическим методом на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O) (ФР.1.31.2016.23502), содержание карбонатов – на кальциметре производства компании Eijkel kamp Agrisearch Equipment (Нидердланды), согласно ISO 10693:1995. На основании полученных данных рассчитывали содержание  $C_{орг}$  по разности между  $C_{общ}$  и содержанием углерода карбонатов ( $C_{неорг}$ ).

Запасы органического углерода ( $Q$ ) рассчитывали в минеральной толще профиля с учетом плотности почв и мощности горизонтов на глубину 0–100 см и отдельно в органогенных (подстильно-торфяных) горизонтах:

$$Q = C_{орг} \cdot \rho \cdot h \cdot (1 - CF)$$

где:  $Q$  – запас углерода в горизонте/слое, т/га;  $C_{орг}$  – содержание органического углерода, %;  $\rho$  – плотность горизонта/ слоя, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – мощность горизонта/слоя, см;  $CF$  – доля крупнозема (частиц диаметром  $d > 2$  мм) в долях от единицы.

Статистическую обработку полученного массива данных выполняли в программе Microsoft Excel.

Обобщение результатов полевого описания почв показало, что на территории полигона «Ляльский» почвенный покров представлен 13 типами почв, относящимися к 5 отделам из двух стволов – постлитогенные и органо-генные. В данной работе рассмотрим специфику профильного распределения углерода и аккумуляцию его запасов в профилях двух типов почв – подзолах ( $n = 12$ ) и подзол-элювоземах ( $n = 13$ ), на долю которых приходится соответственно 16 и 14% от общего количества описанных почвенных профилей.

Формируются почвы рассмотренных типов в относительно дренированных условиях под сходными типами растительности – ельниками кустарничковыми, ельниками травяными, осинниками кустарничковыми и осинниками травяными. Мощность верхней облегченной толщи в профиле подзолов составляет  $33 \pm 4$  см, подзол-элювоземов –  $24 \pm 7$  см. Общая формула строения профиля подзолов: O–E–BF–D; подзол-элювоземов: O–E–D. Таким образом, отличительной особенностью подзол-элювоземов является отсутствие в профиле срединного иллювиально-железистого горизонта BF. Учитывая разнообразие условий рельефа территории полигона, варьирование мощности облегченной толщи, условий дренированности, микрорельефа и растительных

сообществ, типы подзолов и подзол-элювоземов представлены серией разнообразных подтипов. Все выделенные подтипы – сложные, что обусловлено проявлением и сочетанием различных признаков в профиле. В типе подзолов, как правило, представлены подзолы иллювиально-железистые или подзолы иллювиально-гумусово-железистые, в профиле которых имеются признаки грубогумусированности (ao), перегнойности (h), глееватости (g), наличия потечности гумуса (hi), пирогенных частиц (pyr), обломков карбонатов (ca), контактного осветления (ek) и элювиирования (el). Аналогичные признаки отмечены и в профилях подзол-элювоземов. В зависимости от условий влажности подзолы и подзол-элювоземы разделены на две группы – формирующиеся в хорошо дренированных ландшафтах (сухие местообитания) и в условиях некоторого застоя влаги (влажные местообитания), однако увлажнение почв в последнем случае еще не настолько выражено, чтобы в этих условиях были сформированы почвы, которые можно было бы отнести к другим типам – типу подзолов глеевых или типу подзол-элювоземов глеевых.

Для профильного распределения углерода в подзолах характерно его накопление в органогенных горизонтах (в горизонтах OL, OF до 32–50%, в горизонте 0Н–до 18–28%). В минеральных горизонтах содержание  $C_{орг}$  резко снижается, составляя в подзолистых горизонтах менее 0,2–0,3%. Однако, при наличии признаков потечности гумусовых веществ содержание  $C_{орг}$  может достигать 0,5–1,1%. Второй максимум в профильном распределении  $C_{орг}$  в подзолах связан с аккумуляцией гумусовых веществ в иллювиально-(гумусово)-железистых горизонтах B(H)F, где на долю  $C_{орг}$  приходится до 0,5–1,7%.

В подзол-элювоземах общее содержание  $C_{орг}$  в горизонтах лесных подстилок характеризуется близкими к подзолам значениями. В минеральной части максимум в содержании  $C_{орг}$  связан с формированием потечно-гумусовых горизонтов Ehi, где массовая доля  $C_{орг}$  может достигать 1,1–5,5%. Ниже по профилю содержание  $C_{орг}$  не превышает 0,5%, варьируя, как правило, в пределах 0,1–0,3%.

Различия в строении профилей подзолов и подзол-элювоземов и профильном распределении в них почвенного органического вещества нашли свое отражение в суммарных запасах  $C_{орг}$ , которые в расчете на метровую толщу профиля составили соответственно  $79 \pm 24$  и  $66 \pm 9$  т/га. И в подзолах, и в подзол-элювоземах вклад органогенных горизонтов в суммарные запасы  $C_{орг}$  сопоставимый – соответственно  $36 \pm 10$  и  $33 \pm 8\%$ . Полученные значения выше запасов углерода, рассчитанных для подзолов иллювиально-железистых, развитых на древнеаллювиальных песках –  $38,0 \pm 0,9$  т/га, и приближаются к запасам углерода в типичных подзолистых почвах, развитых на суглинистых отложениях –  $76,6 \pm 1,2$  т/га [6, 7].

На рисунке представлен расчет запасов  $C_{орг}$  на толщу почв, включающих запасы  $C_{орг}$  в органогенных горизонтах и 0–50-сантиметровой толще минеральной части профиля подзолов и подзол-элювоземов, описанных в относительно сухих (СМ) и более влажных (ВМ) местообитаниях. Как видно,

суммарные запасы  $C_{\text{орг}}$  в расчете на полуметровую толщу профиля в подзолах и подзол-элювоземах так же, как и рассчитанные на 100-сантиметровую толщину, близки, составляют в среднем соответственно  $71 \pm 18$  и  $63 \pm 13\%$ . Однако, для подзолов отмечена тенденция возрастания запасов  $C_{\text{орг}}$  при переходе от сухих ( $58 \pm 10$  т/га,  $n = 8$ ) к более влажным местообитаниям ( $98 \pm 64$  т/га,  $n = 4$ ). Это связано как с возрастанием в этом направлении мощности органогенных горизонтов (соответственно  $8,0 \pm 2,4$  см и  $10 \pm 5$  см), так и с усилением иллюви-рования гумусовых веществ в минеральной части профиля и формированием иллювиально-гумусово-железистых (ВНФ) подгоризонтов, а не иллювиально-железистых (ВФ), характеризующихся более низкими показателями массовой доли  $C_{\text{орг}}$ . Данный вывод подтверждается возрастанием вклада органогенных горизонтов и 0–30-сантиметровой толщи минеральной части профиля в общие запасы  $C_{\text{орг}}$  (рис.).

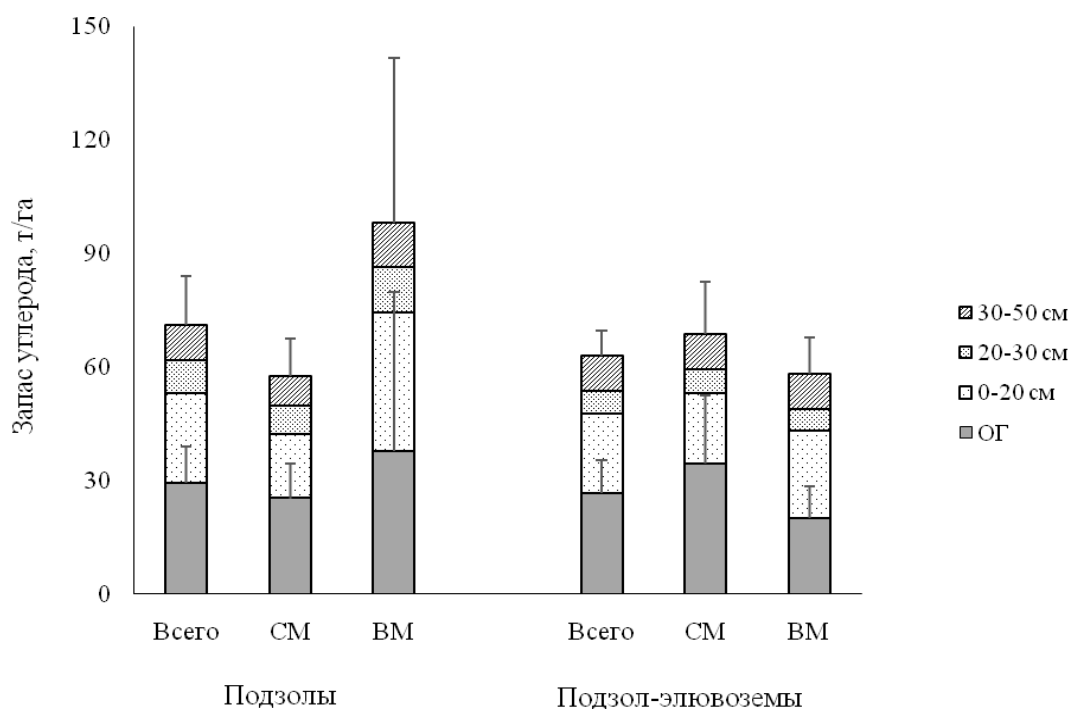


Рис. Запасы углерода в подзолах и подзол-элювоземах, развитых на двучленных отложениях в границах тестового полигона «Ляльский», в сухих (СМ) и влажных (ВМ) местообитаниях. Планками погрешности показан доверительный интервал при  $p = 0,9$

В подзол-элювоземах отмечена обратная картина. В почвах сухих местообитаний запасы углерода составляют  $69 \pm 30$  т/га ( $n = 6$ ), в более влажных –  $58 \pm 17$  т/га ( $n = 7$ ). Снижение запасов органического вещества при возрастании гидроморфизма в данном типе почв в первую очередь обусловлено уменьшением мощности и вклада в запасы  $C_{\text{орг}}$  органогенных горизонтов.

Таким образом, на примере совокупности различных подтипов подзолов и подзол-элювоземов, развитых на двучленных отложениях в границах тестового полигона «Ляльский», выполнен расчет запасов углерода в органо-генных горизонтах и минеральной части профиля на его метровую и полу-

метровую толщу. Показано, что запасы углерода в рассмотренных почвах выше по сравнению с имеющимися опубликованными данными, полученными для подзолов иллювиально-железистых, развитых на древнеаллювиальных песках, и приближаются к запасам углерода в профилях типичных подзолистых почв. Последнее может быть обусловлено периодическим застоем влаги в верхней облепченной толще почв, развитых на двучленных отложениях, и более активной аккумуляцией органического вещества в горизонтах лесных подстилок, сопоставимой с таковой в типичных подзолистых почвах.

*Работа выполнена в рамках проекта «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ).*

#### **Библиографический список**

1. Тонконогов В. Д. Каверин Д. А., Забоева И. В. Особенности почв на двучленных отложениях северо-востока Европейской России // Почвоведение. 2004. № 3. С. 261–270.
2. Генезис и миграция веществ в почвах на двучленных породах ЦЛГПБЗ Тверской области / И. М. Яшин, Л. П. Когут, И. И. Васенев и др. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2014. № 3. С. 5–20.
3. Загирова С. В. Реализация важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» в Республике Коми // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Киров, 15 ноября 2023 года. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 14–17.
4. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 341 с.
5. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
6. Разнообразие и запасы углерода в почвах Европейского Северо-Востока (на примере Республики Коми) / Е. М. Лаптева, И. А. Лиханова, Е. А. Скребенков и др. // Tuproqshunoslik va agrokimyo ilmiy jurnal. 2024. № 4. С. 95–111.
7. Osipov A. F. Bobkova K. S., Dymov A. A. Carbon stocks of soils under forest in the Komi Republic of Russia // Geoderma Regional. 2021. Vol. 27. P. 1–9.

### **СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ СО ВТОРЫМ ГУМУСОВЫМ ГОРИЗОНТОМ**

***А. В. Филимонова***

*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, filimono9797@mail.ru*

Приведены результаты изучения сезонной динамики общего и лабильного органического углерода в профиле целинной дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Выявлены некоторые закономерности динамики содержания органического углерода в целинных почвах, а так же доли лабильного органического вещества (ЛОВ) в Сорг в течение периода вегетации.

Ключевые слова: лабильный углерод, общий органический углерод почв, дерново-подзолистые почвы.

Углерод является важнейшим элементом любой экосистемы. Почву принято считать резервуаром углерода в биосфере. Почвенное органическое вещество (ОВ) является источником энергии для почвенной биоты, и элементов питания – для растений, определяет свойства и режимы почвы.

Содержание ОВ в почве зависит от количества и состава поступающих органических остатков, скорости их гумификации и минерализации. Поступающее в почву органическое вещество перерабатывается в трофических цепях, конечным деструктивным звеном которых являются микроскопические грибы и бактерии. Они осуществляют минерализацию органических веществ с возвратом углекислого газа в атмосферу [1].

Лесные экосистемы способны запастись углеродом в виде детрита и гумуса. Нерастворимые в воде органоминеральные соединения способны находиться в почве несколько тысяч лет. Леса бореальной зоны улавливают углекислый газ из атмосферы и играют важную роль в его аккумуляции [2]. Известно, что возможности экосистем по связыванию углекислого газа ограничены. Очевидно, поглощать дополнительное количество  $\text{CO}_2$  экосистемы будут только до тех пор, пока будет увеличиваться масса растительности и/или масса органического вещества, надолго выводимая из круговорота, например попадающая в почву, в болота или в донные отложения озер [3].

Объектом исследования являются дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы со вторым гумусовым горизонтом на покровных бескарбонатных суглинках, расположенные на северо-западе Чепецко-Кильмезского водораздела. Для проведения анализа раз в месяц с мая по сентябрь закладывали по три почвенных разреза. Образцы почвы отбирали из подстилки (A0A1), гумусового горизонта (A1), элювиального горизонта (A2), второго гумусового горизонта (A2Ah), переходного к иллювиальному (A2B) и иллювиального (B1) горизонтов.

В почвенных образцах определяли содержание общего (Сорг.) и лабильного органического углерода. Органический углерод определяли методом мокрого сжигания по Тюрину [4]. Лабильный углерод извлекали 0,1 М нейтральной пирофосфатной вытяжкой в свежих пробах при соотношении почва:раствор 1:2 [5].

Органическое вещество почвы условно можно разделить на две части: стабильное (консервативное) устойчивое к микробиологическому разложению и лабильное (подвижное) (ЛОВ). Стабильное ОВ прочно связано с минеральной частью почвы, участвует в формировании благоприятных агрофизических свойств, влияет на устойчивость почв к эрозии, а так же является потенциальным источником элементов питания для растений и микроорганизмов. Лабильная часть органического вещества почвы является эффективным источником питания для растений за счет быстрого перехода в усвояемое состояние при ускоренной минерализации. Недостаток ЛОВ приводит к дегу-

мификации – разложению стабильной части органического вещества и последующей деградации почвы.

Содержание общего органического углерода значительно варьирует в течение периода наблюдений. Максимальные значения Сорг характерны для гумусового горизонта и составляют от  $2,28 \pm 0,17\%$  до  $3,03 \pm 0,17\%$  (табл. 1). Минимальные значения отмечены в начале и в конце периода наблюдений, что, вероятно, связано с медленной минерализацией поступающей органики и слабой гумификацией в условиях низкой температуры. Максимальные значения отмечены в летний период, особенно в конце июня, когда в почву поступает большое количество свежей органики и создаются оптимальные условия для ее гумификации.

Таблица 1

**Изменение содержания Сорг (%) в профиле дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в течение вегетационного периода 2024 г.**

| Горизонт | 19.05.          | 18.06.          | 17.07.          | 20.08           | 18.09           |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| A0A1     | $2,28 \pm 0,17$ | $3,03 \pm 0,17$ | $2,63 \pm 0,03$ | –               | $2,39 \pm 0,12$ |
| A1A2     | $1,86 \pm 0,03$ | $2,07 \pm 0,03$ | $2,06 \pm 0,35$ | $1,39 \pm 0,13$ | $1,43 \pm 0,06$ |
| A2       | $0,42 \pm 0,02$ | $0,44 \pm 0,06$ | –               | $0,30 \pm 0,04$ | $0,35 \pm 0,07$ |
| A2Ah     | $1,34 \pm 0,14$ | $1,38 \pm 0,06$ | $1,05 \pm 0,12$ | $1,10 \pm 0,07$ | $1,09 \pm 0,17$ |
| A2B      | $0,64 \pm 0,02$ | $0,30 \pm 0,05$ | $0,24 \pm 0,04$ | $0,30 \pm 0,05$ | $0,29 \pm 0,04$ |
| B        | $0,41 \pm 0,02$ | $0,36 \pm 0,05$ | $0,29 \pm 0,12$ | $0,26 \pm 0,06$ | $0,29 \pm 0,04$ |

Примечание: прочерк означает отсутствие данных.

В нижележащем горизонте A1A2 отмечено меньшее содержание общего углерода, уровень которого сильно меняется в зависимости от срока отбора. Горизонт A1A2 подвергается оподзоливанию с чем, собственно, связано более низкое содержание в нем органического вещества. В целом характер динамики содержания общего органического углерода в горизонте A1A2 аналогичен предыдущему горизонту. Минимальные значения характерны для конца августа и составляют  $1,39 \pm 0,13\%$ . Максимальное содержание Сорг отмечено в июне-июле и составляет  $2,07 \pm 0,03\%$ . В элювиальном горизонте отмечено резкое снижение содержания органического углерода, Сорг варьирует от  $0,30 \pm 0,04\%$  до  $0,44 \pm 0,06\%$ . Характер динамики такой же как и в гумусовом горизонте. Отмечено наличие прямой связи между изменением содержания Сорг в гумусово-аккумулятивном и элювиальном горизонтах. На поверхности почвы формируется лесная подстилка из остатков древесной и мохово-лишайниковой растительности. Подстилка разлагается грибной микрофлорой. В результате образуется много низкомолекулярных органических кислот и высокомолекулярных агрессивных фульвокислот. Образующиеся кислые продукты частично нейтрализуются основаниями, образовавшимися в результате разложения подстилки, а в большем количестве мигрируют с нисходящим током воды в нижележащие горизонты и взаимодействуют с минеральной частью почвы. Органические кислоты взаимодействуют с оксидами Al,



Mn и Fe. Образующиеся органо-минеральные комплексы в кислой среде очень подвижны и мигрируют вниз по профилю.

Особенностью данных почв является наличие в почвенном профиле второго гумусового горизонта – остатка мощного органогенного горизонта, реликта атлантического периода эпохи голоцена. Горизонт Ah содержит относительно большое количество органического углерода. Изменения содержания Сорг во втором гумусовом горизонте статистически не значимы, амплитуды колебания находится в пределах ошибки. Данная закономерность является одной из особенностей почв со вторым гумусовым горизонтом. При анализе содержания Сорг в профиле данных почв отмечены значительные колебания показателя в верхнем гумусовом горизонте и незначительные во втором гумусовом горизонте. В работе [6] это объясняется «принципиальными отличиями условий гумусообразования и гумусонакопления в сопоставляемых горизонтах: верхние находятся в тесной зависимости от современной экологии педогенеза, в то время как нижние обнаруживают автономию от них. Последнее косвенно свидетельствует о формировании ОВ горизонта AElh в условиях, отличных от современных».

Переходный к иллювиальному горизонт A2B содержит значительно меньше общего органического углерода. Различия достоверны, хотя вариация значений меньше, чем в вышележащих горизонтах. Следует отметить, что наибольшие значения Сорг характерны для начала периода наблюдений.

Иллювиальный горизонт B содержит наименьшее количество общего органического углерода. В начале периода наблюдений уровень его содержания также был значительно выше, что вероятно связано с поступлением органики из верхнего гумусового горизонта с нисходящим током влаги. В течение сезона колебания уровня содержания Сорг незначительны, различия статистически не значимы.

Попадая в почву, органические остатки претерпевают ряд сложных преобразований. Одновременно в почве протекают два противоположных процесса: минерализация и гумификация. В результате минерализации происходит переход различных элементов (азот, фосфор, сера, кальций, магний, калий, железо и др.), закреплённых в органических остатках, в минеральные формы и потребление их живыми организмами следующих поколений. Итогом гумификации является фиксация органического вещества в почве в форме новых продуктов, устойчивых к микробиологическому разложению, и хранящих в себе огромные запасы энергии и элементов питания. Лабильное органическое вещество (ЛОВ) можно считать свежееобразованным, так как данная часть почвенного органического вещества образуется в почве в результате ферментативного гидролиза растительных остатков, детрита и гумуса [7]. Формирование ЛОВ лимитируется количеством поступающих в почву растительных остатков, биологической активностью микробиоты, температурой и влажностью.

Максимальные значения ЛОВ характерны для гумусового горизонта от  $0,53 \pm 0,09\%$  до  $0,55 \pm 0,01\%$  и переходного к элювиальному горизонта A1A2 от

0,37±0,09% до 0,47±0,01% (табл. 2). Максимальные значения наблюдаются в начале лета, что связано с высокой микробиологической активностью при благоприятных условиях температуры и влажности, с поступлением большого количества свежей органики.

Таблица 2

**Изменение содержания лабильного органического углерода (%)  
в профиле дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы  
в течение вегетационного периода 2024 г.**

| Горизонт | 19.05.      | 18.06.      | 17.07.      | 20.08       | 18.09       |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| A0A1     | 0,554±0,039 | 0,550±0,010 | 0,532±0,091 | –           | –           |
| A1A2     | 0,392±0,035 | 0,467±0,001 | 0,373±0,091 | 0,421±0,013 | 0,437±0,043 |
| A2       | 0,021±0,026 | 0,093±0,001 | –           | 0,073±0,007 | 0,121±0,001 |
| A2Ah     | 0,254±0,018 | 0,244±0,001 | 0,267±0,050 | 0,270±0,050 | 0,214±0,011 |
| A2B      | 0,072±0,002 | 0,036±0,003 | 0,085±0,014 | 0,068±0,007 | 0,059±0,027 |

*Примечание:* прочерк означает отсутствие данных.

Затем в середине периода наблюдений отмечается снижение содержания ЛОВ, что связано с погодными условиями. Погодные условия 2024 г. отличались значительным снижением среднемесячной температуры. Так, средняя температура июня составляла 7,4 °С, что на 4,5 °С ниже нормальной, а влажность напротив была выше нормы. После вновь наблюдается увеличение содержания лабильного органического углерода в данных горизонтах, что связано с поступлением большого количества свежей органики и высокой микробиологической активностью в условиях благоприятных для протекания процесса гумификации. Для второй половины периода наблюдений характерны близкие к нормальным условия температуры и влажности.

В нижележащем подзолистом горизонте содержание лабильного органического вещества значительно ниже, характер динамики сложный. Максимум содержания отмечен в конце периода наблюдений. Вероятно, увеличение содержания лабильного углерода в подзолистом горизонте в конце периода наблюдений связано с переносом его из вышележащих горизонтов с нисходящим током влаги в условиях промывного водного режима.

Для второго гумусового горизонта характерен относительно высокий уровень содержания лабильного органического углерода, но вариация значения в течение сезона наблюдений статистически не достоверна, что говорит об отсутствии изменений его содержания в данном горизонте.

Нижележащие горизонты A2B и B1 содержат небольшое количество подвижного органического углерода, изменения его содержания в течение периода наблюдений незначительны.

В течение сезона наблюдений изменяется не только содержания ЛОВ и Сорг, но и доля подвижного органического вещества в общем. Характер динамики достаточно сложный (табл. 3).

Таблица 3

**Сезонная динамика доли ЛОВ в общем органическом углероде (в%)**

| Горизонт | 19.05.2024 | 18.06.2024 | 17.07.2024 | 20.08.2024 | 18.09.2024  |
|----------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| A0A1     | 24,48±2,62 | 18,22±0,97 | 20,19±2,31 | –          | 18,48±2,54  |
| A1A2     | 21,07±1,74 | 15,38±8,83 | 17,96±0,81 | 30,51±3,27 | 17,04±1,58  |
| A2       | 46,57±2,92 | 17,07±5,29 | –          | 25,03±5,51 | 36,47±8,23  |
| A2Ah     | 19,40±3,24 | 13,51±5,05 | 26,59±7,64 | 24,33±3,00 | 20,04±2,32  |
| A2B      | 11,18±0,28 | 9,85±2,98  | 35,51±3,20 | 24,10±6,51 | 21,11±10,02 |
| B        | –          | 13,16±7,30 | 16,84±9,08 | 17,92±6,27 | 16,24±8,06  |

*Примечание:* прочерк означает отсутствие данных.

На изменение содержания ЛОВ влияет, в первую очередь, микробиологическая активность, поэтому вполне закономерно повышение доли ЛОВ в Собщ в середине периода наблюдений, когда погодные условия оптимальны. Максимальные значения отмечены в подзолистом горизонте, минимальные – в иллювиальном. Вероятно, большое процентное содержание лабильного органического углерода в подзолистом горизонте связано с миграцией органического вещества из верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта с нисходящим током. При этом содержание общего углерода в данном горизонте минимально, что может быть объяснено тем, что свежее образованное органическое вещество почвы, попадая в элювиальный горизонт, не закрепляется в нем, а мигрирует вниз по профилю. Для иллювиального горизонта характерны аналогичные с гумусовым горизонтом значения доли ЛОВ в Сорг. Полученные результаты свидетельствуют о высокой подвижности органического вещества целинных почв. Полученные данные согласуются с результатами [8]. Авторы установили, что с увеличением глубины возрастает подвижность гумусовых веществ в гумусовых горизонтах почв. Особенно отчетливо эта тенденция проявляется в почвах, пребывающих в состоянии залежей 20 лет. С одной стороны, растительный опад и подстилка служат исходным материалом для образования органического вещества почвы, с другой стороны, агрессивные фульвокислоты, образующиеся в результате их деструкции, способствуют разрушению органоминеральных комплексов и миграции органического углерода в нижние горизонты почвы.

Таким образом, содержание органического углерода в дерново-подзолистых почвах со вторым гумусовым горизонтом закономерно снижается вниз по профилю. Наибольшее значение Сорг и ЛОВ в профиле исследуемой почвы характерно для гумусово-аккумулятивного горизонта A1A2, а также второго гумусового горизонта A2Ah, наименьшее – для подзолистого (A2) горизонта. В результате исследования установлена достоверная динамика содержания Сорг и его лабильной части в верхней части профиля дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы под ельником разнотравным. В нижней части профиля отсутствуют достоверные изменения содержания органического углерода.

### Библиографический список

1. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Шишков Д. Г. Органическое вещество целинной и пахотной дерново-подзолистой почвы Предуралья. DOI: 10.7242/2658-705X/2023.2.3 // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2023. № 2. С. 27–40.
2. Бобкова К. С., Кузнецов М. А. Бюджет углерода в экосистемах среднетаежных коренных ельников. DOI: 10.31857/S0044459622060033 // Журнал общей биологии. 2022. Т. 83. № 6. С. 434–449.
3. Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming / S. Piao, P. Ciais, P. Friedlingstein, et al. // Nature. 2008. Vol. 451. P. 49–52.
4. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1972. 490 с.
5. ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества.
6. Палеоэкология южнотаежных ландшафтов Вятского Прикамья и ее отражение в свойствах современных почв / А. М. Прокашев, Н. Д. Охорзин, А. С. Матушкин и др. // Социально-экологические технологии. 2015. № 1–2. С. 92–111.
7. Банкин М. П., Банкаина Т. А., Земесзиркс Н. Э. Агрофизический и биологический критерии плодородия автоморфных дерново-подзолистых почв агроценозов // Вестник СПбГУ. 2006. Сер. 3. С. 177–189.
8. Назарова А. В., Попова Е. А. Лабильные формы гумусовых веществ в гумусовых профилях пахотной и залежных дерново-подзолистых суглинистых почв // Известия СПбГАУ. 2015. № 39. С. 101–104.

## КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИБРЕЖНЫХ ПОЧВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

*О. С. Кубик, Е. В. Шамрикова, С. В. Денева*  
*ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия,*  
*kubik-olesia@yandex.ru*

В статье представлены результаты комплексного исследования закономерностей накопления низкомолекулярных органических соединений в прибрежных почвах северных морей Российской Арктики. Хроматографическими методами в почвах, приуроченных к маршам среднего уровня, выявлены особенности качественного и количественного состава связанных аминокислот и отдельных классов индивидуальных водорастворимых соединений (кислоты, спирты, углеводы). Данные сведения позволяют сформировать представление о современном состоянии почвенного покрова прибрежной зоны северных широт и определить основные тренды их развития в меняющихся климатических условиях среды.

Ключевые слова: углерод и азот почв, аминокислоты, кислоты, спирты, углеводы, марши, Арктика.

В настоящее время актуальность изучения арктических прибрежных почв возрастает в связи с глобальными изменениями климата. В отечественном почвоведении отсутствуют системные представления о свойствах и генезисе

почв данной группы в силу их труднодоступности [1–5]. Образование и накопление органического вещества в почвах прибрежной зоны северных морей сопровождается такими процессами как засоление, седиментогенез, криогенез, орнитогенез и др., которые оказывают влияние как на биогеохимические циклы углерода и азота почв, так и на особенности накопления отдельных классов индивидуальных низкомолекулярных органических соединений в этих объектах. Поэтому цель работы заключалась в идентификации и выявлении особенностей распределения низкомолекулярных органических соединений в почвах прибрежной территории западного сектора Российской Арктики.

В качестве объектов исследования были выбраны надпойменные участки побережий Баренцева и Белого морей, подвергающиеся периодическому затоплению (в моменты массовых разливов рек), на которых формируются маршевые почвы среднего уровня: I – маршевая слоистая дерново-глеевая тяжелосуглинистая (Tidalic Fluvisol (Clayic, Ochric)) на побережье Белого моря, полуостров Канин (66°38'47.5"с.ш., 44°28'59.1"в.д.), устье р. Несь; II – маршевая дерново-глеевая супесчаная почва (Tidalic Fluvisol (Arenic, Ochric, Epiptosalic)) на побережье Баренцева моря, Хайпудырская губа (68°19'49.4"с.ш., 59°31'07.8"в.д.), устье р. Ханавэйяха; III – маршевая примитивная дерново-глеевая тяжелосуглинистая (Tidalic Fluvisol (Loamic, Ochric, Epiptosalic)) на побережье Баренцева моря, Хайпудырская губа (68°18'26.5"с.ш., 59°44'12.8"в.д.), устье р. Море-Ю; IV – маршевая дерново-глеевая легкосуглинистая (Tidalic Fluvisol (Arenic, Ochric)) на побережье Баренцева моря, Печорская губа (68°36'24.9"с.ш., 056°33'17.8"в.д.), устье р. Черная. Содержание различных форм углерода и азота в исследуемых почвах было измерено различными физико-химическими методами: общий углерод и азот – газовой хроматографией, неорганический углерод почв – объемно-метрическим методом, неорганический азот почв и водных вытяжек – фотометрическим, общий водорастворимый углерод и азот – высокотемпературным каталитическим окислением на анализаторе общего углерода ТОС V<sub>СРН</sub>. Содержание органических форм углерода (C<sub>орг</sub>) и азота (N<sub>орг</sub>) почв и водных вытяжек из них находили по разности значений общих и неорганических форм. Качественный и количественный состав групп низкомолекулярных органических соединений исследуемых почв был определен следующими методами: связанные аминокислоты (АмК) в почвах – жидкостной хроматографией, индивидуальные водорастворимые соединения (кислоты, спирты, углеводы) – хромато-масс-спектрометрией совместно с газовой хроматографией.

Содержание органических форм углерода и азота в почвах маршей составляет 5–75 и 0,5–5 г/кг соответственно, эти параметры взаимосвязаны  $\omega(N_{\text{орг}}) = 0,06 \cdot \omega(C_{\text{орг}}) + 0,57$  ( $R^2 = 0,99$ ). Следует отметить, что маршевая примитивная дерново-глеевая почва III участка отличается от всех остальных почв присутствием погребенного горизонта AYh (4–11 см) [6], характеризующегося более высокими показателями C<sub>орг</sub> и N<sub>орг</sub> в отличие от поверхност-

ного горизонта, который лишен растительного покрова вследствие заиленности из-за разлива речного стока. В водных вытяжках из исследуемых почв количество органических форм углерода варьирует от 0,2 до 1,0, азота – до 0,1 г/кг, уравнение взаимосвязи имеет вид  $\omega(N_{\text{орг}})_{\text{H}_2\text{O}} = 0,06 \cdot \omega(C_{\text{орг}})_{\text{H}_2\text{O}} + 0,005$  ( $R^2 = 0,94$ ).

Максимальным содержанием связанных аминокислот отличаются поверхностные горизонты, вниз по профилю содержание АмК снижается с 60 до 4,5 г/кг. В прибрежных почвах доля кислых аминокислот составляет 10–13, основных – до 26%, вклад нейтральных, как наиболее устойчивых в почве [7] – от 60 до 70%. При тождественности качественного состава АмК исследуемых почв, различия в относительном составе сводятся к изменению 4-х мажорных соединений. При повышенном содержании доли глицина и лейцина (8–12 и 11–13% соответственно) выявлено снижение аспарагиновой и глутаминовой кислот (7–12 и 9–11% соответственно).

Количество водорастворимых низкомолекулярных органических соединений (спиртов, углеводов и кислот) в почвах, испытывающих влияние моря, не превышает 25 мг/кг и составляет не более 1,5% от общего содержания углерода органических соединений в вытяжках из почв, что связано со сниженной степенью экстракции этой группы соединений при увеличении ионной силы раствора [6]. В маршевых почвах доля кислот от общей массы идентифицированных соединений составляет 10–50%, к доминирующим (до 50%) относятся молочная и гликолевая кислоты. Вклад спиртов незначителен (до 10%) и представлен преимущественно рибитолом (до 80%) и мио-инозитолом (до 60%). Углеводы составляют наибольшую долю (50–90%) от идентифицированных классов соединений, максимальным содержанием отличаются арабиноза и глюкоза (10–70%).

В рамках проведенного исследования было установлено, что вклад углерода аминокислот в элементный фонд почв прибрежных территорий составляет не более 12%, азота – 30–50%. Массовая доля углерода водорастворимых низкомолекулярных органических соединений не превышает 1,5%. Исследование сопряженного круговорота углерода и азота позволяет проводить сравнительный анализ геохимических циклов элементов, что становится фундаментом для оценки направленности продукционных и деструкционных процессов в экосистемах высоких широт и понимания основных трендов их развития.

*Исследования выполнены в рамках бюджетной темы НИР «Почвы и почвенные ресурсы Европейского Северо-Востока России в условиях современных климатических изменений, антропогенного пресса и социально-экономических вызовов» (№ 125021902454-1).*

#### **Библиографический список**

1. Орешникова Н. В., Красильников П. В., Шоба С. А. Маршевые почвы Карельского берега Белого моря // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2012. № 4. С. 13–20.
2. Цейц М. А., Добрынин Д. В. Морфогенетическая диагностика и систематика маршевых почв Карельского Беломорья // Почвоведение. 1997. № 4. С. 411–416.

3. Черноусенко Г. И., Орешникова Н. В., Украинцева Н. Г. Засоление почв побережья северных и восточных морей // Почвоведение. 2001. № 10. С. 1192–1206.
4. ACIA, Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. – Cambridge University Press, 2004. 140 p.
5. Губин С. В., Лупачев А. В. Подходы к классификации почв аккумулятивных берегов морей восточного сектора Российской Арктики. DOI: 10.31857/S0032180X22010051 // Почвоведение. 2022. № 1. С. 25–32.
6. Кислотность органогенных горизонтов арктических почв побережья Баренцева моря / Е. В. Шамрикова, С. В. Денева, О. С. Кубик и др. DOI: 10.7868/S0032180X17110107 // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1325–1335.
7. Василевич Р. С., Безносовых В. А. Аминокислотный состав гумусовых веществ тундровых почв. DOI: 10.7868/S0032180X1506012X // Почвоведение. 2015. № 6. С. 685–692.

## **ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИПИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПОЧВАХ**

***Е. И. Лю-Лян-Мин, Е. В. Шамрикова, И. В. Груздев, Е. В. Жангуров***  
*Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар, Россия,  
gruzdeva.e@ib.komisc.ru*

В статье приведена методика извлечения и фракционирования липидных компонентов почвы с применением методов ускоренной экстракции (ASE) и колоночной сорбционной хроматографии. Выделены фракции алканов и жирных кислот. Методом газовой хромато-масс-спектрометрии установлен их компонентный состав. На основе этих данных рассчитан набор индексов, позволяющий интерпретировать направленность процессов почвообразования в рассматриваемом профиле почвы.

Ключевые слова: липидные компоненты, фракционирование, жирные кислоты, алканы, хромато-масс-спектрометрия.

Органическое вещество почвы представляет собой сложную смесь биологического материала, полученного из различных источников, включая микроорганизмы, растения, грибы и животных. Растительные и животные остатки подвергаются ряду процессов разложению и трансформации, в результате чего образуется гетерогенная смесь соединений, которые играют жизненно важную роль в формировании и функционировании почвы. Фракция почвенных липидов характеризуется высокой гидрофобностью, что позволяет отделять ее от других компонентов органического вещества почвы путем экстракции малополярными органическими растворителями [1].

Цель работы: оптимизация условий извлечения и фракционирования липидных компонентов почвы с целью повышения селективности и чувствительности их определения.



Для извлечения липидных компонентов из почвы применена система ускоренной экстракции растворителями (ASE), позволяющая использовать органические растворители при повышенных температуре и давлении. Нагревание (до 150 °С) ускоряет процесс экстракции, в то время как высокое давление (до 12 МПа) позволяет сохранять экстрагент в жидком состоянии в более широком температурном интервале.

Экспериментально подобраны условия экстракционного извлечения аналитов: тип экстрагента, температура экстрагента, продолжительность экстракции и количество циклов экстракции. В качестве экстрагента был выбран дихлорметан. Оптимальная температура экстрагента 80 °С, продолжительность цикла экстракции 4 мин. Процедура экстракции методом ASE предполагает многократную обработку образца экстрагентом. Для достижения количественного извлечения липидных компонентов достаточно проведения трех последовательных экстракций, что показано на разных типах почв.

Анализ экстрактов из почв на содержание органических компонентов проводят различными хроматографическими методами. Однако, применение даже высокоэффективной капиллярной газовой хроматографии часто сопровождается наложением хроматографических пиков компонентов, что ведет к получению недостоверной информации об анализируемом образце. Предварительное фракционирование или полное выделение отдельных классов органических соединений способствует повышению селективности определения липидных компонентов почвы.

Фракционирование органических компонентов экстрактов проводили методом колоночной хроматографии, в качестве сорбента применяли силикагель. В отличие от известных подходов, экстракт смешивали с сорбентом и испаряли досуха непосредственно на сорбенте, что позволяет избежать перерастворения остатка и сохранить летучие компоненты экстракта. После переноса сорбента в колонку проводили выделение алкановой фракции гексаном.

Для выделения фракции жирных кислот предложено этилировать их прямо на сорбенте, что позволяет исключить стадию элюирования и обеспечивает количественное определение кислот (рис. 1).

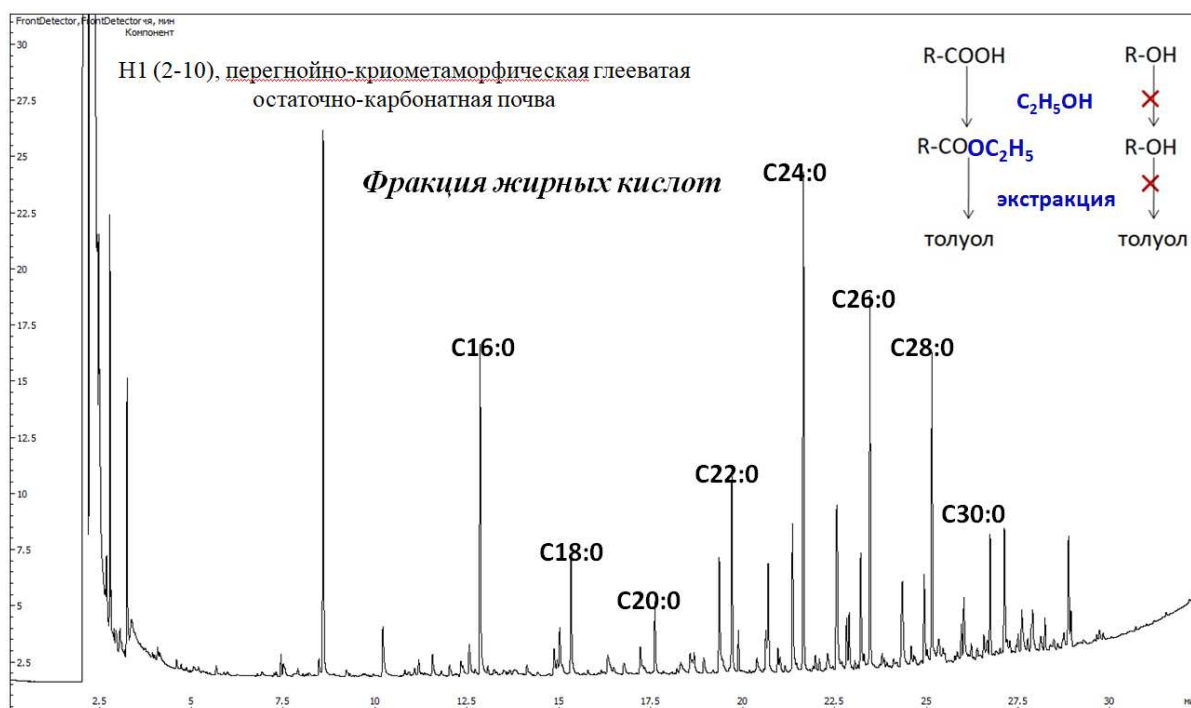


Рис. 1. Газохроматографическое определение фракции жирных кислот.

$C_{16}$  – гексадекановая кислота,  $C_{18}$  – октадекановая кислота,  
 $C_{20}$  – эйкозановая кислота,  $C_{22}$  – докозановая кислота,  
 $C_{24}$  – тетракозановая кислота,  $C_{26}$  – гексакозановая кислота,  
 $C_{28}$  – октаконтановая кислота,  $C_{30}$  – триаконтановая кислота

Методом хромато-масс-спектрометрии в полученных экстрактах были идентифицированы представители шести гомологических рядов алифатических карбоновых кислот, а именно: одноосновные, двухосновные, гидроскизамещенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные карбоновые кислоты линейного строения, а также карбоновые кислоты нелинейного строения (изо- и антеизо-).

Выделенные фракции жирных кислот и алканов позволяют рассчитать набор индексов, помогающих интерпретировать процессы почвообразования в рассматриваемом профиле почвы (рис. 2).

Длинноцепочечные жирные кислоты ( $>C_{19}$ ) обычно продуцируют высшие растения [2]. В исследуемом профиле в качестве наиболее распространенной ( $C_{maxFa}$ ) выступает тетракозановая кислота ( $C_{24}$ ). В фитомассе больше всего октакозановой кислоты ( $C_{28}$ ), что можно объяснить преобладанием тут травянистых растений.

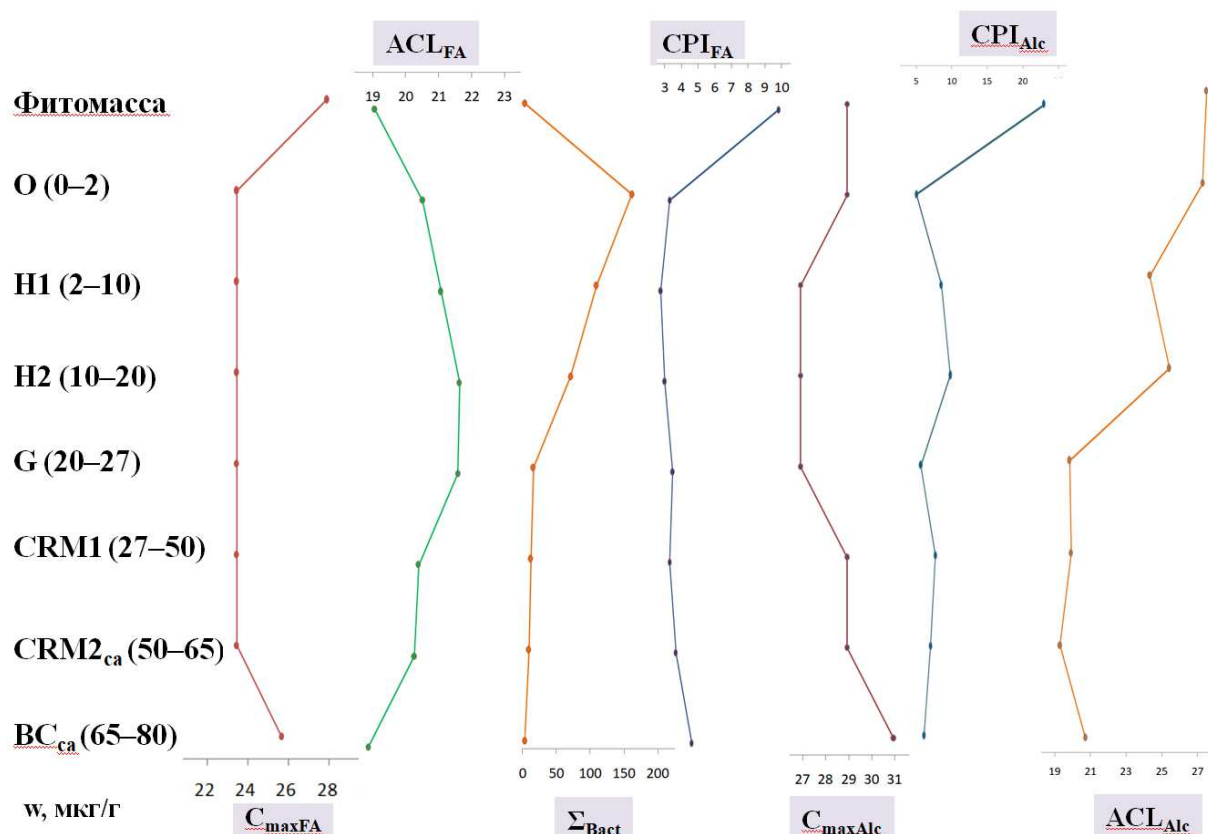


Рис. 2. Значения расчетных индексов в профиле почвы

Средняя длина цепи жирных кислот ( $ACL_{FA}$ ) позволяет оценить соотношение компонентов растительного и микробного происхождения внутри отдельных липидных фракций, поскольку микробная биомасса привносит в почву в основном короткоцепочечные гомологи ( $<C_{19}$ ) [3]. Преобладание микроорганизмов над липидами высших растений приводит к значительному снижению этого индекса по сравнению со значениями  $C_{maxFA}$ . Для исследуемого разреза значения индекса  $ACL_{FA}$  варьировали от 19 до 22 с максимумом в глеевом горизонте и минимумом для фитомассы.

Маркер бактерий ( $\Sigma_{Bact}$ ) рассчитывают с учетом кислот только бактериального происхождения, а именно изо- и антеизо-гомологов с нечетным числом атомов углерода. Так, значение маркера бактерий фитомассы близко к нулю, что указывает на отсутствие здесь микробной биомассы. Наибольшая активность микробной биомассы наблюдается в органогенном горизонте и далее она линейно убывает к глеевому горизонту.

Индекс нечетности углерода ( $CPI_{FA}$ ), характеризует процессы старения и деградации растительного материала. Выявленные изменения активности почвенного микробиома согласуются с  $CPI_{FA}$ , значения которого снижаются более чем в два раза при переходе от фитомассы к органогенному горизонту.

Все выводы, сделанные выше с использованием индексов для жирных кислот, подтверждаются изменением соответствующих индексов для алкановых углеводородов.

*Исследования выполнены в рамках гранта РНФ № 24-27-00231 «Карбонатные почвенно-мерзлотные геосистемы Полярного Урала: полигенез, эволюция, классификация».*

#### **Библиографический список**

1. Christie W. W. Lipid analysis. Bridgewater : Oily Press, 2003. P. 97–102.
2. Meyers P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. DOI: 10.1016/s0146-6380(97)00049-1 // Organic Geochemistry. 1997. No. 27. P. 213.–250.
3. Fatty acid, lipid class, and phospholipid molecular species composition of the soft coral *Xenia* sp. (Nha Trang Bay, the South China Sea, Vietnam) / A. B. Imbs, L. P. T. Dang, V. G. Rybin, V. I. Svetashev. DOI: 10.1007/s11745-015-4021-0 // Lipids. 2015. No. 50. P. 575–589.

### **КОНЦЕНТРАЦИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СТРУКТУРНЫХ КОМПОНЕНТАХ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ЛЕСОТУНДРЫ (ЮГО-ВОСТОК БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ)**

***О. В. Шахтарова, С. В. Денева, Е. М. Лаптева***

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия, olga.shakhtarova@mail.ru*

Приведены данные о содержании макро- и микроэлементов (в том числе тяжелых металлов) в структурных компонентах (общая масса, внутрипедная масса, скелетаны, конкреции) двух типов почв, распространенных в подзоне северной лесотундры. Отмечена аккумуляция большинства элементов во внутрипедной массе криометаморфических горизонтов, не превышающая регламентированные для почв значения ОДК (ПДК). В конкреционных новообразованиях их содержание превышает ОДК (ПДК) в несколько раз.

Ключевые слова: северная лесотундра, почвы, структурные компоненты, валовые формы макро- и микроэлементов, тяжелые металлы, коэффициенты накопления элементов.

Почвы северных территорий – наиболее хрупкие и чувствительны к любым изменениям – как климатическим, так и связанным с антропогенным воздействием. Особый интерес к почвам этого региона связан с необходимостью оценки и поиска индикаторов экологических последствий природных и антропогенных воздействия.

В почвах регуляция поведения макро- и микроэлементов, в т. ч. тяжелых металлов (ТМ), осуществляется за счет миграции, перераспределения и аккумуляции веществ как внутри профиля между горизонтами, так и внутри горизонта – между отдельными их структурными компонентами, например, внутрипедной массой (ВПМ), песчано-пылевой присыпкой – скелетанами

(СК), конкреционными новообразованиями (ЖМК). К настоящему времени исследовано содержание и профильное распределение макро- и микроэлементов в основных типах почв Большеземельской тундры (БЗТ), установлен региональный уровень их фонового содержания [1, 2]. Однако, особенности перераспределения и концентрации макро- и микроэлементов между структурными компонентами почв не изучены, что и предопределило цель данной работы.

Территория исследований (Воркутинский район, Республика Коми) представляет собой эрозионно-денудационно-аккумулятивную равнину, которая, с геохимической точки зрения, относится к ландшафтам с кислым глеевым классом миграции [3] и островным характером распространения многолетней мерзлоты (ММП). Объектами исследования послужили почвы, занимающие автоморфные позиции водораздельных ландшафтов в подзоне северной лесотундры юго-востока БЗТ. Под островком тундры исследовали структурные компоненты криометаморфической почвы (КМ), под лесной растительностью (елово-березовое сообщество) – светлосема иллювиально-железистого глееватого (СВиЖ). Профиль первой почвы имеет строение О–CRM1–CRM2–CRM3–CRM4 [4]; второй – О–Е–BF–CRMg–CRM–CRMС [5]. Методы выделения структурных компонентов (СК, ВПМ) подробно описаны в работе [4, 5]. Конкреции выделяли общепринятыми методами [6, 7]. Анализ валовых форм макро- (Fe, Al, Ca, Mg, K, Mn, P, Na) и микроэлементов (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Co, Cr, Ba, V, B, Sr), в т. ч. ТМ (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Co) в структурных компонентах почвы (ВПМ, СК, ЖМК) и общей массе почвы (ОМ) выполнен в экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Исследования показали, что содержание макро- и микроэлементов в рассмотренных объектах ниже их содержания в почвах фоновых территорий БЗТ [2, 3]. Структурные компоненты (ОМ, СК, ВПМ) рассмотренных нами почв в соответствии с классификацией почв по степени загрязнения ТМ [8] характеризуются средним и низким уровнем содержания Cu (КМ 6,1–16 мг/кг; СВиЖ 6–24 мг/кг), Pb (КМ 4,2–10 мг/кг; СВиЖ 4–12 мг/кг), Zn (КМ 24–48 мг/кг; СВиЖ 23–72 мг/кг), Ni (КМ 14–34 мг/кг; СВиЖ 13–46 мг/кг), средним и повышенным – Cd (КМ 0,2–0,5 мг/кг; СВиЖ 0,19–0,6 мг/кг). Низкое содержание Pb, Zn, Cu, Ni характерно для СК, среднее – для ВПМ и ОМ, повышенное содержание Cd для ВПМ и ОМ криометаморфических горизонтов. Содержание элементов в структурных компонентах, как правило, ниже регламентированных для почв значений ОДК (ПДК) [9]: Pb – в 5–16; Ni – в 3–1,1; Cd – в 4–2; Zn – в 2–5; Cu – в 3–12; V – в 1,6–5; Mn – в 2–11 раз.

Расчет коэффициентов накопления элементов (Кн) как соотношения содержания элемента в структурном компоненте (ВПМ, СК) к таковому в ОМ показал, что в почве КМ максимальные значения Кн приходятся на ВПМ криометаморфических горизонтов, расположенных в нижней части профиля, т.е. в горизонтах CRM3 и CRM4 (рис. 1). Из макроэлементов в ВПМ концентрируются Al, K, Na, в меньшей степени – Fe, Ca, Mg. Из микроэлементов (в т. ч. ТМ) аккумулируются Zn, Sr, в меньшей степени – Ni и Co. Для СК ве-

личины  $K_n$  в основном  $< 1$ , за исключением горизонтов CRM3 и CRM4. В СК горизонта CRM3 показатели  $K_n$  выше 1 для Ca, P и Sr; в CRM 4 – для Al, Ca, K, Na, Zn, Cr, Ba, V, Sr, в CRM2 – для Al. Минимальные значения  $K_n$  как макро-, так и микроэлементов отмечены для СК горизонта CRM1. Некоторое накопление элементов в СК горизонта CRM4 почвы КМ может быть обусловлено процессами иллювиирования элементов в форме органо-минеральных соединений и осаждением на окислительном барьере.

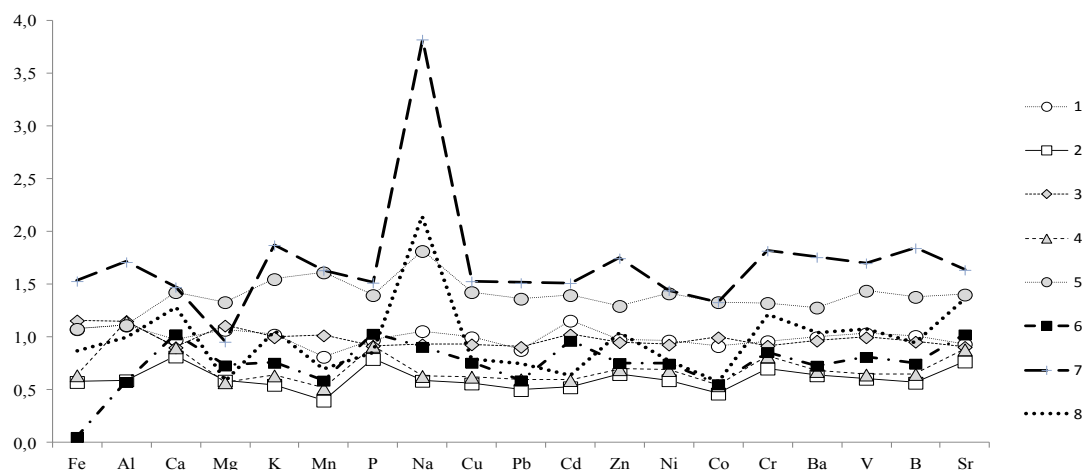


Рис. 1. Коэффициенты накопления химических элементов ( $K_n$ ) во внутрипедной массе и скелетанах криометаморфической почвы. Горизонты: 1 – CRM 1 (ВПМ); 2 – CRM1 (СК); 3 – CRM2 (ВПМ); 4 – CRM2 (СК); 5 – CRM3 (ВПМ); 6 – CRM3 (СК); 7 – CRM4 (ВПМ); 8 – CRM4 (СК)

Для почвы СВиж также характерно накопление элементов в ВПМ (рис. 2). Максимальные значения  $K_n$  приходятся на ВПМ горизонта CRMg. Кроме того, отмечено накопление элементов в ВПМ горизонтов: BF (Cd), CRM (Ca, K, Mn, Na, микроэлементы за исключением Cr и V), CRMg (все элементы за исключением Fe, Al, Mg, Cr и V), CRMС (Al, Mg). Ожелезненные зоны и гумусо-железистые аккумуляции, сосредоточенные в горизонте BF вложенного микроподзола (Е-BF), являются адсорбционным микрогеохимическим барьером, как и оглеенные пятна горизонта CRMg. В СК почвы СВиж, как и почвы КМ, величины  $K_n < 1$ . Наибольшие показатели  $K_n$  характерны для СК, выделенных из горизонтов CRM и CRMС.

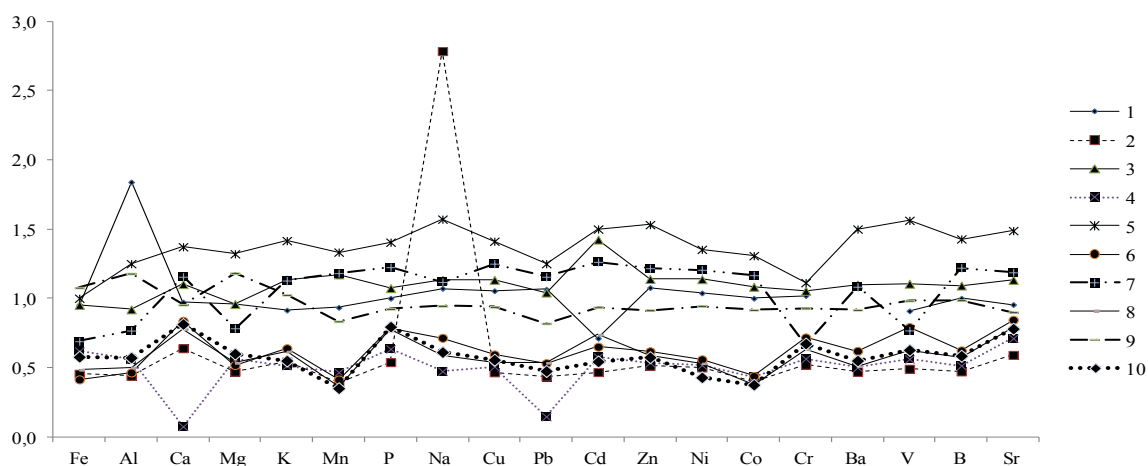


Рис. 2. Коэффициенты накопления химических элементов ( $K_n$ )

во внутриведенной массе и скелетанах светлосема иллювиально-железистого. Горизонты: 1 – Е (ВПМ); 2 – Е (СК); 3 – ВF (ВПМ); 4 – ВF (СК); 5 – CRMg (ВПМ); 6 – CRMg (СК); 7 – CRM (ВПМ); 8 – CRM (СК); 9 – CRMC (ВПМ); 10 – CRMC (СК)

В исследованных почвах содержание конкреций незначительно и составляет, как правило, менее 1 % от массы почвы. Для сравнения, в почвах таежной зоны массовая доля конкреций может составлять 1–7(13)% [10] – в подзолистых почвах средней тайги в среднем 0,3–1,8(3,5)%, в подзолистых поверхностно-глеевых почвах до 2–3%. В почвах лесотундры основной пул конкреций (до 1–3%) формируется, как правило, в верхних горизонтах почвенного профиля, где происходит смена окислительно-восстановительных условий. В почвах южной тундры, характеризующихся более выраженным переувлажнением и оглеением, количество ЖМК снижается [6], так как постоянное переувлажнение исключает возможность их образования. В почвах лесотундры преобладают мелкие фракции с диаметром менее 2 мм. Конкрекции крупных фракций (диаметр более 2–3 мм) встречены в некоторых горизонтах почвы КМ – в гор. CRM1 (43%) и CG (38%).

В силу особенностей своего формирования [9, 10] ЖМК характеризуются повышенным содержанием элементов по сравнению с ОМ почв (рис. 3). Установлено, что наиболее активно конкреции, выделенные из почв, аккумулируют такие элементы, как Pb, Cd, Co, As, Mn, Fe. В конкрециях, выделенных из почвы КМ,  $K_n$  элементов (соотношение содержания элемента в ЖМК к ОМ) составляет в среднем для Mn (2,5–11), Fe (2,29–4,75), Ca (0,59–1,67), K (0,42–2,08), Na (0,61–1,35), Cu (0,72–3,06), Pb (2,36–4,62), Ni (0,88–3,64), Co (1,13–11,82), As (2,73–10). В ЖМК, выделенных из системы горизонтов Е–ВF почвы СВиж, накапливаются такие элементы, как Mn (1,75–6,27), Fe (2,1–2,91), Co (1,25–4,9), Cd (3–3,5), Pb (1,86–3,92). Их содержание в ЖМК (за исключением Zn, Cu) превышает регламентированные для почв значения ОДК в несколько раз, в частности для Ni отмечено превышение в 2–15 раз, Cd – 1–4, Pb – 1–2, As – 2–12 раза, что в 2–8 раза выше по сравнению с содержанием этих элементов в ОМ. Для Mn установлено превышение ПДК в



15–22 раза. Интенсивное накопление ТМ в ЖМК можно рассматривать в качестве механизма защиты и очищения почв от ТМ [10].

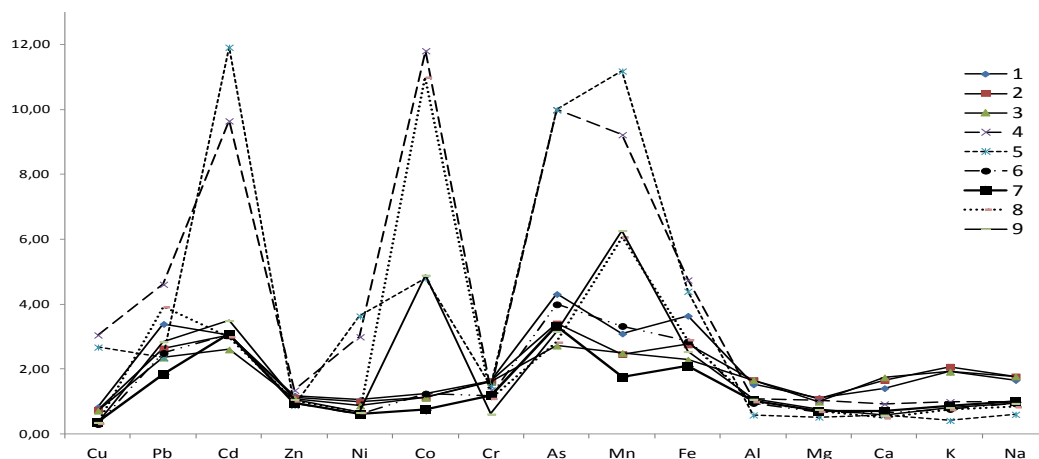


Рис. 3 Коэффициенты накопления (Кн) химических элементов, рассчитанные для железо-марганцевых конкреций, выделенных из почв северной лесотундры. Горизонты криометморфической почвы:

1 – CRMe (2-3); 2 – CRMe (1-2); 3 – CRMe (0,25-1); 4 – CRM (1-2); 5 – CG (1-2). Горизонты светлосема иллювиально-железистого: 6 – E (1-2); 7 – E (0,25); 8 – BF (1-2); 9 – BF (0,25).

В скобках приведен диаметр фракций, мм

Таким образом, на примере почв северной лесотундры выявлены особенности аккумуляции химических элементов в системе: «общая масса почвы (ОМ) – внутрипедная масса (ВПМ) – скелетаны (СК)» и «общая масса почвы (ОМ) – железо-марганцевые конкреции (ЖМК)».

Оценка содержания макро- и микроэлементов, в том числе ТМ, в структурных компонентах почв (ОМ, СК, ВПМ) свидетельствует о среднем и низком (ОМ, СК), среднем и повышенном (ВПМ) уровнях их содержания. Отмечено повышенное содержание во всех структурных компонентах почв северной лесотундры Cd, которое, скорее всего, обусловлено геохимическими особенностями региона и спецификой антропогенной нагрузки. Содержание в ОМ, СК, ВПМ тяжелых металлов – приоритетных загрязнителей среды (Pb, Ni, Cd, Zn, Cu, V, Mn) не превышает регламентированных для почв значений ОДК(ПДК), что свидетельствует об отсутствии загрязнения тяжелыми металлами почв исследованной территории. Аккумуляцию элементов, в том числе тяжелых металлов, в конкрециях можно рассматривать в качестве механизма защиты и очищения почв от ТМ. Повышенное содержание тяжелых металлов – приоритетных загрязнителей среды в конкреционных новообразованиях, равно как и их повышенная концентрация в скелетанах, приуроченных к границе раздела фаз и выполняющих функцию своего рода сорбционного микробарьера, могут служить одним из индикаторов загрязнения почвы данными поллютантами.



*Работа выполнена в рамках темы НИР ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Почвы и почвенные ресурсы Европейского Северо-Востока России в условиях современных климатических изменений, антропогенного пресса и социально-экономических вызовов» № 125021902454-1.*

#### **Библиографический список**

1. Фоновое содержание тяжелых металлов, мышьяка и углеводородов в почвах Большеземельской тундры / А. А. Дымов, Е. М. Лаптева, А. В. Калашников, С. В. Денева. DOI: 10.25750/1995-4301-2010-4-043-048 // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 4. С. 43–48.
2. Ландшафтно-биогеографические аспекты аккумуляции и миграции тяжелых металлов в почвах Арктики и Субарктики европейского Северо-Востока / Е. М. Лаптева, Д. А. Каверин, А. В. Пастухов и др. // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2015. № 3 (23). С. 28–41.
3. Перельман, А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М. : Астрель, 2000. 764 с.
4. Русанова Г. В., Шахтарова О. В. Особенности автоморфного почвообразования в ландшафтах Большеземельской тундры // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2013. № 3. С. 29–34.
5. Русанова Г. В., Денева С. В., Шахтарова О. В. Особенности генезиса автоморфных почв северной лесотундры (юго-восток Большеземельской тундры). DOI: 10.7868/S0032180X15020100 // Почвоведение. 2015. № 2. С. 145–155.
6. Macro- and microelements in Fe-Mn concretions of cryogenic soils / S. V. Deneva, E. M. Lapteva, A. N. Panyukov, et al. DOI: 10.1088/1755-1315/862/1/012002 // The VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society : IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 862. Bristol : IOP Publishing, 2021. P. 012002.
7. Тимофеева Я. О., Голов В. И. Аккумуляция микроэлементов в орштейнах почв (обзор литературы) // Почвоведение. 2010. № 4. С. 434–440.
8. Обухов А. И., Ефремова Л. Л. Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы : материалы Всесоюзной конф. (28–30 декабря 1987 г. Москва). М., 1988. С. 23–36.
9. ГН 2.1.7.2042-06 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
10. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Лесная зона (сезонно-промерзающие почвы). Сыктывкар, 2002. 100 с. (Институт биологии Коми научного центра УрО РАН).

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ПРИРЕЧНЫХ ЭКОТОНОВ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК ЮГА ВЯТСКОГО КРАЯ

*А. М. Прокашев<sup>1,2</sup>, Б. А. Ананченко<sup>1</sup>, А. С. Матушкин<sup>1</sup>,  
С. А. Пупышева<sup>1</sup>, Ю. Г. Чендев<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет,  
г. Киров, Россия, amprokashev@gmail.com,*

<sup>2</sup> *Вятский государственный агротехнологический университет,  
г. Киров, Россия,*

<sup>3</sup> *Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия*

Представлены данные по морфологии, химическому составу, физико-химическим свойствам неизвестных ранее компонентов в составе почв на элювии карбонатных песчаников коренных склонов средних рек бассейна р. Вятки. По строению профиля некоторые из представленных разрезов в классификации почв России (2004, 2008) близки к отделу литоземов. Предложено отнесение таких почв к новому, не выделяемому ныне типу карболитоземов серогумусовых.

Ключевые слова: карболитоземы, элювий песчаников карбонатных, классификация почв

Комплексное изучение почвенного покрова Вятской земли на современном уровне было начато В. В. Тюлиным с типов зональных подзолистых, дерново-подзолистых и серых почв на покровных суглинках и водно-ледниковых отложениях водораздельных пространств [1]. Меньшее внимание до недавнего времени уделялось почвам экотонных местоположений, примером которых могут служить приречные склоны коренных берегов местных рек [2]. Для них характерно формирование почв на выходах пород разного фациального генезиса, нередко быстро сменяемых по вертикали, в зависимости от литологии, рельефа, крутизны и экспозиции склонов, гидротермических условий, водного режима и т. п. Изучение подобных геосистем и их почв имеет несомненное научное значение ввиду возможности создания более полного представления о компонентном составе почвенного покрова, условиях и факторах, определяющих его генезис, и эколого-познавательную ценность.

Объекты настоящего исследования – почвы левого коренного склона р. Шошма в пределах Мари-Турекского плато (Малмыжский р-н Кировской области). Предмет исследования: морфология, гранулометрический (по Качинскому), валовой химический (RFA) состав, общие физико-химические свойства и генезис почв проблематичной классификационной принадлежности.

Морфология почв представлена на примере одного из разрезов, заложенного в средней части крутого коренного склона южной экспозиции высотой около 70 м относительно уреза воды в реке. Порода – песчаник карбонатный, увлажнение атмосферное, растительность – злаково-разнотравный землянично-поляниковый луг с ковылем и полынью белой.

| Горизонт, глубина, см | Морфология горизонтов                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| О: 0–1                | Подстилка фрагментированная из злаково-разнотравной ветоши                                                                                                                                                                  |
| АУса: 1–16            | Влажный, буро-коричневый, супесчаный, бесструктурный, рыхлый, энергично реагирует с 10% раствором HCl, корней много, переход ясный, волнистый                                                                               |
| ВСса: 16–30           | Влажный, буровато-сероватый (цвет определяется главным образом окраской песчаника), песчаный, бесструктурный, плотный, хрустящий при внедрении ножа, реагирует с 10% раствором HCl, корней меньше, переход ясный, волнистый |
| Сса: 58–86            | Влажный, буровато-коричневый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, местами уплотненный за счёт сцементированных фрагментов песчаника слабой крепости, реагирует с 10% раствором HCl, корни единичные                           |

Морфолого-генетический анализ свидетельствует о слабой педогенной переработке почвообразующей породы, причиной которой является ускоренное денудационное обновление и слабое промачивание профиля ввиду крутизны склона и его южной экспозиции.

Вследствие генетических особенностей породы – элювия песчаника исследуемая почва характеризуется очевидным доминированием в гранулометрическом составе песчаных фракций мелкозема, составляющих в сумме не менее 70–90%. Частицы физической глины заметны лишь в верхнем серогумусовом горизонте, и количество их резко убывает с глубиной (табл. 1).

*Таблица 1*

**Гранулометрический состав карболитозема серогумусового на элювии песчаника карбонатного (разрез Ш-13)**

| Горизонт, глубина образца, см | Содержание фракций, % |           |           |            |             |         |        |
|-------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------|-------------|---------|--------|
|                               | 1–0,25                | 0,25–0,05 | 0,05–0,01 | 0,01–0,005 | 0,005–0,001 | < 0,001 | < 0,01 |
| АУса: 1–16                    | 40,1                  | 33,1      | 10,3      | 4,2        | 4,9         | 7,4     | 16,5   |
| ВСса: 16–30                   | 71,9                  | 24,4      | 0,4       | 0,5        | 0,2         | 2,6     | 3,4    |
| Сса: 58–86                    | 60,3                  | 31,6      | 2,4       | 1,0        | 0,8         | 4,0     | 5,7    |

Результаты валового химического анализа представлены с корректировкой до 100% ввиду недостающих 12–13% – по данным RF-анализа (табл. 2). Из них следует: во-первых, повышенное количество полуторных оксидов (с максимумом в дерновом горизонте), высокое содержание Са и Мп (последнего – ввиду карбонатного геохимического барьера); во-вторых, существенная вертикальная дифференциация Са; в-третьих, пониженное содержание SiO<sub>2</sub>, (объяснимое особенностями методики RFA).

Таблица 2

**Валовой химический состав карболитозема серогумусового  
на элювии песчаника карбонатного (разрез III-13)**

| Горизонт:<br>глубина<br>образца, см | % от прокаленной почвы |                                |                                |       |      |                   |                  |                  |                               |      |
|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|------|
|                                     | SiO <sub>2</sub>       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO  |
| A <sub>Yca</sub> : 1–16             | 63,96                  | 12,92                          | 7,13                           | 7,89  | 3,23 | 1,94              | 1,98             | 0,75             | 0,15                          | 1,03 |
| BC <sub>ca</sub> : 16–30            | 63,82                  | 10,68                          | 5,17                           | 13,18 | 2,61 | 2,19              | 1,57             | 0,52             | 0,14                          | 0,85 |
| C <sub>ca</sub> : 58–86             | 62,38                  | 10,61                          | 5,20                           | 15,12 | 2,75 | 1,68              | 1,55             | 0,52             | 0,15                          | 0,86 |

Физико-химические и, частично, агрохимические свойства тесно согласуются с валовым химическим и, в меньшей степени, гранулометрическим составом (табл. 3). Соответствие выражается в щелочной реакции почвенной среды, а несоответствие – в завышенных величинах суммы оснований (S), включающей не столько обменно поглощенные катионы Ca и Mg, сколько входящие в состав карбонатного цемента элювия песчаника. Поэтому показатели S, ёмкости катионного обмена (ЕКО) и степени насыщенности основаниями (V), заключенные в скобки, в данном случае условны и значения их явно завышены. Невысокое содержание гумуса соответствует комплексу условий педогенеза в приречных экотонных позициях.

Таблица 3

**Физико-химические и агрохимические свойства карболитозема  
серогумусового на элювии песчаника карбонатного (разрез III-13)**

| Горизонт,<br>глубина, см | pH               |     | Нг  | S      | ЕКО    | V    | Гумус |
|--------------------------|------------------|-----|-----|--------|--------|------|-------|
|                          | H <sub>2</sub> O | KCl |     |        |        |      |       |
| A <sub>Yca</sub> : 3–13  | 8,0              | 7,6 | 0,4 | (25,9) | (26,3) | (98) | 2,14  |
| BC <sub>ca</sub> : 18–28 | 8,2              | 7,8 | 0,2 | (25,8) | (26,0) | (99) | но    |
| C <sub>ca</sub> : 33–43  | 8,3              | 7,8 | 0,2 | (23,0) | (23,2) | (99) | но    |

*Примечание:* но – не определяли.

Рассматриваемый почвенный объект имеет много общего с изученными нами ранее почвами на элювии карбонатного песчаника водораздельных пространств Верхневотлужской низменности [3]. С другой стороны, он плохо «укладывается» в диагностические параметры новой (2004 и 2008) и тем более старой (1977) классификации почв России и СССР. По мощности и строению профиля подобные почвы отчасти близки к представителям отдела литоземов и/или отдела органо-аккумулятивных почв. В отличие от них они превосходят их по мощности за счёт наличия переходных горизонтов. На данном этапе исследований предлагается отнесение таких педообъектов к отделу литоземов в качестве нового типа – карболитозёмов серогумусовых, отсутствующего в последней российской классификации почв [4].

**Библиографический список**

1. Тюлин В. В. Почвы Кировской области. Киров : Волго-Вятск. кн. изд-во, 1976. 288 с.

2. Чепурнов Р. Р., Прокашев А. М. Ландшафтная структура долинно-междуречного геоэкотона нижней Вятки : монография. Киров : Изд-во ВятГУ, 2020. 210 с.

3. Дерново-карбонатные почвы на элювии пермских песчаников Вятского Прикамья / А. М. Прокашев, И. А. Варган, А. С. Матушкин и др. // II Никитинские чтения «Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах» : материалы междунар. науч. конф. (14–17 ноября 2023 г.). Пермь : Изд-во «От и До», 2023. С. 73–78.

4. Полевой определитель почв России. М. : Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.

## **ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ НА ГИПССОДЕРЖАЩИХ ОТХОДАХ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

***Е. В. Дабах***

*ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия,  
dabakh@mail.ru*

Проведен сравнительный анализ химического состава и свойств почв, формирующихся на гипсодержащих субстратах на техногенной территории в окрестностях хранилищ отходов химических предприятий в подзоне южной тайги. Показано, что процессы выветривания и начального почвообразования сопровождаются накоплением органического вещества, слабым подкислением субстрата, снижением общего содержания кальция и серы в поверхностном слое почв и расширением их отношения. Наиболее активно процессы протекают в условиях дополнительного оттока вещества на склоне под древесной растительностью.

Ключевые слова: гипсодержащие отходы, начальное почвообразование, валовой состав почв.

На техногенной территории отходы нередко становятся субстратом, который в процессе выветривания и почвообразования активно осваивается растениями. Формирование почв на не типичных для данной местности породах – ситуация, весьма характерная для селитебных и промышленных территорий. В таежно-лесной зоне почвообразование на гипсовых отложениях происходит крайне редко. Это обусловлено, прежде всего, весьма ограниченными по площади выходами гипса на поверхность. На севере Европейской России почвы на плотных гипсах встречаются в карстовых ландшафтах, где на поверхность выходят нижнепермские морские отложения. Вследствие хорошей растворимости гипса (2,4 г/л) формирование почвенного профиля на гипсодержащих породах возможно лишь благодаря тому, что скорость физической дезинтеграции и формирования гипсового мелкозема существенно превышает скорость растворения гипса [1]. В работе [2] показано, что скорость биохимического растворения плотного гипса под лесной подстилкой в северотаежных условиях составляет около 20 г/кг или 0,02 г/см<sup>2</sup> в год.

Техногенные гипсодержащие субстраты распространены в районе г. Кирово-Чепецка Кировской области в долине р. Вятки, где на площади 4,5 га расположено открытое действующее хранилище отходов химического производства, так называемая «гипсовая гора». На этой территории гипс также присутствует в составе техногенных илов оз. Просного, сформировавшихся из насыщенных сульфатами и карбонатами сточных вод, заполнивших часть озера и вышедших на дневную поверхность [3]. Кроме того, он встречается в этом районе в виде гипсовых линз на поверхности ликвидированного хвостохранилища жидких отходов, при рекультивации которого гипс частично использовался в качестве насыпного материала [4]. Во всех случаях на дневной поверхности гипс подвергается воздействию факторов среды, становится субстратом, на котором поселяется растительность. Самозаращение гипсодержащих отходов происходит медленнее по сравнению с алюмосиликатным субстратом. В частности, на поверхности засыпанного хранилища отходов через пять лет после рекультивации проективное покрытие растительности (в основном мхов) на гипсовой линзе составляло всего 5–10%, в то время как на рыхлых супесях и суглинках окружающей территории проективное покрытие пырея ползучего местами достигало 100% [3]. Заращение гипсовой горы, по-видимому, происходило более 20 лет, о чем свидетельствует возраст древесных пород. Характер и скорость заращения зависят от мощности рыхлой толщи: в 2024 г. на склоне гипсовой горы она составляла примерно 20 см.

Целью настоящей работы является характеристика почв – эмбриозёмов (Technosols), формирующихся в подзоне южной тайги на гипсодержащих отходах. Объектами исследования являются техногенные поверхностные образования – примитивные почвы, смешанные образцы которых отобраны на частично заросшем открытом действующем хранилище отходов «гипсовой горе» и на засыпанном хранилище отходов, где гипсовые линзы представляют собой насыпной материал, используемый наряду с другими материалами для рекультивации хвостохранилища мела.

Методы исследования – общепринятые: pH – по ГОСТ 26423-85, содержание органического вещества – по ГОСТ 26213-2021. Валовой химический состав образцов определялся в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (г. Черноголовка) методами масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Результаты анализа показали, что почвы, формирующиеся на отходах, значительно отличаются от почв на аллювиальных отложениях. Прежде всего, это касается реакции среды – pH (табл. 1). В отличие от сильноокислых органо-минеральных горизонтов природных почв в техногенных почвах щелочная реакция среды. В самом верхнем органо-минеральном слое почв на гипсовой горе отмечается слабое подкисление, характерное для начальных стадий почвообразования на разных отвалах, интенсивность его зависит от со-

става пород [5]. Количество органического вещества в верхнем 5-ти см слое в почве на гипсовой горе значительно выше, чем на фоновом участке и на гипсовой корке, что соответствует тезису о ведущей роли органического вещества в подкислении почв. В валовом составе верхнего горизонта почв на алюмосиликатной породе – пойменном аллювии отмечается характерное для почв содержание макроэлементов. В почвах на отходах все представленные значения показателей значительно ниже, чем в фоновой почве, за исключением кальция и серы, содержание которых в десятки раз выше. Следует отметить тенденцию к снижению их концентрации по мере возрастания степени выветривания породы на гипсовой горе. Поскольку процессы выветривания и почвообразования на гипсовой корке менее длительные по времени, происходят на относительно ровной поверхности при слабом развитии растительности, составы верхнего слоя гипсовой коры и менее выветрелой нижней части профиля почвы на гипсовой горе довольно близкие.

Характерное для гипса отношение содержания кальция и серы выявлено в образцах гипсовой коры и нижнего слоя профиля на гипсовой горе, оно существенно расширяется к поверхности в почвах на гипсовой горе (рис.). Максимальные значения отмечены в фоновой почве. На гипсовой горе вынос серы происходит более интенсивно, чем кальция. Вероятно, высвобождающийся при растворении гипса кальций частично вымывается, частично поглощается органическим веществом. Возможно, при растворении гипса образуются карбонаты [6].

Анализ содержания микроэлементов отражает условный характер фоновой почвы, так как в ней отмечено высокое содержание ряда элементов – V, Ni, As и особенно Sr (табл. 2), и дает представление об общем состоянии аллювиальных почв на техногенной территории в окрестностях хранилищ отходов. В почвах на гипсовых отходах выявлено повышенное содержание стронция и ртути (превышающее региональный фон и ПДК), а также высокое по сравнению с условным фоном содержание тяжелых металлов: Zn, Mo, Cd, Sb в поверхностном слое почв на гипсовой горе.

Таблица 1

**Валовой состав и свойства образцов почв**

| Место отбора проб | Глубина, см | pH <sub>вод.</sub> | Орг. вещ-во, % | Валовой состав, % |       |                                |                                |                               |       |                  |      |                  |       |
|-------------------|-------------|--------------------|----------------|-------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------|------------------|------|------------------|-------|
|                   |             |                    |                | Na <sub>2</sub> O | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Собщ  | K <sub>2</sub> O | CaO  | TiO <sub>2</sub> | MnO   |
| Гипсовая гора     | 0–2         | 7,2                | 26,6           | 0,16              | 0,65  | 2,6                            | 1,4                            | 0,43                          | 2,4   | 0,32             | 19,3 | 0,11             | 0,039 |
|                   | 2–5         | 7,3                | 11,2           | 0,073             | 0,25  | 1,3                            | 0,65                           | 0,18                          | 10,0  | 0,15             | 29,4 | 0,052            | 0,016 |
|                   | 10–20       | 7,6                | 1,64           | 0,021             | 0,093 | 0,35                           | 0,18                           | 0,048                         | 13,1  | 0,039            | 28,3 | 0,013            | 0,004 |
| Хвостохранилище   | 0–2         | 7,2                | 2,40           | 0,56              | 0,49  | 3,5                            | 1,6                            | 0,057                         | 0,5   | 0,59             | 1,6  | 0,15             | 0,027 |
|                   | 2–6         | 6,5                | 1,13           | 0,18              | 0,15  | 1,1                            | 0,49                           | 0,028                         | 11,5  | 0,20             | 22,3 | 0,045            | 0,007 |
| Фон               | 0–7         | 4,9                | 12,9           | 0,76              | 0,72  | 13,6                           | 7,5                            | 0,22                          | 0,043 | 1,2              | 0,61 | 0,64             | 0,24  |

Таблица 2

**Элементный состав образцов почв, мг/кг**

| Элемент | Гипсовая гора (глубина, см) |      |       | Хвостохранилище (глубина, см) |       | Фон (глубина, см) | ПДК (ОДК) в почвах |
|---------|-----------------------------|------|-------|-------------------------------|-------|-------------------|--------------------|
|         | 0–2                         | 2–5  | 10–20 | 0–2                           | 2–6   | 0–7               |                    |
| V       | 27,7                        | 13,6 | 4,5   | 29,6                          | 11,6  | 167               | 150                |
| Ni      | 40,9                        | 24,1 | 13,4  | 24,6                          | 9,1   | 88,6              | 20-40-80           |
| Cr      | 39,5                        | 22,8 | 10,7  | 30,8                          | 16,1  | 106               | –                  |
| Cu      | 30,3                        | 16,2 | 6,4   | 13,6                          | 5,4   | 45,8              | 33-66-132          |
| Zn      | 116                         | 38,0 | 15,9  | 28,8                          | 6,6   | 92,8              | 55-110-220         |
| As      | 2,9                         | 1,7  | < ПО  | 2,5                           | 0,61  | 11,1              | 2-5-10             |
| Sr      | 275                         | 200  | 109   | 90,9                          | 113   | 374               | 180*               |
| Mo      | 3,1                         | 2,3  | 1,1   | 0,60                          | 1,1   | 1,0               | –                  |
| Cd      | 0,68                        | 0,21 | 0,072 | 0,10                          | 0,047 | 0,26              | 0,5-1-2            |
| Sb      | 1,4                         | 0,66 | 0,26  | 0,42                          | 0,36  | 1,0               | 4,5                |
| Hg      | 3,6                         | 0,88 | 0,20  | 0,39                          | 1,5   | 0,1               | 2,1                |

Примечание: \* – региональный фон (Эколого-геохимическая карта Кировской области, ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, 1996).



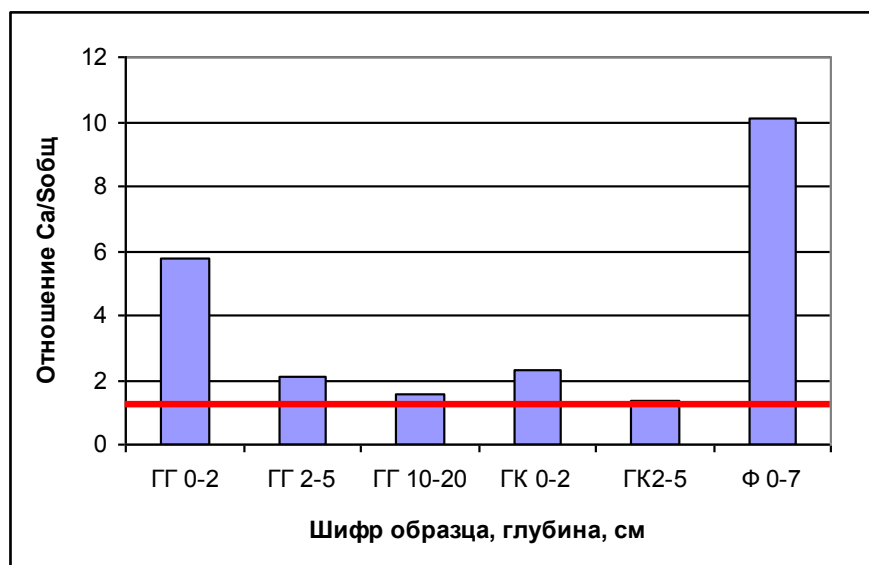


Рис. Отношение содержания Са и S в образцах почв, отобранных на техногенной территории.  
(Красная черта – отношение элементов в сульфате кальция, ГГ – гипсовая гора, ГК – гипсовая корка, Ф – фоновая почва)

Таким образом, результаты сравнительного анализа почв, сформировавшихся на гипсодержащих отходах на техногенной территории в окрестностях хранилищ отходов химических предприятий, показали, что процессы выветривания и начального почвообразования приводят к разрыхлению плотного отхода, накоплению органического вещества и слабому подкислению верхнего слоя. Процесс растворения гипса отражается в снижении содержания кальция и серы в валовом составе верхних слоев почв, изменении отношения кальция к сере, обусловленном поглощением высвобождающегося иона кальция органическим веществом и, возможно, образованием карбонатов. Длительность выветривания, характер растительности и рельеф – факторы, определяющие интенсивность преобразования отхода. Наиболее активно процесс почвообразования протекает на склоне гипсовой горы под древесной растительностью.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка состояния трансформированных экосистем подзоны южной тайги, методические подходы к их биоремедиации», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 125021402208-5.*

#### Библиографический список

1. Boreal soils on hard gypsum rocks: morphology, properties, and genesis / S. V. Goryachkin, I. A. Spiridonova, V. O. Targulian, S. N. Sedov // Eurasian Soil Science. 2003. Vol. 36. No. 7. P. 691–703.
2. Спиридонова И. А. Почвообразование и выветривание на плотных гипсах в бореальной зоне: пространственно-временные закономерности : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2007. 28 с.

3. Дабах Е. В. Почвообразование на техногенных озерных илах. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-4-030-039 // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 4 С. 30–39.
4. Кондакова Л. В., Дабах Е. В., Кислицына А. П. Формирование биоценоза на техногенных отходах. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-129-135 // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 129–135.
5. Махонина Г. И. Начальные процессы почвообразования в техногенных экосистемах Урала : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2004. 40 с.
6. Пономарева В. В. Особенности почвообразования на гипсоносных породах в таежной зоне (фитогенный метаморфоз  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - $\text{CaCO}_3$ ) // Докл. АН СССР. 1960. Т. 134. № 5. С. 1196–1199.

## ВЛИЯНИЕ ИНВАЗИИ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

**Ю. А. Смотрина<sup>1,2</sup>, Е. А. Скребенков<sup>1,2</sup>, Н. Н. Бондаренко<sup>2</sup>,  
Ю. В. Холопов<sup>2</sup>, Е. М. Лаптева<sup>1,2</sup>, И. В. Далькэ<sup>1,2</sup>, И. Г. Захожий<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет  
имени Питирима Сорокина, г. Сыктывкар, Россия, smotrina-juliya@yandex.ru

<sup>2</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия, lapteva@ib.komisc.ru

Оценено изменение структурно-агрегатного состава почв в постагрогенных экосистемах под разными типами растительности. Рассчитаны основные показатели структурно-агрегатного состава почв – коэффициент структурности, водопрочность агрегатов, водостойчивость. Показано, что после завершения сельскохозяйственного использования пахотных угодий в ряду: пашня → злаково-разнотравный луг → заросли *Heracleum sosnowskyi* → осиновый молодняк наиболее четкий тренд улучшения физических свойств почв прослеживается при использовании для характеристики физических свойств постагрогенных почв такого параметра, как коэффициент структурности.

Ключевые слова: дерново-подзолистые почвы, постагрогенные экосистемы, борщевик Сосновского, *Heracleum sosnowskyi*, средняя тайга.

На рубеже XX–XXI вв. во многих регионах Российской Федерации, в т. ч. в Республике Коми, начался вывод сельскохозяйственных земель из режима агроиспользования и формирование постагрогенных экосистем. В подзоне средней тайги на залежных участках при отсутствии ежегодного сенокоса происходила достаточно быстрая смена луговой стадии стадией мелколиственных молодняков, часть залежей заросла борщевиком Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*), который препятствует развитию древесных сообществ [1]. Известно, что постагрогенная трансформация почв во многом определяется уровнем окультуренности пахотных угодий, продолжительностью постагрогенной сукцессии, стадией и типом растительности, а также

особенностями использования пахотного угодья до и после его перевода в залежное состояние [2].

Цель исследования – выявить влияние инвазии *Heracleum sosnowskyi* на физические свойства дерново-подзолистых почв средней тайги на постагрогенном этапе формирования.

Объектами исследования послужили заброшенные участки пашни в окрестностях города Сыктывкар – административного центра Республики Коми (61.66 с. ш., 50.77 в. д.). До начала сельскохозяйственного освоения почвенный покров рассматриваемой территории был представлен автоморфными подзолистыми почвами. В настоящее время на данном участке, при сохранении его части в качестве пахотного угодья (П), наблюдается последовательное зарастание участка злаково-разнотравной растительностью (ЗРЛ), древесной мелколиственной порослью с преобладанием осины (Ос), внедрением на участок растений *Heracleum sosnowskyi* (БС). В рассматриваемом ряду залежных участков к молодым отнесены сообщества с возрастом 2–4 года, средневозрастным – 5–15 лет, старовозрастным – более 15 лет [3]. Ориентировочный возраст сообществ с борщевиком Сосновского 4–5 лет.

Для оценки агрегатного состава почв использовали методы сухого и мокрого просеивания по Н. И. Саввинову [4]. Отбор проб для этих целей проводили послойно из верхних горизонтов почв (0–10, 10–20, 20–30 см) из заложенных на каждом ключевом участке с разными растительными сообществами почвенных разрезов. Исключение составил участок злаково-разнотравного луга, где отбор проб проводили на глубину 0–10 и 20–20 см. Все исследования выполнялись в 3-кратной повторности.

Коэффициент структурности ( $K_c$ ), под которым понимается процентное отношение количества агрегатов от 10 до 0,25 мм к суммарному количеству агрегатов с диаметром более 10 и менее 0,25 мм, оценивали по шкале С. И. Долгова и П. У. Бахтина [3]: хорошая структурность –  $K_c > 1,5$ , удовлетворительная –  $K_c = 0,67–1,5$ ; неудовлетворительная –  $K_c < 0,67$ . Оценка критерия водопрочности агрегатов ( $K_{ван}$ ) – отношения суммы агрегатов (1–0,25 мм), полученных при мокром и сухом просеиваниях (в процентах), проводили по шкале [5], согласно которой значение  $K_{ван} > 800$  соответствует отличной оценке; 500–800 – очень хорошей; 100–500 – хорошей; 50–100 – удовлетворительной; менее 50 – неудовлетворительной. Для оценки и прогноза устойчивости почвы к внешним воздействиям окружающей среды, например: водной эрозии, сопротивление воздействию тяжелой техники оценивали с помощью коэффициента водостойчивости ( $K_v$ ) – как долю (%) агрегатов с диаметром более 0,25 мм, полученных при мокром просеивании [3]. Согласно [3], водостойчивость неудовлетворительная при  $K_v < 30\%$ , удовлетворительная – при  $K_v = 30–40\%$ , хорошая –  $K_v = 40–75\%$ , избыточно высокая – при  $K_v > 75\%$ .

Исследование структурно-агрегатного состояния почвы пахотного угодья и почв залежных участков показало следующее. В ряду рассмотренных участков к категории удовлетворительной и хорошей оструктуренности мож-

но отнести только почвы, формирующиеся на постагрогенном участке с внедрением борщевика Сосновского. Здесь на глубине 0–10 и 20–30 см величина  $K_c$  составляет 1,2–1,3, на глубине 10–20 см – 2,0 (рис. А). Нижние слои пахотного (10–30 см) и бывшего пахотного горизонтов (10–20 см) на участках пашни и злаково-разнотравного луга попадают в категорию удовлетворительно оструктуренных почв, в то время как верхний 0–10 см слой почв на этих участках характеризуется неудовлетворительным структурно-агрегатным состоянием – величина  $K_c = 0,5$ . Почва на участке, зарастающем молодой осиновой порослью, отличается крайне неудовлетворительным структурно-агрегатным состоянием. На глубине 0–10 и 10–20 см величина  $K_c$  составляет всего 0,2, что может быть обусловлено незначительным присутствием трав в напочвенном покрове. Однако нижняя часть бывшего пахотного горизонта (20–30 см) сохраняет удовлетворительное структурно-агрегатное состояние ( $K_c = 0,6$ ).

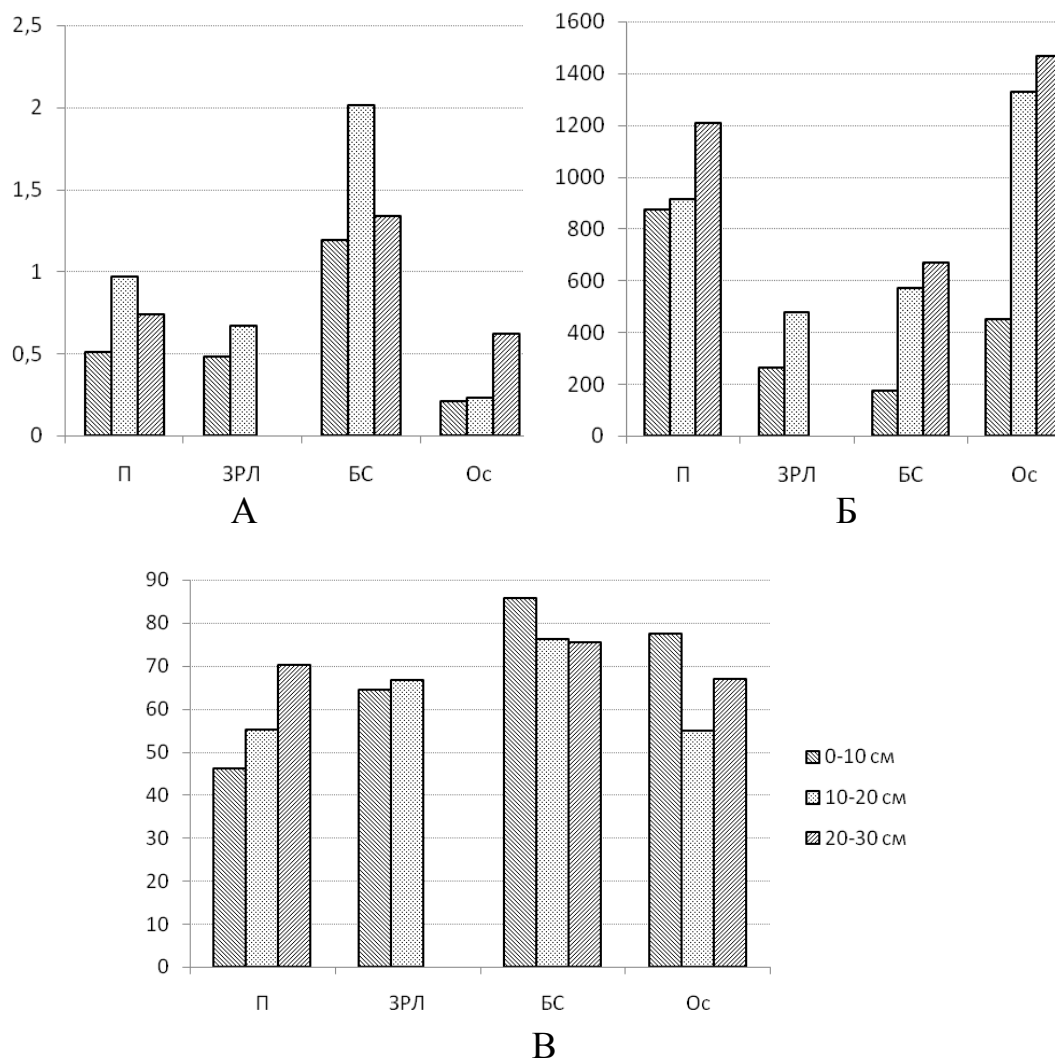


Рис. Коэффициенты структурности (А), водопрочности агрегатов (Б) и водоустойчивости (В) почв пахотного угодья (П) и залежных участков под разными типами растительности: ЗРЛ – злаково-разнотравный луг; БС – сообщество с борщевиком Сосновского; Ос – молодое осинное сообщество

Расчет таких показателей, как критерий водопрочности агрегатов (рис. Б) и водоустойчивости (рис. В), свидетельствует об относительно благоприятных по этим параметрам свойствах почв рассмотренных участков. По величине  $K_{vap}$  ни один из исследованных образцов не попал в категории с удовлетворительным ( $K_{vap} = 50\text{--}100\%$ ) и неудовлетворительным ( $K_{vap} < 50\%$ ) состоянием. Пахотный горизонт пашни (на всех глубинах) и бывший пахотный горизонт осинника (на глубинах 10–20 и 20–30 см) по водопрочности агрегатов характеризовались отличным состоянием. Нижняя часть (10–30 см) бывшего пахотного горизонта на участке с борщевиком имела очень хорошее ( $K_{vap} 573\text{--}671\%$ ), а верхний 0–10 см слой – хорошее ( $K_{vap} 173\%$ ) состояние. Почва участка ЗРЛ также имела по этому показателю хорошее состояние ( $K_{vap} 264\text{--}479\%$ ). По величине  $K_v$  все рассмотренные почвы характеризовались хорошей водоустойчивостью ( $K_v 46\text{--}70\%$ ), а почва участка с БС – даже избыточно высокой ( $K_v 75\text{--}86\%$ ). Хорошо выраженная водопрочность агрегатов и водоустойчивость почв рассмотренных пахотного и залежного участков может быть обусловлена изначальной высокой окультуренностью данного земельного участка. Значительное содержание гумусовых веществ ( $\omega(\text{Сорг})$  в пахотном горизонте  $\sim 5\text{--}5,5\%$ ) определяет формирование хорошо структурированных почв с высокой долей водопрочных агрегатов, способных противостоять внешним воздействиям.

Таким образом, впервые для Республики Коми изучен структурно-агрегатный состав дерново-подзолистых почв пахотных и залежных участков. Оценено его изменение в зависимости от типа растительного сообщества после вывода пашни из сельскохозяйственного производства. Показано, что наиболее благоприятный структурно-агрегатный постагрогенный состав формируется при внедрении на залежный участок растений *Heracleum sosnowskyi*. Под всеми типами растительных сообществ на залежных участках, равно как и на пашне, почвы характеризуются хорошей водоустойчивостью и водопрочностью почвенных агрегатов, что может быть обусловлено высоким уровнем окультуренности рассмотренного пахотного угодья, часть которого в настоящее время находится на стадии постагрогенной трансформации.

*Работа выполнена в рамках тем государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (номера госрегистрации: 125021201993-3 и 122040600021-4).*

#### Библиографический список

1. Структура и динамика роста ценопопуляций *Heracleum sosnowskyi* Manden. в условиях инвазии / И. В. Далькэ, С. П. Маслова, И. Г. Захожий и др. // Промышленная ботаника. 2024. Вып. 24. № 1. С. 112–116.
2. Changes in the carbon stocks, microbial and enzyme activities of retic albic podzol in southern taiga during postagrogenic evolution / I. N. Kurganova, V. M. Telesnina, V. O. Lopes de Gerenyu, et al. // Eurasian Soil Science. 2022. No. 7. P. 895–910.

3. Анализ структурно-агрегатного состава почв разновозрастных залежей Предсалаирья / А. Н. Безбородова, Д. А. Филимонова, Г. Ф. Миллер, С. В. Соловьев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2024. № 12. С. 7–11.

4. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М. : Агропромиздат, 1986. 416 с.

5. Структурное состояние и противоэрозионная устойчивость дерново-подзолистых почв, сформированных на моренных и лёссовидных суглинках / В. Б. Цырибко, Н. Н. Цыбулько, А. М. Устинова и др. // Почвоведение и агрохимия. 2019. № 1 (62). С. 25–32.

6. Влияние инвазии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на плодородие постагrogenных почв Европейского Северо-Востока / Е. М. Лаптева, И. Г. Захожий, И. В. Далькэ и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-066-073 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 66–73.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ УНОСА ТЭЦ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ

**Ю. С. Михалицына, Я. П. Погудина**

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,  
julechkafluffy@yandex.ru, Pogudina.ja@yandex.ru*

В статье представлены результаты изучения применения золы уноса ТЭЦ-5 г. Кирова для улучшения всхожести и роста растений, а также возможного токсического влияния золы на эти процессы. Исследованы свойства исходной почвы. Проведены вегетационные опыты по проращиванию семян ячменя и выращиванию петрушки из рассады. Выявлено, что добавление золы уноса ТЭЦ-5 в почву оказало токсический эффект на всхожесть семян ячменя, а при выращивании петрушки ее рост и развитие в присутствии золы в почве улучшались.

Ключевые слова: ТЭЦ, золоотвал, зола уноса, удобрение, почва, вегетационный опыт, всхожесть, токсичность.

Зола уноса теплоэлектростанций является побочным продуктом сжигания угля и других ископаемых видов топлива. В последние годы проводятся активные исследования по оценке воздействия золы на рост растений, качество урожая и здоровье почвы, что способствует более глубокому пониманию её потенциальных преимуществ и рисков.

Целью проведенной работы являлось определение возможности использования золы уноса ТЭЦ в качестве удобрения и токсичности золы при использовании её в качестве удобрения.

Исследовалась возможность использования в качестве минерального удобрения золы уноса ТЭЦ-5 г. Кирова Кировской области.

ТЭЦ-5 г. Кирова относится к филиалу «Кировский» компании «Т Плюс» (компания в сфере электроэнергетики и теплоснабжения). По данным официального сайта компании [1], основным видом топлива для ТЭЦ-5

г. Кирова по проекту был определен каменный уголь Кузнецкого угольного бассейна.

Исследованы свойства супесчаной почвы. В ней определены кислотность (актуальная, обменная и гидролитическая), содержание обменных катионов (кальций и магний) и органического вещества (гумуса).

Актуальная кислотность почвы (рН водной вытяжки) составила 7,20 ед. рН, что является хорошей основой для земледелия и свидетельствует о том, что эффективность вносимых в почву минеральных удобрений снижаться не будет.

Значение обменной кислотности почвы очень низкое 0,05 ммоль/100 г почвы, соответственно внесение подкисляющих почву удобрений не окажет негативного влияния на ее свойства.

Значение гидролитической кислотности почвы составило 0,72 ммоль/100 г, что показало достаточную насыщенность почвы основаниями и подтвердило отсутствие необходимости ее известкования.

Обменный магний в почве не определился, что соответствует характеристикам дерново-подзолистых почв Кировской области, являющимися одними из наиболее бедных по содержанию магния [2].

Количество обменного кальция в почве составило 8 ммоль/100 г почвы. Согласно [3] нормальные урожаи посевных культур могут быть получены на легких дерново-подзолистых почвах при содержании обменных кальция и магния не менее 3 мг-экв, а на почвах более тяжелых (суглинистых) и глинистых – при содержании не менее 5–6 мг-экв/100 г почвы.

Таким образом, содержание обменного кальция в исследуемой почве, которое не соответствует природным характеристикам кислых дерново-подзолистых почв Кировской области. По-видимому, почва была произвесткована.

Содержание гумуса является высоким для почв Кировской области, так как они считаются сильногумусированными при содержании гумуса выше 3,0% [2].

С помощью рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) было определено содержание в почве ряда элементов. Выявлено большое количество Si (51,1%), Fe (19,9%), Al (11,6%), Ca (7,0%), K (5,4%), Mg (1,6%) и Ti (1,5%). Содержание остальных элементов, в том числе тяжелых металлов, незначительно и не превышает ПДК для почв.

Исследовался фракционный и химический состав используемой золы. Большую долю золы (51,87%) составляют частицы с размером 125–315 мкм. Зола уноса может быть разделена на магнитную и немагнитную части.

С помощью РФА в золе выявлены следующие элементы: Al, Si, S, Rh, K, Ca, Ba, Ti, Mn, Fe, Sr, Rb, Zr, Y, Mg. Тяжелые металлы в значительных количествах не обнаружены.

С помощью метода сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного рентгеновского микроанализа показано, что зола уноса ТЭЦ-5 содержит как полезные для роста и развития растений элементы мак-

ро- и микроэлементы (магний, кремний, серу, калий, кальций), так и токсичные элементы (алюминий, железо в больших количествах) [4].

Используемая зола уноса рассматривалась как калийное удобрение, так как в ее состав входит необходимый для роста и развития растений биогенный элемент калий. Вносилось по 0,15 г  $K_2O$  на кг почвы. На основании анализа опубликованных данных принято, что в золе содержится около 1,6%  $K_2O$ . Таким образом, одинарная доза вносимой золы (как калийного удобрения) составляла 9,4 г на кг почвы.

Из золы уноса с помощью постоянного магнита выделена немагнитная фракция, и вегетационные опыты проведены также с данной фракцией.

Варианты опыта представлены в таблице 1.

*Таблица 1*

**Составы опытных образцов почвы**

| № опыта                   | 1                         | 2                                                | 3                                                 | 4                                                                    | 5                                                                     |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Состав почвенных образцов | Почва без добавления золы | Почва с добавлением золы в дозе 9,4 г / кг почвы | Почва с добавлением золы в дозе 18,8 г / кг почвы | Почва с добавлением немагнитной фракции золы в дозе 9,4 г / кг почвы | Почва с добавлением немагнитной фракции золы в дозе 18,8 г / кг почвы |

Проведено два вида опытов: проращивание ячменя (опыт № 1) и выращивание петрушки (опыт № 2).

Первая серия опытов проводилась с целью определения всхожести и токсичности золы уноса при проращивании ячменя. Почва насыпалась в пластиковые контейнеры по 500 г с соответствующей добавкой золы. Каждый опыт повторен в 3 параллелях (всего 15 контейнеров с почвенными образцами). В каждый контейнер сеяли по 25 штук предварительно замоченных семян ячменя сорта «Родник Прикамья».

Далее семена проращивались в течение 21 дня при регулярном поливе. Через 21 день определялось количество взошедших семян, измерялась длина наземной части и корешков растений.

Вторая серия опытов проводилась с целью определению влияния золы уноса на рост и развитие растения на примере выращивания петрушки из рассады.

Почва также насыпалась в пластиковые контейнеры по 500 г с соответствующей добавкой золы. Данные опыты проведены в 1 параллели, в каждый контейнер высаживались по 4 саженца петрушки. В дополнительный контейнер с почвой вносили калийное удобрение «Калимагнезия» производства ОАО «Буйский химический завод» в соответствующей дозировке. Содержание оксида калия в данном удобрении составляет 32%.

Саженцы выращивались в течение 21 дня при регулярном поливе. Через 21 день измерялась длина наземной части и корешков растений.

Полученные результаты статистически обработаны и представлены в таблицах 2 и 3.



Таблица 2

**Обобщенные результаты опытов с ячменем**

| Состав почвенного образца     | Среднее для 3 контейнеров |                  |                       |
|-------------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------|
|                               | длина корня, см           | длина ростка, см | число взошедших семян |
| Контроль                      | 17,75                     | 18,9             | 9                     |
| 9,4 г золы на 1 кг почвы      | 14,67                     | 16,55            | 8,7                   |
| 18,8 г золы на 1 кг почвы     | 13,44                     | 15,58            | 7,3                   |
| 9,4 г нф* золы на 1 кг почвы  | 11,89                     | 11,39            | 8,3                   |
| 18,8 г нф* золы на 1 кг почвы | 16,09                     | 14,74            | 8                     |

Примечание: нф\* – немагнитная фракция.

Таблица 3

**Результаты опытов с петрушкой**

| Состав почвенного образца     | Среднее для 4 растений |                          |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------|
|                               | длина корня, см        | длина наземной части, см |
| Контроль                      | 4,58                   | 9,03                     |
| 0,5 г удобрения на 1 кг почвы | 9,7                    | 15,43                    |
| 9,4 г золы на 1 кг почвы      | 9,35                   | 9,73                     |
| 18,8 г золы на 1 кг почвы     | 8,98                   | 21,8                     |
| 9,4 г нф* золы на 1 кг почвы  | 8,25                   | 15,8                     |
| 18,8 г нф* золы на 1 кг почвы | 10,03                  | 16,55                    |

Примечание: нф\* – немагнитная фракция.

При внесении в почву золы уноса во всех дозировках наблюдалась низкая всхожесть, меньшая длина ростка и меньшая длина корня ячменя. Негативное влияние усиливалось с увеличением вносимой дозы золы уноса без деления на магнитную и немагнитную фракции.

Для немагнитной фракции золы уноса при увеличении ее дозы в почве длины корня и ростка увеличивались, но все равно не достигали показателей для контрольных опытов. Это может быть связано с меньшим содержанием железа в немагнитной фракции золы уноса.

Полученные результаты свидетельствуют о негативном влиянии золы уноса на всхожесть зерновых культур в используемой почве.

Внесение золы уноса в почву при выращивании петрушки оказало положительный эффект, который усиливался с увеличением дозы золы уноса в почве, в том числе по сравнению с добавлением в почву калийного удобрения.

Максимальная длина корня петрушки получена при внесении 18,8 г немагнитной фракции золы на 1 кг почвы. Максимальная длина ростка петрушки получена при внесении 18,8 г золы на 1 кг почвы.

Таким образом, добавление золы уноса ТЭЦ-5 г. Кирова в почву оказало токсический эффект на всхожесть семян ячменя. Такой эффект может быть связан с высоким содержанием алюминия и железа в золе.

При выращивании петрушки внесение золы уноса в почву положительно повлияло на рост и развитие растений, поскольку в эксперименте использовали сеянцы петрушки, а зола уноса явилась дополнительной подкормкой.

Следовательно, золу уноса предпочтительнее рассматривать как минеральное удобрение при озеленении территорий и рекультивации нарушенных земель.

#### **Библиографический список**

1. Кировская ТЭЦ-5 / Кировский филиал // Группа «Т Плюс» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tplusgroup.ru/org/kirov/organization/kirovskaja-chp5/> (дата обращения: 10.03.2025).
2. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2023 году : Региональный доклад / под общей ред. Т. Э. Абашева. Киров, 2024. 191 с.
3. Небольсин А. Н. Небольсина З. П. Теоретические основы известкования почв. СПб. : ЛНИИСХ, 2005. 252 с.
4. Хитрин С. В., Фукс С. Л., Михалицына Ю. С. Применение зольных отходов теплоэлектростанций для получения композиционных электрохимических покрытий на основе никеля // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : ВятГУ, 2019. С. 15–19.

## СЕКЦИЯ 2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНОВ, ПУТИ РЕШЕНИЯ

### НАУКОЕМКОСТЬ РЕГИОНА, НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ, ПРИОРИТЕТНЫЕ ПРОЕКТЫ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ

**В. Н. Пугач<sup>1</sup>, С. Г. Литвинец<sup>1</sup>, Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>**  
<sup>1</sup> Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,  
<sup>2</sup> ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,  
г. Сыктывкар, Россия, ecolab2@gmail.com

Представлены данные об инфраструктуре научных и образовательных учреждений, научном кадровом и производственном потенциале в Кировской области. Отмечены основные достижения и приоритетные направления развития в области промышленного и сельскохозяйственного производства, перспективных проектов в области биотехнологий.

Ключевые слова: наукоемкость, инфраструктура, приоритетные направления развития.

Наукоемкость современной экономики является одним из решающих факторов ее устойчивости, конкурентоспособности региона. Актуальность исследований в данном направлении направлена, прежде всего, на ее рост, привлечение настоящих и прошлых достижений науки в производство. Поэтому главная задача повышения наукоемкости экономики – это доведение научных результатов до производственного применения. Основными источниками реализуемых на предприятиях научных результатов являются, в первую очередь, учреждения высшего образования и НИИ Российской академии наук. Именно их деятельность является определяющей в повышении наукоемкости экономики, в реализации перспективных проектов. Так как НИИ, учреждения высшего образования обладают рядом преимуществ в проведении исследований, близких к задачам реального сектора экономики. Работа аспирантов и магистрантов, студентов, выполнение ими курсовых, дипломных проектов, магистерских и аспирантских работ производственная практика сближают преподавательский состав университетов с производственными проблемами предприятий, знание которых может служить основанием практической нацеленности проводимых ими исследований. Университеты и НИИ становятся инновационными лидерами, «где практико-ориентированная подготовка специалистов неразрывно связана с реальными исследованиями».

В Кировской области инфраструктура научной и образовательной деятельности представлена девятью организациями высшего образования шестью научно-исследовательскими и проектными институтами, тремя научными центрами. Систему высшего образования в Кировской области представляют Вятский государственный университет, Вятский государственный агротехнологический университет, Кировский государственный медицинский университет, Институт развития образования, а также шесть филиалов образовательных организаций высшего образования:

- Волго-Вятский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Московская государственная юридическая академия имени О. Е. Кутафина»,

- Кировский филиал автономной некоммерческой организации высшего профессионального образования «Московский гуманитарно-экономический университет»,

- Кировский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»,

- Кировский филиал негосударственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский Гуманитарный университет профсоюзов»,

- Частное образовательное учреждение высшего профессионального образования Вятский социально-экономический институт,

- Аккредитованное образовательное частное учреждение высшего профессионального образования Московская финансово-юридическая академия «МФЮА» Кировский филиал.

В регионе многие годы действует шесть научно-исследовательских и проектных институтов:

- Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»;

- Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова»;

- Кировский научно-исследовательский институт гематологии и переливания крови Федерального медико-биологического агентства;

- Научно-исследовательский и проектный институт биотехнологической индустрии «Биотин»;

- АО «Научно-исследовательский проектно-изыскательский институт «Кировпроект»;

- АО «Научно-исследовательский институт средств вычислительной техники».

Кроме того, инфраструктуру научных организаций в регионе составляют: Кировская селекционная лугоболотная станция, Кировский агрохимиче-

ский центр, Центр развития биотехнологий «Биокластер», Биотехнологический и иммунобиологический научно-образовательный центр мирового уровня «Биополис», научно-исследовательская лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ.

В регионе развита промышленная инфраструктура: металлургия, тяжелое машиностроение, станкостроение, авиастроение, деревообработка, химическая и фармацевтическая промышленность, а также предприятия агротехнологического профиля. По индексу промышленного производства Кировская область занимает 3 место среди регионов Приволжского федерального округа. Региональный валовый продукт в 2024 г. составил 664 млрд руб. План на 2025 г. определен 711 млрд руб. [1, 2]. Инвестиционные вложения в экономику в 2024 г составили 139,2 млрд руб. Кировская область один из основных в России производителей минеральных удобрений и фторполимеров, кроме того, в регионе производятся: сода каустическая, синтетический каучук, резиновые и пластмассовые изделия, шины для легковых и грузовых автомобилей, пищевые продукты, изделия деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. В 2024 г. в регионе было произведено 858 тыс. т молока и большое количество разнообразной молочной продукции [3].

Природными ресурсами региона являются: фосфориты, торф, песчано-гравийные смеси, бентонитовые глины, лечебные грязи, минеральные воды. Кировская область относится к многолесным регионам России, она традиционно является одним из ведущих российских регионов в сфере лесной промышленности. Лес – одно из важнейших богатств нашего края. В Кировской области лесом покрыто 63% территории, общий запас древесины составляет более 1,2 млрд м<sup>3</sup>. Это примерно 1,6% общего запаса древесины в лесах РФ. Лесопромышленный комплекс Кировской области включает в себя лесозаготовительную промышленность (заготовка и первичная переработка древесины); деревообрабатывающую промышленность (производство фанеры, древесностружечных и древесноволокнистых плит, столярно-строительных изделий, мебели, деревянной тары и др.); целлюлозно-бумажную и лесохимическую промышленность. Все они технологически связаны между собой на основе заготовки древесного сырья и его последующего использования для переработки. По объемам заготовки и деревообработки область занимает ведущее место в Приволжском федеральном округе и входит в число наиболее крупных производителей европейской части России [4]. Регион с развитым сельскохозяйственным производством молочной продукции, мясной (свинины и птицы). Площадь сельскохозяйственных угодий составляет – 3313,4 млн га.

Основными экологическими проблемами региона являются:

– В лесном комплексе: нерациональное использование лесных ресурсов и большой процент отходов от производства; частые и несанкционированные вырубki лесов, пожары и заболеваемость древостоев. Крайне малые субсидии из федерального бюджета на восстановление лесов, являющихся федеральной собственностью.

– Регион богат подземными питьевыми водами, но в основном в питьевых целях используется вода из р. Вятки, относящаяся к классу загрязненных вод. Необходима реконструкция очистных сооружений и водопроводных сетей жилищно-коммунального сектора.

– По качеству атмосферного воздуха регион находится на 6 месте среди 14 регионов в Приволжском округе. Воздух относительно чистый, но за последние годы становится острой проблема запахового загрязнения, определение которого крайне затруднено из-за отсутствия необходимой приборной базы и методов анализа, содержащихся в воздухе малых концентраций сильно пахнущих веществ.

– Почвы в регионе подзолистые и дерновоподзолистые (35% и 45% территории области соответственно). Они отличаются высокой кислотностью и ничтожным содержанием гумуса, малым количеством фосфора, серы, азота, калия. Нуждаются в повышении плодородия, в защите от фитопатогенов.

Главными приоритетными направлениями развития региона с поддержкой науки являются: развитие промышленности (оборонно-промышленный комплекс, машиностроение, станкостроение, беспилотные авиационные системы, деревообработка, химическая промышленность, биотехнологии); высокотехнологичный агропромышленный комплекс (органическое сельское хозяйство, биобезопасность, разработка и получение новых ветеринарных препаратов, органических удобрений, продовольственная безопасность, контроль качества пищевой продукции, глубокая переработка сельскохозяйственного сырья); строительная отрасль как драйвер развития; сохранение и рациональное использование лесных ресурсов (лесовосстановление, клонирование, переработка опила и хвои); эффективное использование биомассы, в т. ч. органических отходов; экологическое благополучие (безопасная среда для жизни, в т. ч. чистый воздух, обеспечение чистой питьевой водой, профилактика здоровья человека); программное (цифровое) проектирование развития территории.

В регионе разработана и принята «Стратегия социально-экономического развития Кировской области до 2035 г.», к реализации которой привлекаются предприятия региона, бизнес, вузы, НИИ, научные центры и лаборатории Кировской области. Важную роль в координации научных исследований в области биотехнологий в регионе занимает научно-производственный биотехнологический кластер, членами которого являются вузы, НИИ, научные центры, представители малого и среднего бизнеса, общественные научные формирования, в том числе в состав кластера входят члены и эксперты Общественной Палаты Кировской области.

В области сельскохозяйственных биотехнологий на научной основе разрабатываются и реализуются проекты:

1. Производство мультикомплексных удобрений для органического сельского хозяйства.

2. Производства функциональных продуктов питания с высоким содержанием БАВ на основе переработки пчелопродукции.

3. Технология переработки отходов сельскохозяйственного производства в биоудобрения и биогаз.

4. Развитие технологий по выращиванию и переработке ржи.

5. Технологии применения пробиотиков нового поколения в животноводстве.

6. Разработка и производство оборудования для выпуска функциональных продуктов питания на основе глубокой переработки молока.

7. Глубокая переработка ягод и дикоросов.

8. Повышение производственной продуктивности крупно рогатого скота по средством применения премиксов и биодобавок.

В области промышленных биотехнологий разрабатываются и внедряются в практику научные проекты:

1. Утилизация резинотехнических изделий и производство новых продуктов.

2. Утилизация отходов ТБО с получением новых продуктов с высокой добавленной стоимостью.

3. Масштабирование и тиражирование технологии производства и применения биосорбентов.

4. Применение прибора по определению чистоты жидких сред для мониторинга экологической ситуации на предприятии.

5. Разработка и тиражирование отопительного оборудования.

6. Технология производства древесного угля из древесных отходов.

7. Технологии переработки отходов лесопромышленного производства в пеллеты и брикеты.

8. Технологии получения биогаза и синтетического газа для выработки электрической и тепловой энергии.

9. Технологии ускоренного восстановления лесов.

10. Разработка технологии по переработке органических отходов.

Крайне нуждаются в научном сопровождении проекты по сохранению и улучшению городской среды на территории МО г. Киров по следующим направлениям:

1. Пространственное проектирование развития территории г. Кирова.

2. Использование биогазового оборудования для переработки технического ила на очистных сооружениях города и для ведения экологического сельского хозяйства вокруг города (биогаз, удобрения).

3. Внедрение на очистных сооружениях города системы оперативного контроля чистоты воды («Акватест»).

4. Переработка уличного смета и строительного мусора в продукты для благоустройства города.

5. Очистка прудов и других водоемов города.

6. Рекультивация почв парков, газонов, придомовых территорий.

7. Использование технологий ускоренного лесовосстановления в системе озеленения г. Кирова.



8. Перевод муниципальных котельных на местные виды топлива, в т. ч. на органические отходы.

9. Внедрение системы оборота, сортировки и переработки мусора.

Правительство Кировской области совместно с вузами НИИ, научной общественностью, предприятиями-промышленными партнерами разрабатывает проект на создание в г. Кирове на базе ВятГУ и Кировских вузов Межвузовского кампуса мирового уровня. Определена территория бывшего КВАТУ (16 – 20,9 га). Стоимость проекта оценивается приблизительно 25 млрд руб. Основные научные профили деятельности Кампуса: станкостроение, промышленные биотехнологии, химическая промышленность и электрохимическая энергетика, гуманитарные технологии и социальная инженерия. Определено более 10 индустриальных партнеров по разработке новых технологий и получению новой продукции.

В основу деятельности Межвузовского кампуса мирового уровня закладывается программный подход по развитию науки, технологий, образования, медицины, привлечения молодежи. Научно-техническое будущее региона, университетов во многом будет зависеть от того, что будет заложено в программу деятельности Кампуса, которая ориентирована на взаимодействие и научное сотрудничество всего научного сообщества региона и межрегиональное сотрудничество. При любых ситуациях конкурса в вузах уже дан старт на реализацию данной программы.

Партнерами науки и образовательного процесса в регионе являются бизнес сообщества и предприятия различных форм собственности. Крупнейшими торговыми партнерами региона при экспорте являются 67 стран, среди них: Китай (17,3%); Бразилия (12,7%); Беларусь (7,7%); Казахстан (6,9%); Мексика (6,5%); Турция (5,8%); Узбекистан (4,4%); Соединенные Штаты (3,9%); Корея, Республика (3,6%); Египет (3,4%); Южная Африка (3,2%); Перу (2,9%); Болгария (1,9%); Азербайджан (1,8%); Тайвань (1,8%); Кения (1,4%); Того (1,3%); при импорте 74 страны, среди них: Китай (31,7%); Беларусь (12,9%); Соединенное Королевство (9,7%); Турция (7,1%); Индия (6,7%); Швейцария (6,3%); Италия (5,7%); Германия (4,3%); Литва (4,2%).

С Кировской областью подписано и действует 10 международных соглашений о торгово-экономическом, научно-техническом и гуманитарном сотрудничестве с административно-территориальными единицами 5 иностранных государств: Республиками Беларусь и Армения, Узбекистан, Казахстан, Китайской Народной Республикой (провинциями Сычуань и Хунань). Активными партнерами ряда проектов является банковская система.

Правительством региона разрабатывается Программа научно-технического развития Кировской области, в которой ведущая роль отводится созданию эффективных механизмов поддержки научно-технической деятельности. Целью программы является максимальное вовлечение региональных организаций, занимающихся исследованиями и разработками, а также предприятий реального сектора экономики Кировской области в комплекс научно-технической политики региона.



Золотым научным фондом Вятской Земли являются ученые, писатели, космонавты. С Вятским краем связаны имена известных в истории России людей: первый русский переводчик Гомера Е. И. Костров, писатель-романтик А. С. Грин, поэт Н. А. Заболоцкий. Здесь свой путь к научным открытиям всемирного значения начинали основоположник теории межпланетных сообщений и ракетной техники К. Э. Циолковский, академики Н. В. Рудницкий, А. Н. Бакулев, В. М. Бехтерев, академик, дважды герой советского союза летчик-космонавт В. П. Савиных, доктора наук Э. А. Штина, В. В. Тюлин, В. А. Журавлев, Е. В. Пименов, В. М. Кондратов, А. В. Эммаусский.

Волею судьбы свою жизнь с Вяткой связали писатели А. И. Герцен, М. Е. Салтыков-Щедрин, архитектор и художник А. Л. Витберг.

Таким образом, Кировская область богата научным наследием, в настоящее время в ней сосредоточен мощный комплекс высших учебных заведений, научно-исследовательских и проектных институтов, Центров научно-исследовательского направления. Кадровый научный потенциал региона составляет более 1300 научных сотрудников из них 224 доктора наук и 1083 кандидата наук. Наличие такого научного потенциала организаций и высоко квалифицированных научных кадров в регионе создает благоприятные условия для успешного образовательного процесса по подготовке кадров, развитию предприятий авиастроения, деревообрабатывающей промышленности, тяжелого машиностроения, пищевой промышленности и ряда других базовых отраслей. Кроме того, это серьезная основа для открытия новых промышленных и сельскохозяйственных производств, нового мирового уровня научно-образовательного и производственного Кампуса в регионе.

#### **Библиографический список**

1. Министерство промышленности, предпринимательства и торговли Кировской области. Кировское статуправление [Электронный ресурс]. – URL: <https://prom.kirovreg.ru/info/news/2840/?ysclid=m9b7tiyqzj345437617> (дата обращения: 28.02.2025).
2. Минэкономразвития Кировской области [Электронный ресурс]. – URL: <https://ok.ru/minrec43/topic/158113510135120> (дата обращения: 28.02.2025).
3. Правительство Кировской области. Кировская область сохраняет лидерство по производству молока [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kirovreg.ru/news/-detail.php?ID=126760> (дата обращения: 28.02.2025).
4. Правительство Кировской области. Лесопромышленный комплекс. [Электронный ресурс]. – URL: <https://web.archive.org/web/20120820002418/http://www.kirovreg.ru/econom/-forest/> (дата обращения: 28.02.2025).

## **ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ДОНБАССА: КРИТЕРИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ФИТОИНДИКАЦИИ**

***А. И. Сафонов***

*Донецкий государственный университет,  
г. Донецк, Россия, andrey\_safonov@mail.ru*

Реальность жизни в условиях военных событий в прифронтовой зоне определенным образом формирует ограничения для проведения научных исследований, связанных с необходимой диагностикой состояния природных систем и обязательным их мониторингом с целью учёта деградационных процессов и разработки восстановительных мероприятий (на примере Центрального Донбасса).

Ключевые слова: экология родного края, экологический мониторинг, полевостресс, Донбасс, оценка состояния среды, фитоиндикация.

Идеология проведения экологических мероприятий, связанных с обобщением знаний и опыта исследований в отдельных регионах [1], является универсальным способом обмена информацией и выбором лучших практик при составлении рекомендаций для широкой экстраполяции в мировом масштабе. Поэтому научные конференции, содержание которых позволяет представить региональные исследования ученых-экологов, имеют большое значение как в разработках стратегий локальной политики для отдельных административных субъектов, так и информирования широкого круга специалистов о кризисных ситуациях, которые складываются в результате новых факторов существования современной цивилизации.

Научный подход в анализе вооружённых конфликтных противостояний [2] позволяет не только проводить оценку состояния природных и природно-антропогенных систем [3], но и предлагать пути выхода из сложившихся ситуаций [4]. При этом в основе требуемых рекомендаций всегда лежит результат многоступенчатых мониторинговых процедур [5, 6], позволяющих комплексно рассматривать экокризисный регион для разработки эффективных способов профилактики и оптимизации (минимизации) неблагоприятных эффектов воздействия на геосистемы и человека.

Для оценки уже существующих последствий военного противостояния на территории Донбасса и в целом Северного Приазовья на современном этапе ведётся работа по формированию Белой книги [7] и обнародованию фактов воздействия военных событий на ландшафты, растительный и животный мир. Некоторые обобщения, полученные за последние 30 лет изучения растений-индикаторов в условиях промышленного развития Донбасса, включая 10 лет в период продолжающегося военного конфликта, представлены в отдельной

публикации [8] и нуждаются в осмыслении и дальнейшем обсуждении в рамках проводимых международных научных мероприятий.

До 2014 г. Донецкая область представляла собой высокоразвитый и экономически самодостаточный регион Европы с адекватным финансированием, например, объектов природно-заповедного фонда, аграрного сектора, и, что принципиально важно отметить, – системы государственного экологического мониторинга в первую очередь природных сред. Улицы городов, водоёмы, коммунальные службы, промышленные предприятия, объекты социальной инфраструктуры содержали в достаточном количестве нужный технический инструментарий (датчики, сенсоры), чтобы обеспечивать контроль качества воздушной среды, водных ресурсов, почв и ландшафтных систем различного назначения и эксплуатации. Вся получаемая информация о состоянии природных сред находилась в оперативной автоматизированной обработке, благодаря чему выявлялись аварийные ситуации или нарушения в хозяйственной деятельности, предпринимались меры по их ликвидации, модернизировалось оборудование на предприятиях-загрязнителях.

Но, нужно признать, что вся эта отлаженная технологическая система с началом военного конфликта в Донбассе была полностью нивелирована: были уничтожены и выведены из строя не только датчики и диагностическое оборудование аналитического контроля, но и программное обеспечение, позволяющее ранее реализовывать государственные программы по экологическому мониторингу. Одномоментно все высокоточные технологические устройства стали не доступны для работы в открытых геосистемах. В таких условиях с 2014 г. по настоящее время единственной функционально оправданной широкомасштабной программой по охвату всей подконтрольной для России территории Донбасса осталась разработанная система фитоиндикационного мониторинга, направленная в том числе на выявление неблагоприятных факторов в природно-территориальных комплексах благодаря диагностической роли высших растений, используемых ранее как сопутствующий критерий в оценке воздействия на окружающую среду в регионе.

В распоряжении сотрудников и студентов кафедры ботаники и экологии ДонГУ (для физической доступности) осталось 113 учётных площадок, совокупность которых рассматривается как геоинформационное поле для территориального охвата всех экотопов Центрального Донбасса: в категориях от участков с высоким уровнем антропогенной трансформации до заповедных объектов аборигенной натурализации. Таким образом, растительные организмы (виды растений с широкой экологической амплитудой), обладая рядом преимуществ по сравнению с техническими устройствами и другими потенциальными биоиндикаторами, были использованы для проведения ежегодных мониторинговых работ. Накопленный до этого периода 20-летний опыт идентификации техногенных аномалий с помощью растений был в полном объеме использован для получения новых сведений о состоянии геосистем Донбасса в условиях военных событий. За это время были расширены и детализированы методические подходы в структурной ботанике, установлены диапазоны

выносливости и информативности отдельных видов дикорастущих растений, расширился ассортимент фитоиндикаторов, в том числе с использованием мохообразных.

С развитием военных событий материально-техническое оснащение биологических лабораторий Донецкого государственного университета также снизилось до минимума, поэтому в доступе остались только те методы структурной ботаники, которые можно было реализовать на уровне анатомо-морфологических регистраций для отличий в системе «опыт – контроль» разных экотопов по тем признакам, которые имели индикаторное значение. Большую часть сведений получали из естественно консервированных объектов (семена, плоды, гербарные коллекции), иллюстративного фотоматериала. В специальных фиксаторах сохранялись объекты витальных сборов пыльцы, цветков, соцветий, фрагментов листового аппарата и других частей растений. Отдельный интерес представляет также альгологическое направление индикационной ботаники [9], актуализированное в результате обострившейся гуманитарной катастрофы, связанной с нехваткой водных ресурсов в Донбассе.

Критерием фитоиндикационной информативности считали статистическую разницу, определённую мерой отклонения от нормы в строении признаков, диагностическая роль которых предварительно была доказана на примере локальных наблюдений в контрастных геохимических и геофизических условиях. При таких учётных манипуляциях наибольшую значимость имели те структуры, формирование которых с точки зрения нормальной морфологии развития может считаться тератным (уродливым – более, чем аномальным). Для выявленных примеров таких нарушений в развитии растений, территориально связанных с зонами военной активности, была составлена квантификационная база данных, совокупность которых определяет уровень и специфику фактора полемостресса.

На протяжении всего периода активной работы в этом направлении осуществлялось сотрудничество с учёными кафедры аналитической химии ДонГУ для реализации параллельных диагностических процедур в оценке растительных сборов, выявивших контрастное состояние на уровне структур и (или) физиологической нормы по визуальному критерию. В дальнейшем (с 2019 г.) в мониторинговые исследования и процесс химического анализа растительных образцов были также вовлечены ведущие лаборатории России: Объединенный институт ядерных исследований и Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН. Геоинформационные технологии, включая картографическую визуализацию и территориальную детализацию данных, реализовали в сотрудничестве с учеными Донецкого национального технического университета. Внедряемую совокупность приёмов математической статистики и моделирования, а также прогнозного контроля на основании полученных ранее тенденций развития в экосистемах осуществляем посредством сотрудничества с Институтом экономических исследований (г. Донецк) и в рамках работы Азово-Черноморского математического Центра.

Особенностью полученных результатов по критериям фактора полемостресса (стресса в результате военных событий) является выявленная их динамичность на протяжении всего периода военных событий до настоящего времени и получение натурных сведений по реально существующим объектам живой природы как первичных индикаторных (информационных) систем, что коренным образом отличает данные, которые могут быть получены в результате дистанционного зондирования. В идеальном сценарии: сведения, полученные на местах и дистанционным способом, должны и могут быть сопряжены, однако в условиях военных событий цифровые данные со спутников могут быть намеренно искажены или отсутствовать.

В целях соблюдения требований по предотвращению конфликта интересов для публикаций подготавливаются те сведения, которые несут информацию для регионального и фоновое экологического мониторинга. Результаты импактного мониторинга на сегодня рассматриваются как данные по оценке состояния окружающей среды в местах проведения исследований и будут крайне востребованы при проведении комплексного экологического мониторинга при реабилитации нарушенных территорий.

*Исследование выполнено в рамках темы «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКТР 124051400023-4).*

#### **Библиографический список**

1. Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Международной научно-практической конференции (г. Киров, 23–24 апреля 2024 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2024. 306 с.
2. Клепиков О. В., Зиброва Н. В., Иванов А. В. Экологические последствия вооруженных конфликтов (информационно-аналитический обзор). DOI: 10.23670/IRJ.2023.-137.77 // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 11(137). С. 1–6.
3. Кин Н. О., Струков Р. О. Беллигеративные ландшафты как форма экологического риска. DOI: 10.24412/2712-8628-2021-3-4-18 // Вопросы степеведения. 2021. № 3. С. 4–18.
4. Биоремедиация техногенно деградированных земель после завершения специальной военной операции на территории новых субъектов Российской Федерации / Т. Я. Ашихмина, Л. И. Домрачева, И. П. Погорельский и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-209-217 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 209–217.
5. Мониторинг подземных и поверхностных вод в районе предприятий по утилизации опасных промышленных отходов / Т. Я. Ашихмина, Е. В. Дабах, Г. Я. Кантор и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-4-105-114 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 4. С. 105–114.
6. Геоинформационно-аналитическая модель повышения качества окружающей среды городов Центрального Черноземья / С. А. Епринцев, С. А. Куролап, О. В. Клепиков и др. DOI: 10.23885/2500-123X-2024-2-9-27-33 // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2024. Т. 2, № 9. С. 27–33.
7. Влияние новых антропогенных факторов на состояние древесных растений города Донецка / В. О. Корниенко, Р. В. Кишкань, А. С. Яицкий, А. О. Шкиренко DOI: 10.55355/snv2024134104 // Самарский научный вестник. 2024. Т. 13. № 4. С. 26–32.
8. Сафонов А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. Донецк : ЭДИТ, 2024. 289 с.

9. Мирненко Э. И. Содержание, состав и динамика фотосинтетических пигментов в водохранилищах реки Кальмиус Донецкой Народной Республики. DOI: 10.55959/MSU0137-0952-16-79-4-15 // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. 2024. Т. 79, № 4. С. 353–359.

## **НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

***В. П. Пересторонин***

*Региональный оператор АО «Куприт»,  
г. Киров, Россия*

Данная статья раскрывает научно-технические подходы в осуществлении реформы по обращению с твердыми коммунальными отходами («мусорной реформы») в Кировской области на примере работы АО «Куприт» как регионального оператора по обращению с ТКО. За пять лет реформы (2019–2024 гг.) предприятием выполнен большой объем работ, что позволило создать современную прозрачную систему обращения с отходами, а Кировской области войти в число успешных регионов России по данному направлению.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, реформа отходов, региональный оператор, территориальная схема.

В соответствии со статьей 3 федерального закона N 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» от 24 июня 1998 г. основными принципами государственной политики в области обращения с отходами являются:

- охрана здоровья человека, поддержание или восстановление благоприятного состояния окружающей среды и сохранение биологического разнообразия;
- научно обоснованное сочетание экологических и экономических интересов общества в целях обеспечения устойчивого развития;
- использование наилучших доступных технологий при обращении с отходами;
- комплексная переработка материально-сырьевых ресурсов в целях уменьшения количества отходов;
- использование методов экономического регулирования деятельности в области обращения с отходами в целях уменьшения количества отходов и вовлечения их в хозяйственный оборот;
- доступ в соответствии с законодательством Российской Федерации к информации в области обращения с отходами;
- участие в международном сотрудничестве Российской Федерации в области обращения с отходами.

При этом основные направления государственной политики в области обращения с отходами являются приоритетными в следующей последовательности:

- максимальное использование исходных сырья и материалов;
- предотвращение образования отходов;
- сокращение образования отходов и снижение класса опасности отходов в источниках их образования;
- обработка отходов;
- максимальная утилизация отходов, в том числе утилизация отходов от использования товаров;
- обезвреживание отходов.

По данным 2018 г. каждый житель Российской Федерации в среднем выбрасывал порядка 400–500 кг мусора в год, что составляло около 60–70 млн т по стране. Площадь свалок достигла 4 млн га. Сжигалось всего лишь около 2% отходов и примерно 4% отправлялось на вторичную переработку, а остальное количество отходов размещалось на свалках, которые постоянно горели, отравляя окружающую среду. Сама система обращения с мусором не менялась за последние 40–50 лет. Таким же образом обстояли дела и в Кировской области.

Основанием для начала масштабной «реформы в области обращения с отходами» принято считать «майские» 2018 г. указы Президента РФ В. В. Путина о национальных проектах, а также Федеральный закон от 31.12.2017 N 503-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и отдельные законодательные акты Российской Федерации». В этом документе впервые были прописаны понятия: территориальная схема и региональный оператор, а также полномочия и обязанности всех участников этого процесса. Основные положения этого закона вступали в силу с 01.01. 2019 г., когда на всей территории России, за исключением Москвы и Санкт-Петербурга началась «Реформа обращения с твердыми коммунальными отходами» или как ее метко прозвали в народе «Мусорная реформа». Суть реформы заключалась в повсеместном охвате населения услугой по сбору отходов, переход на сбор в отдельные контейнеры, их учет на всех стадиях, последующая их сортировка, переработка и безопасное захоронение не утилизируемой части. Отходы должны стать не мусором, а ценным вторсырьем.

Законодательно были определены полномочия и ответственность всех участников реформы. Так региональный оператор, который выбирается по конкурсу уполномоченным региональным органом на срок до 10 лет, осуществляет работы по обращению с твердыми коммунальными отходами (далее – ТКО) в соответствии с утвержденной территориальной схемой. В том числе:

- заключение договоров с юридическими и физическими лицами на вывоз отходов;
- сбор, транспортировку, сортировку, утилизацию и захоронение ТКО;

- заключение договоров с операторами-перевозчиками и полигонами;
- ликвидацию несанкционированных свалок;
- ведение учета движения отходов, включая цифровизацию всего процесса.

До 2019 г. транспортировкой и размещением бытовых отходов на территории Кировской области занимались разные, в основном, муниципальные организации (порядка 40), в каждом муниципалитете был свой перевозчик, которые зачастую, чтобы снизить расходы, складировали мусор на несанкционированных свалках, созданные практически в каждом населенном пункте. Вывоз мусора осуществлялся только из благоустроенных многоэтажных домов в крупных населенных пунктах, в ряде районов производился «помещочный» сбор, в большинстве поселковых и сельских населенных пунктах услуга по вывозу отходов просто не оказывалась.

В соответствии с соглашением о деятельности по обращению с ТКО на территории Кировской области, заключенным 24.04.2018 г. по результатам конкурсного отбора, АО «Куприт» на 10 лет (2019–2028 гг.) был присвоен статус единого регионального оператора.

Согласно новой системе, ответственность за весь цикл обращения с ТКО на всей территории области возложена на регионального оператора – АО «Куприт».

АО «Куприт» был создан в 1992 г. по инициативе городского комитета по охране природы, председателем которого являлся автор данной статьи. Основной пакет акций был у администрации города. Основной вид деятельности АО «Куприт» – утилизация экологически опасных промышленных отходов. В 2018 г. парк специализированной техники предприятия состоял всего из 8 единиц спецтехники – 5 мусоровозов и 3 самосвалов. Штат сотрудников был порядка 100 чел, имелась небольшая промышленная база, в том числе полигон ТКО.

Предстояла огромная работа по развитию как самого предприятия, его команды, так и по созданию всей системы работы на территории области. От руководства компании и его сотрудников требовались знания и опыт, организационного, научного и практического плана действий.

По состоянию на 01.01.2019 г. на территории Кировской области было всего 5443 контейнерные площадки. Возникла острая потребность в создании большого количества новых площадок для сбора ТКО. Правительством Кировской области была оказана муниципальным образованиям финансовая помощь для создания новых площадок. Всего за 2019–2020 гг. было оперативно создано более 850 новых площадок и данная работа продолжается и по настоящее время.

Объём отходов на тот период у перевозчиков принимался к учету в кубометрах, исходя из объёма кузова транспортного средства, и путем пересчёта переводился в условные тонны. Весового контроля не было организовано. За 2019 г. с территории Кировской области было собрано 3 млн м<sup>3</sup> ТКО, что в пересчёте на расчётную плотность 200 кг/м<sup>3</sup> составляло 600 тыс. т отходов.



Министерством охраны окружающей среды Кировской области была разработана и утверждена территориальная схема обращения с отходами. Вся территория региона была поделена на 6 территорий (лотов). По конкурсу были отобраны операторы на транспортирование отходов по каждому лоту и заключены договоры с организациями, эксплуатирующими полигоны ТКО, входящие в терсхему и Государственный реестр объектов размещения отходов (ГРОРО).

В настоящее время по итогам 2024 г. АО «Куприт» в соответствии с территориальной схемой по данным весового контроля обеспечил вывоз и размещение 281,84 тыс. т отходов, в то время как в 2019 г. объём вывезенных отходов составил 600 тыс. т. Своими силами АО «Куприт» вывез ТКО 136,03 тыс. т или 48%, остальные 145,81 тыс. т отходов было вывезено силами привлечённых операторов. Созданная система весового контроля на полигонах, контроль за работой мусоровозов позволили навести порядок в объёмах и нормативах образования отходов и тарифной политике.

Ежедневно транспортируется около 828 т ТКО, из которых половина – 414 т с территории МО «Город Киров».

Размещение ТКО в регионе осуществляется на 14 полигонах. Все объекты включены в ГРОРО, оборудованы средствами измерения массы и передаче данных о поступивших отходах Регоператору по сети «Интернет» в онлайн режиме.

Для транспортирования привлечено 210 современных крупнотоннажных мусоровозов, в том числе 46 – на территории г. Кирова. Суммарный пробег мусоровозов в день составляет порядка 37 тыс. км.

В сфере обращения с ТКО на территории области трудится 1213 сотрудников, в том числе в АО «Куприт» – 360 человек. Общее количество водителей мусоровозов составляет – 308 человек.

Количество контейнерных площадок за период с 2018 г. увеличилось в 3,2 раза до 17512 шт. (из которых 4706 в г. Кирове). Количество контейнеров за этот период увеличилось в 5 раз до 29878 ед. (в т. ч. 9091 – на территории г. Кирова).

В настоящее время АО «Куприт» – это современное быстро развивающееся предприятие. Обновленная база, серьёзный кадровый (360 чел.) и технический (63 ед. спецтехники) потенциал.

За годы реформы была проделана серьёзная работа, в том числе:

- Закупка контейнеров в рамках 1% от валовой выручки предприятия, ежегодно это около 1500 контейнеров, которые безвозмездно распределяются в районы области на муниципальные контейнерные площадки. Всего было закуплено и передано 5937 контейнеров. В 2025 г. планируется закупить рекордные 3,5 тыс. контейнеров.

- Обновлен парк спецтехники, приобретено 33 крупнотоннажных мусоровоза с задней загрузкой, в том числе 22 – на базе Мерседес. Один мусоровоз с функцией мойки контейнеров, 6 мультилифтов и бункеровозов и другая спецтехника. Всего в АО «Куприт» в настоящее время имеется 63 единицы

спецтехники, в том числе 37 мусоровозов. Парк спецтехники увеличился в 8 раз.

– С 2024 г. АО «Куприт» заключает с администрацией МО «город Киров» единый контракт на содержание муниципальных контейнерных площадок (706 ед.), в том числе сюда входит уборка мусора в границах 20-метровой зоны вокруг них. По условиям контракта реализуется вывоз всех видов отходов в этих границах. В результате значительно улучшилось содержание мест накопления ТКО, произошло резкое снижение жалоб населения по захламлению контейнерных площадок (в 28 раз). Этот опыт нашел активную поддержку в Совете Федерации РФ при отчете Правительства Кировской области по обращению с ТКО в 2024 г. Законодателями планируется распространить и утвердить этот передовой опыт в рамках доработки нормативной документации по обращению с отходами.

– Проведена серьёзная научно-техническая работа, фактически «с нуля», по созданию и внедрению автоматизированной системы учёта движения мусоровозов, обслуживания контейнерных площадок и размещения отходов на всей территории Кировской области. Все мусоровозы, в том числе и подрядных организаций, оборудованы системой ГЛОНАСС.

– Программа позволяет в режиме он-лайн отслеживать работу мусоровозов, фотофиксацию разгрузки контейнеров и состояния контейнерных площадок до и после их уборки. У диспетчера имеется вся информация о месте нахождения экипажей, загрузке машин, выполнении маршрутного плана. Это позволяет оперативно принимать решения в случае каких-то поломок и других непредвиденных обстоятельств.

В настоящее время отрабатывается вхождение и производится оперативная и своевременная передача данных в федеральную государственную систему учёта твердых коммунальных отходов (ГИС УТКО). В настоящее время из 210 мусоровозов по области 204 (97%) включены в федеральную систему. Публично-правовая компания «Российский экологический оператор» (ППК «РЭО») ведет «Светофорный рейтинг» регионов, где учитываются все показатели работы, оснащённость спецтехникой, обустройство контейнерных площадок, наличие контейнеров в соответствии с нормативом, исполнение дорожных карт по созданию инфраструктуры объектов по переработке отходов. АО «Куприт» стабильно находится в «зеленой» зоне» региональных операторов по всем показателям в России.

Доля охвата населения услугой по вывозу ТКО составляет 100%, собираемость платежей составляет 98,16%, количество лицевого счетов свыше 682 тыс., количество договоров с юридическими лицами порядка 12 тыс. единиц.

Обеспечивается активное взаимодействие с общественностью и СМИ. Внедрена чёткая система работы с населением, обращениями граждан и юридических лиц. Создан кол-центр, который фиксирует все обращения и дает ответ в течение 2–3 час. Количество обращений граждан по некачественному оказанию услуги за 2024 г. снизилось на 12% (2152 против 2410 за 2023 г.).

В части информирования населения АО «Куприт» проводит широкую разъяснительную работу в соцсетях и СМИ. Заключены договоры с 5-ю крупными изданиями. Суммарный охват жителей во всех СМИ превышает 400 тыс. человек.

Указом Президента РФ Путина В.В. «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» от 7 мая 2024 г. № 309 установлено, что к 2030 г. 100% всех твердых коммунальных отходов должны проходить сортировку, к захоронению допустимо не более 50% отходов, а 25% должно быть использовано в качестве вторичного ресурса. В соответствии с данными требованиями в Кировской области в Слободском районе ведется строительство крупного комплекса по переработке отходов мощностью 200 тыс. т ТКО в год и объемом компостирования 60 тыс. т отходов. Его пуск запланирован на 2026 г. Кроме этого, в 2026–2028 гг. планируется проектирование и строительство 4 межрайонных мусороперерабатывающих комплексов (г. Вятские поляны, г. Луза, пос. Шабалино, г. Яранск). Что позволит обеспечить выполнение требований Указа Президента, сократить захоронение отходов, использовать вторичное сырье.

Отдельно необходимо отметить творческий подход в решении вопросов экопросвещения и раздельного сбора отходов (РСО).

Внедрение современного раздельного сбора невозможно без широкой просветительской работы. В течение первого полугодия 2024 г. в г. Кирове АО «Куприт» были открыты два современных центра экопросвещения и раздельного сбора отходов: Экоцентр (ул. Дерендяева 64) и Экодом (ул. Воровского, район большого Глобуса). Ранее в новом микрорайоне «Солнечный берег» был открыт Экопункт. Эти события стали значимым шагом в рамках реализации масштабной программы по экологическому просвещению жителей города и области и изменению подходов к обращению с отходами. Региональный экоцентр становится информационно-просветительской площадкой для населения в части популяризации внедрения раздельного сбора отходов и бережного к ним отношения. Здесь на постоянной основе проводится работа с учебными и дошкольными учреждениями (экскурсии, мастер-классы, лекции), встречи с населением, экологические конференции и выставки, а также ведется раздельный прием отходов по 22 фракциям.

В рамках пилотного проекта по внедрению РСО на территории области установлено 163 контейнера для раздельного сбора отходов, из которых 107 принадлежат АО «Куприт» (установлены на территории гг. Киров, Слободской, пгт. Вахруши). В 2025 г. планируется закупить дополнительно специальные контейнеры (700 шт.) для поэтапного внедрения раздельного сбора отходов с установкой их в гг. Кирове, К-Чепецке и Слободском. В настоящее время идет работа с муниципалитетами по уточнению возможностей и количеству их размещения на существующих контейнерных площадках. Также уже приобретены специальные мусоровозы для их обслуживания.

Планируется внедрение «дуальной» системы или системы двух контейнеров, один для сухих, второй для смешанных отходов. Внедрение будет поэтапное, увязанное с запуском мусороперерабатывающих объектов. В гг. Кирове и Слободском, затем в г. Кирово-Чепецке раздельный сбор будет внедряться в 2026–2027 гг. одновременно с запуском и выходом на проектную мощность мусороперерабатывающего предприятия КПО «Центральный» в Слободском районе.

Раздельный сбор будет осуществляется в контейнеры следующих цветов:

– синий (серый) – для накопления смешанных (несортированных) твердых коммунальных отходов;

– желтый – для накопления одновременно нескольких групп «сухих» отходов (все виды пластика, макулатура, металл, стекло), являющихся вторичным сырьем.

Рядом с площадкой КПО «Центральный» выделена территория для создания экотехнопарка «Центральный». За счет выделенных Правительством Кировской области средств будут подведены коммуникации (электричество, газ, водоснабжение и водоотведение). Резидентам экотехнопарка будут созданы льготные условия для работы, возможность получения Президентских грантов на реализацию экологических проектов. Планируется создание производств по переработке вторичного сырья, полученного с завода с выпуском товарной продукции. В первую очередь это переработка пластика, макулатуры, стекла и металла. В настоящее время Правительством региона разрабатывается региональная программа федерального проекта «Экономика замкнутого цикла», где будут окончательно определены условия и стимулы для вхождения предпринимателей в этот проект.

## THE ROLE OF SOIL CHEMISTRY IN CARBON SEQUESTRATION AND CLIMATE CHANGE MITIGATION

*Ms. Sameeksha Patidar*

*Dr. C. V. Raman University, Khandwa (M. P.), India,*

*sameekshapatidar@cvrump.ac.in*

Soil chemistry plays a crucial role in carbon sequestration and climate change mitigation by regulating the stabilization, turnover, and long-term storage of soil organic carbon (SOC). The chemical composition of soil determines its capacity to sequester carbon effectively, influencing atmospheric carbon dioxide levels and overall ecosystem resilience. Various soil types interact with carbon differently due to their mineral composition, pH levels, cation exchange capacity, and organic matter content. Key chemical processes such as mineral stabilization, organic matter decomposition, and microbial interactions directly impact the persistence of carbon in soils.

This study examines the essential chemical mechanisms governing SOC sequestration, including the role of clay minerals in carbon stabilization, the influence

of soil pH on microbial activity, and the impact of nutrient availability on organic matter decomposition. Understanding these interactions is critical for designing effective land management strategies to enhance carbon storage in soils and mitigate greenhouse gas emissions. By integrating insights from recent research, this paper highlights how different soil types contribute to carbon sequestration and identifies best practices for optimizing soil chemistry to maximize SOC retention.

Keywords: mineral interactions, soil pH influence, nutrient availability, soil type variability, climate change implications.

**Soil types and their role in carbon sequestration.** Mollisols, characterized by their high organic matter content, are more efficient in storing SOC compared to Alfisols. The mineral composition, particularly the presence of illite, enhances the stabilization of SOC through aromatic compounds, which are more resistant to decomposition [1].

Ultisols and Oxisols, rich in iron and aluminum sesquioxides, demonstrate varying capacities for SOC stabilization. Ultisols, with higher levels of organo-organic interactions, tend to sequester more carbon, while Oxisols rely on mineral surfaces for carbon stabilization [2, 3].

Calcarosols, with their high calcium carbonate content, facilitate carbon sequestration through the formation of bicarbonates, while Vertosols, with their expansive clays, provide large surface areas for carbon adsorption [4, 5].

Soil inorganic carbon (SIC) accounts for approximately half of the global carbon reserves and is more stable than soil organic carbon (SOC). However, soil acidification, primarily driven by nitrogen fertilization, can lead to SIC losses. To mitigate this, rock residues and biochar have been proposed as cost-effective amendments to regenerate soil alkalinity. Biochar, particularly bone biochar, is rich in calcium and magnesium, which can enhance soil alkalinity and reduce SIC losses [6].

Biochar, a carbon-rich material produced from biomass under oxygen-limited conditions, has been identified as a promising material for carbon sequestration. Its effectiveness depends on its interactions with soil minerals and microorganisms, which influence its stability and the cycling of carbon in soils. Biochar's stability is influenced by its aromatic structure and its ability to form complexes with soil components, thereby reducing the mineralization of labile and recalcitrant carbon fractions.

Pedogenic carbonate (PC) formation is a critical process for sequestering atmospheric CO<sub>2</sub>. PC forms when divalent cations from external sources react with CO<sub>2</sub>, leading to the precipitation of carbonate minerals. This process is influenced by natural factors such as soil parent material, climate, and land use, as well as human-induced factors like agricultural practices. Understanding these factors is crucial for optimizing PC formation as a climate change mitigation strategy [7].

Minerals play a central role in stabilizing organic carbon in soils through mechanisms such as sorption, co-precipitation, and redox reactions. These interac-

tions can either protect organic carbon from decomposition or make it more susceptible to mineralization. For instance, the formation of organo-metal complexes and the adsorption of dissolved organic carbon (DOC) onto mineral surfaces are key processes that influence carbon stability in soils [1].

Enhanced rock weathering (ERW) is an emerging negative emission technology that involves the accelerated chemical weathering of silicate minerals to sequester CO<sub>2</sub>. This process not only sequesters carbon but also improves soil health by increasing soil pH and providing essential nutrients for crops. However, the efficiency of ERW is influenced by factors such as soil type, rock type, and application rates, and it poses environmental risks like the release of heavy metals [8].

**Chemical interactions in soil carbon sequestration.** Mineral-associated organic carbon (MAOC) is a critical component of SOC, formed through the interaction of organic carbon with minerals. Silt and clay particles enhance microbial activity, increasing the inclusion of microbial carbon into the MAOC pool, thereby stabilizing SOC [9].

Organo-organic interactions, mediated by microbial necromass, play a significant role in SOC accrual. These interactions, particularly in Ultisols, lead to multi-layered carbon accumulation, challenging the traditional view that mineral surfaces are the primary factor in carbon stabilization [2].

Clay minerals such as kaolinite, illite, and smectite exhibit varying adsorption capacities for dissolved organic carbon (DOC). The presence of iron oxides further enhances the retention of DOC, contributing to long-term carbon sequestration [10].

Clays catalyze oxidative coupling reactions, stabilizing carbon in humic substances. This abiotic process is crucial for carbon sequestration, as it forms stable organic compounds resistant to microbial decomposition [11].

**Management practices and carbon sequestration.** Conversion of grasslands to arable lands reduces SOC stocks. Sustainable practices such as reduced tillage and the preservation of grasslands enhance carbon sequestration by maintaining soil organic matter [12, 13].

Biochar, a carbon-rich material, increases SOC by providing a stable form of carbon. It also improves soil health and reduces greenhouse gas emissions, making it a viable strategy for climate change mitigation [13].

Organic and biodynamic farming practices, which avoid synthetic fertilizers, enhance SOC by promoting microbial activity and humification. These practices are particularly effective in calcareous soils, where organic matter is stabilized through interactions with calcium carbonates [14].

**Impact of soil chemistry on carbon sequestration.** SOC stabilization is a critical process for long-term carbon sequestration. Soil parent material significantly influences SOC stabilization by affecting the physical and chemical properties of soils. For example, soils derived from limestone tend to have higher SOC stabilization due to the presence of calcium and magnesium, which form stable organo-metal complexes. These complexes protect SOC from decomposition and enhance its residence time in soils [1].

The sensitivity of SOC to climate change varies across different soil types and depths. Subsoil SOC, which accounts for a significant portion of global SOC, is particularly vulnerable to climate-driven changes. The decomposition of subsoil SOC is influenced by soil chemical properties such as the availability of divalent base cations and reactive metals. These properties determine the responsiveness of SOC to temperature and moisture changes, which are expected to increase under climate change scenarios [15].

Land use and management practices significantly impact soil chemistry and carbon sequestration. For instance, conservation tillage practices can enhance SOC stabilization by promoting the formation of mineral-associated organic matter (MAOM) and reducing soil disturbance. Additionally, the application of organic amendments like biochar and manure can improve SOC sequestration by increasing the input of recalcitrant carbon and enhancing soil fertility [16].

**Implications for climate change mitigation.** Soils have the potential to act as a significant carbon sink, mitigating climate change by sequestering atmospheric CO<sub>2</sub>. The efficiency of this process depends on soil type, mineral composition, and management practices [17, 18].

Geochemistry, alongside climate, is a dominant factor in soil carbon storage. Soils with high adsorption capacities and low respiration rates are more effective in sequestering carbon, highlighting the importance of understanding soil chemistry in mitigation strategies [17].

Deep soils, often overlooked in carbon studies, play a crucial role in long-term carbon storage. Understanding the mechanisms controlling deep SOC sequestration is essential for developing effective climate change mitigation strategies [19].

**Factors affecting soil carbon sequestration.** Soil pH is a critical factor influencing microbial activity and carbon cycling. Land use intensification can alter soil pH, which in turn affects microbial processes. For example, in acidic soils, increased pH can alleviate microbial growth constraints, leading to enhanced decomposition and carbon loss. Conversely, in near-neutral soils, reduced microbial growth efficiency can limit carbon storage [20].

Soil texture and mineralogy play a crucial role in determining the capacity of soils to sequester carbon. Clay minerals, in particular, are effective at stabilizing organic carbon through adsorption and co-precipitation. The type and abundance of clay minerals influence the extent to which carbon is sequestered and protected from decomposition [10].

The chemical composition of plant litter influences the balance between soil carbon uptake and release. Litter with higher lignin concentrations tends to stabilize more carbon in mineral-associated organic matter (MAOM), while litter with lower lignin and higher nitrogen concentrations promotes the formation of particulate organic matter (POM). Understanding these dynamics is essential for managing soil carbon pools effectively [21].

**Strategies for enhancing soil carbon sequestration.** The application of biochar and rock residues can enhance soil alkalinity and reduce SIC losses. These

amendments not only sequester carbon but also improve soil fertility and structure, making them a promising strategy for climate change mitigation [6].

Conservation tillage practices, combined with the application of organic amendments, can enhance SOC stabilization by promoting the formation of MAOM and reducing soil disturbance. These practices also improve soil health and fertility, making them a sustainable approach to carbon sequestration [16].

Land use management practices that reduce soil disturbance and promote the input of organic matter are critical for enhancing carbon sequestration. For example, agroforestry and perennials can increase carbon inputs and reduce SOC decomposition, while reduced tillage can promote the formation of stable carbon pools [22, 23].

So, soil chemistry, through its influence on SOC stabilization and storage, is integral to carbon sequestration and climate change mitigation. Specific soil types and their chemical interactions, such as MAOC, organo-organic interactions, and clay mineralogy, determine the efficiency of carbon storage. Management practices, including sustainable land use and organic farming, further enhance the potential of soils to act as a carbon sink. By understanding and leveraging these factors, we can develop effective strategies to mitigate climate change through improved soil carbon management (Table 1).

*Table 1*

**Soil types and their carbon sequestration mechanisms**

| Soil Type   | Key Characteristics                      | Carbon Sequestration Mechanism                                                            | References |
|-------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Mollisols   | High organic matter, dominated by illite | Stabilization through aromatic compounds and mineral-associated organic carbon            | [1]        |
| Ultisols    | Rich in iron and aluminum sesquioxides   | Organo-organic interactions mediated by microbial necromass                               | [2]        |
| Calcarosols | High calcium carbonate content           | Carbonate equilibrium and bicarbonate formation                                           | [4]        |
| Vertosols   | Expansive clays                          | Large surface area for carbon adsorption and physical protection of organic matter        | [17]       |
| Alfisols    | Lower organic matter, iron and aluminum  | Mineral protection through sesquioxides and aromatic compounds                            | [1]        |
| Oxisols     | Highly weathered, iron and aluminum rich | Stabilization through mineral surfaces and oxidative coupling reactions                   | [3]        |
| Histosols   | High organic matter, acidic              | Physical protection and slow decomposition of organic matter                              | [13]       |
| Kandosols   | Kaolinitic clays                         | Adsorption of dissolved organic carbon and retention through short-range ordered minerals | [10]       |
| Chromosols  | High clay content                        | Mineral-intercalated organic matter and chemical stabilization                            | [4]        |

Table 2 highlights the unique characteristics and mechanisms through which different soil types contribute to carbon sequestration, emphasizing the role of soil chemistry in climate change mitigation.



Table 2

**Key chemical processes and their impacts on carbon sequestration**

| Process                        | Mechanism                                                                     | Impact on Carbon Sequestration                                                            |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inorganic Carbon Sequestration | Regeneration of alkalinity using rock residues and biochar                    | Reduces soil inorganic carbon losses and enhances soil fertility [6]                      |
| Pedogenic Carbonate Formation  | Precipitation of carbonate minerals from divalent cations and CO <sub>2</sub> | Sequesters atmospheric CO <sub>2</sub> and improves soil health [7]                       |
| Mineral-Mediated Stabilization | Sorption, co-precipitation, and redox reactions with minerals                 | Protects organic carbon from decomposition and enhances its residence time in soils [1]   |
| Enhanced Rock Weathering       | Accelerated chemical weathering of silicate minerals                          | Sequesters CO <sub>2</sub> and improves soil fertility, but poses environmental risks [8] |

The role of soil chemistry in carbon sequestration is pivotal for climate change mitigation, as it involves the complex interactions between soil components and carbon dioxide from the atmosphere. Soil acts as a significant carbon sink, capturing and storing carbon through various biological and chemical processes. Understanding these mechanisms is essential for enhancing soil's capacity to sequester carbon effectively. The following sections outline key aspects of this topic.

**References**

1. The different roles of mineralogy in soil organic carbon accumulation in Northern and Southern China / Y. Liu, Y. Huang, B. S. Ndzelu, et al. DOI: 10.3390/f14112214 // *Forests*. 2023. Vol. 14. No. 11. Article No. 2214.
2. Effects of 2010–2045 climate change on ozone levels in China under a carbon neutrality scenario: key meteorological parameters and processes / L. Kang, H. Liao, K. Li, et al. DOI: 10.5194/acp-25-3603-2025 // *Atmos. Chem. Phys.* 2025. Vol. 25. P. 3603–3621.
3. Old and stable soil organic matter is not necessarily chemically recalcitrant: implications for modeling concepts and temperature sensitivity / M. Kleber, P. S. Nico, A. Plante, et al. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02278.x // *Glob. Change Biol.* 2011. Vol. 17. P. 1097–1107.
4. Carbon dynamics from carbonate dissolution in Australian agricultural soils / W. Ahmad, B. Singh, R. C. Dalal, F. A. Dijkstra. DOI: 10.1071/SR14060 // *Soil. Res.* 2015. Vol. 53. No. 2. Article No. 144.
5. Carbon cycling in eroding landscapes: geomorphic controls on soil organic C pool composition and C stabilization / S. Doetterl, J. Six, B. Van Wesemael, K. Van Oost. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02680.x // *Glob. Change Biol.* 2012. Vol. 18. No. 7. P. 2218–2232.
6. Soil inorganic carbon sequestration through alkalinity regeneration using biologically induced weathering of rock powder and biochar / M. Azeem, S. Raza, G. Li, et al. DOI: 10.1007/s42832-022-0136-4 // *Soil Ecol. Lett.* 2022. Vol. 4. P. 293–306.
7. Khalidy R., Arnaud E., Santos R. M. Natural and human-induced factors on the accumulation and migration of pedogenic carbonate in soil: a review. DOI: 10.3390/land11091448 // *Land*. 2022. Vol. 11. No. 9. Article No. 1448.
8. The environmental controls on efficiency of enhanced rock weathering in soils / H. Deng, E. Sonnenthal, B. Arora, et al. DOI: 10.1038/s41598-023-36113-4 // *Sci. Rep.* 2023. Vol. 13. Article No. 9765.

9. Dual role of silt and clay in the formation and accrual of stabilized soil organic carbon / H. R. Mao, M. F. Cotrufo, S. C. Hart, et al. DOI: 10.1016/j.soilbio.2024.109390 // *Soil Biol. Biochem.* 2024. Vol. 192. Article No. 109390.
10. Clay minerals as the key to the sequestration of carbon in soils / G. J. Churchman, M. Singh, A. Schapel, et al. DOI: 10.1007/s42860-020-00071-z // *Clay Clay Miner.* 2020. Vol. 68. No. 2. P. 135–143.
11. Organic matter transformation catalyzed by clays: model reactions for carbon sequestration in soils / K. J. Booth, A. F. Patti, J. L. Scott, P. J. Wallis // *SuperSoil 2004 : proceedings of 3rd Australian New Zealand Soils Conference*. Gosford : The Regional Institute Ltd., 2004.
12. How can land use management in traditional cultural landscapes become a policy instrument for soil organic carbon sequestration and climate change mitigation? A Transylvanian Case study / V. Macicasan, A. Ocraín, R. Balci, et al. DOI: 10.3390/app14219851 // *Appl. Sci.* 2024. Vol. 14. No. 21. Article No. 9851.
13. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant / M. Z. Hossain, M. M. Bahar, B. Sarkar, et al. DOI: 10.1007/s42773-020-00065-z // *Biochar.* 2020. Vol. 2. P. 379–420.
14. Soil carbon investigation in three pedoclimatic and agronomic settings of Northern Italy / V. Brombin, E. Mistri, M. de Feudis, et al. DOI: 10.3390/su122410539 // *Sustainability.* 2020. Vol. 12. Article No. 10539.
15. Climate effects on subsoil carbon loss mediated by soil chemistry / A. R. Possinger, T. L. Weiglein, M. M. Bowman, et al. DOI: 10.1021/acs.est.1c04909 // *Environ. Sci. Technol.* 2021. Vol. 55. No. 23. P. 16224–16235.
16. Physical, chemical, and biochemical mechanisms of soil organic matter stabilization under conservation tillage systems: A central role for microbes and microbial by-products in C sequestration / C. Plaza, D. Courtier-Murias, J. M. Fernández, et al. DOI: 10.1016/j.soilbio.2012.07.026 // *Soil Biol. Biochem.* 2013. Vol. 57. P. 124–134.
17. Soil carbon storage controlled by interactions between geochemistry and climate / S. Doetterl, A. Stevens, J. Six, et al. DOI: 10.1038/ngeo2516 // *Nat. Geosci.* 2015. Vol. 8. P. 780–783.
18. Rosenzweig C., Hillel D. Soils and global climate change: Challenges and opportunities. DOI: 10.1097/00010694-200001000-00007 // *Soil Sci.* 2000. Vol. 165. P. 47–56.
19. Deep soil organic carbon: A review / J. C. B. Jr. Dubeux, M. de A Lira Junior, F. F. Simili, et al. DOI: 10.1079/cabireviews.2024.0024 // *CABI Reviews.* 2024. Vol. 19. No. 1.
20. Land use driven change in soil pH affects microbial carbon cycling processes / A. A. Malik, J. Puissant, K. M. Buckeridge, et al. DOI: 10.1038/s41467-018-05980-1 // *Nat. Commun.* 2018. Vol. 9. No. 1. Article No. 3591.
21. Plant litter chemistry controls coarse-textured soil carbon dynamics / R. Huys, V. Poirier, M. Y. Bourget, et al. DOI: 10.1111/1365-2745.13997 // *J. Ecol.* 2022. Vol. 110. P. 2911–2928.
22. Different climate sensitivity of particulate and mineral-associated soil organic matter / E. Lugato, J. M. Lavalley, M. L. Haddix, et al. DOI: 10.1038/s41561-021-00744-x // *Nat. Geosci.* 2021. Vol. 14. P. 295–300.
23. Jastrow J. D., Amonette J. E., Bailey V. L. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. DOI: 10.1007/s10584-006-9178-3 // *Climatic Change.* 2007. Vol. 80. P. 5–23.

## **THERMODYNAMICS OF CLIMATE CHANGE: ENERGY TRANSFER IN THE ATMOSPHERE**

***Mr. Tejas Jha, Dr. Seema Sharma***

*Dr. C. V. Raman University, Khandwa (M. P.), India,  
harshjhajha9@gmail.com*

Climate change is driven by complex thermodynamic processes governing energy transfer in the atmosphere. This paper explores the role of thermodynamics in understanding climate change, focusing on heat transfer mechanisms, the greenhouse effect, entropy, and the Earth's energy balance. The study highlights how energy exchange influences global warming, weather patterns, and environmental sustainability. Additionally, we analyze the impact of thermodynamic processes on India's climate change, addressing rising temperatures, monsoon variability, and increasing extreme weather events. Understanding these principles is crucial for developing climate mitigation strategies and sustainable policies in India.

**Keywords:** thermodynamics, climate change, energy transfer, greenhouse effect, Indian climate, global warming.

Thermodynamics plays a critical role in climate science by explaining how energy is absorbed, transferred, and emitted in Earth's atmosphere. Climate change is fundamentally an energy balance problem, where disruptions in natural heat exchanges lead to shifts in global temperatures and weather patterns [1].

The Earth's atmosphere acts as a dynamic system, continuously receiving energy from the Sun and redistributing it across the globe through radiation, conduction, and convection. The balance between incoming solar radiation and outgoing terrestrial radiation determines the planet's climate [2]. The greenhouse effect, caused by gases like CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and H<sub>2</sub>O vapor, traps heat within the atmosphere, contributing to global warming. This energy imbalance has led to significant climate anomalies, including rising global temperatures, extreme weather events, and shifts in ecological systems [3].

One of the fundamental laws governing climate dynamics is the first law of thermodynamics (energy conservation), which ensures that the total energy input into Earth's system equals the sum of energy stored and energy lost to space. Additionally, the second law of thermodynamics dictates that entropy, or disorder, within the climate system must increase over time [2]. As a result, climate variability and extreme weather patterns intensify due to energy redistribution and inefficiencies in heat dissipation [3].

In the context of India's climate, thermodynamic principles can be observed in various environmental challenges. India has witnessed increasing surface temperatures, erratic monsoon patterns, and severe heatwaves, all of which are driven by changes in atmospheric energy distribution. The country's vast geographical di-

versity makes it particularly vulnerable to climate-induced changes, from glacial melting in the Himalayas to intensified cyclones in coastal regions [4].

The Indian monsoon, a crucial weather system for agriculture and water security, is heavily influenced by thermodynamic processes. The seasonal shift in wind patterns and moisture transport is governed by temperature gradients and latent heat exchange. However, global warming has disrupted these cycles, leading to unpredictable rainfall, prolonged droughts, and increased flood risks.

Additionally, urban heat islands (UHIs) in Indian cities like Delhi, Mumbai, and Chennai exacerbate climate stress by trapping heat due to increased energy absorption from concrete structures and human activities. These localized temperature variations further impact air circulation, precipitation, and pollution levels [5, 6].

Understanding the thermodynamics of climate change in India is essential for formulating effective adaptation and mitigation strategies. By leveraging scientific insights into energy transfer, policymakers can design sustainable solutions to combat climate challenges, improve energy efficiency, and enhance resilience against extreme weather events.

There are three primary mechanisms govern energy transfer in the Earth's climate system:

- Radiation: The Sun emits electromagnetic radiation, primarily in the form of visible and shortwave infrared light, which is absorbed by Earth's surface and atmosphere.

- Conduction: Heat transfer through direct molecular contact is limited in the atmosphere but plays a role at the Earth's surface.

- Convection: Warm air rises and cool air sinks, creating atmospheric circulation patterns that distribute heat [7, 8].

Greenhouse gases (GHGs) such as  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , and  $\text{H}_2\text{O}$  vapor trap outgoing infrared radiation, leading to an increase in atmospheric temperature. The thermodynamic principles governing this effect include:

- The Stefan-Boltzmann law, which describes how objects emit radiation based on temperature.

- Kirchhoff's law of thermal radiation, which explains absorption and emission properties of gases.

- The concept of radiative forcing, which quantifies changes in energy balance due to GHGs.

Thermodynamics' second law states that entropy, a measure of disorder, always increases in an isolated system. In the climate system:

- Heat flows from warmer regions (tropics) to cooler regions (poles), increasing entropy.

- Climate change disrupts natural entropy production by altering circulation patterns and heat distribution.

The Earth's climate remains stable when incoming solar energy equals outgoing terrestrial radiation. However, anthropogenic activities disrupt this balance, leading to:

- Increased surface temperatures.

- Changes in cloud cover and albedo (reflectivity of Earth's surface).
- Rising sea levels due to ice melt and thermal expansion.

Mathematical models use thermodynamics to predict future climate changes.

Key equations include:

- Energy balance equation:  $S(1-\alpha) = 4\sigma T^4$ , where  $S$  is solar irradiance,  $\alpha$  is albedo,  $\sigma$  is the Stefan-Boltzmann constant, and  $T$  is temperature.
- Heat transfer equations for conduction, convection, and radiation.
- Entropy production models to study climate system irreversibility [8].

Understanding thermodynamic principles is crucial for addressing climate change. By analyzing energy transfer, greenhouse effects, and entropy, scientists can develop more accurate climate models and mitigation strategies. In India, thermodynamic-based climate analysis can help address rising temperatures, monsoon instability, and urban heat island effects. Future research should focus on improving predictive models and developing sustainable solutions to minimize human impact on Earth's energy balance.

### References

1. Pierrehumbert R. T. Principles of planetary climate. Cambridge : Cambridge University Press, 2010. 679 p.
2. Peixoto J. P., Oort A. H. Physics of climate. Melville, NY : American Institute of Physics, 1992. 520 p.
3. National Research Council (U. S.). Abrupt climate change: inevitable surprises. DOI: 10.17226/10136. Washington, DC : National Academies Press, 2002. 252 p.
4. Ramanathan V., Feng Y. Air pollution, greenhouse gases and climate change: global and regional perspectives. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.063 // Atmos. Environ. 2009. Vol. 43. No. 1. P. 37–50.
5. Urban heat island and future climate change – implications for Delhi's heat / R. Sharma, H. Hooyberghs, D. Lauwaet, K. De Ridder. DOI: 10.1007/s11524-018-0322-y // J. Urban Health. 2019. Vol. 96. No. 2. P. 235–251.
6. A narrative on urban heat island (UHI) in India [Internet resource]. – URL: <https://greentree.global/publications/urban-heat-island-india-2024/> (assessed: 20.03.2025).
7. Goody R. M., Yung Y. L. Atmospheric radiation: theoretical basis. New York : Oxford University Press, 1989. 519 p.
8. Trenberth K. E., Fasullo J. T., Kiehl J. Earth's global energy budget. DOI: 10.1175/2008BAMS2634.1 // Bull. Am. Meteorol. Soc. 2009. Vol. 90. No. 3. P. 311–323.

## **РОЛЬ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА В РЕШЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ РЕСУРСНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

*Д. А. Лавров, М. Д. Хомяков*

*Государственный университет по землеустройству,  
г. Москва, Россия, khommatzxc@gmail.com*

В статье дается анализ отдельных норм нового закона «О землеустройстве», разработанного Минсельхозом России. Использование земельных ресурсов для производства сельскохозяйственной продукции будет сопровождаться организацией работ, направленных на сохранение плодородия почв и окружающей среды. Решение задач гармонизации эффективного функционирования АПК на региональном уровне и улучшения экологической ситуации будет возложено на комплексное землеустройство.

Ключевые слова: землеустройство, экология, АПК, почвенные ресурсы, сельскохозяйственное и агроэкологическое районирование.

Среди основных направлений пространственного развития РФ выделяются конкретные задачи, в том числе: формирования территорий экологического благополучия посредством реализации мероприятий по сохранению и восстановлению природной среды, обеспечению качества окружающей среды, необходимого для комфортной и безопасной жизни человека, а также устойчивого развития экономики (Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2024 № 4146-р «Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года»).

Многочисленные исследования показали, что особое место в этом занимает землеустроительное обеспечение [1–5].

В настоящее время действует Федеральный закон от 18.06.2001 № 78-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «О землеустройстве». Федеральный закон от 13.05.2008 № 66-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ и признании утратившими силу отдельных законодательных актов (положений законодательных актов) РФ в связи с принятием Федерального закона «О государственном кадастре недвижимости» исключил из него территориальное землеустройство. Оно распределяет земли между субъектами хозяйствования, землевладельцами и землепользователями.

Действующий закон устанавливает правовые основы проведения землеустройства в целях обеспечения рационального использования земель и их охраны, создания благоприятной окружающей среды и улучшения ландшафтов. Статьями 9 и 11 в нем закреплено, что почвенные, геоботанические и другие обследования и изыскания проводятся в целях получения информации о состоянии земель, в том числе почвы.

«Земельный кодекс Российской Федерации» от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 28.12.2024) в статье 42 закрепил, что собственники земельных участков и лица, не являющиеся собственниками земельных участков, но их использующие, обязаны использовать земельные участки в соответствии с их целевым назначением и разрешенным использованием способами, которые не должны наносить вред окружающей среде, в том числе земле как природному объекту; осуществлять мероприятия по охране земель, лесов, водных объектов и других природных ресурсов, в том числе меры пожарной безопасности; не допускать загрязнение, истощение, деградацию, порчу, уничтожение земель и почв и иное негативное воздействие на земли и почвы.

В статье 68 Земельного кодекса сказано: «Землеустройство включает в себя мероприятия по изучению состояния земель, планированию и организации рационального использования земель и их охраны, описанию местоположения и (или) установлению на местности границ объектов землеустройства, организации рационального использования гражданами и юридическими лицами земельных участков для осуществления сельскохозяйственного производства, а также по организации территорий, используемых общинами коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации».

Минсельхоз России 03.03.2025 разместил на портале [regulation.gov.ru](https://regulation.gov.ru) проект нового, существенно отличающегося от действующего сейчас, Федерального закона «О землеустройстве» (ID проекта 02/04/03-25/0015515).

В случае его принятия, закон будет направлен на создание системы стратегического управления земельными ресурсами, потребует усиления цифровизации и централизации планирования в этой сфере, узаконит федеральную и региональные карты сельскохозяйственных земель, регламенты их использования и схемы работ по сохранению плодородия и повышению эффективности АПК. Проект призван решить ряд накопленных проблем – интенсификацию земледелия, воспроизводство плодородия почв, возвращение земель в оборот и многие другие.

Сама суть землеустройства, согласно законопроекту, остается неизменной.

Список же его объектов в законопроекте (статья 10) расширен по сравнению с действующим законом. Землеустройство проводится в отношении образованных в соответствии с законодательством РФ территорий, зон, земельных участков и их частей. Землеустройство также может проводиться в отношении территории РФ, территории субъекта РФ, территории муниципального образования или их части, совокупности земельных участков (частей земельных участков).

Из пояснительной записки к проекту закона следует, что землеустройство является одним из основных институтов земельного законодательства. Отношения в области землеустройства направлены на обеспечение рационального использования и охрану земель, а также организацию сельских и

иных территорий в целях устойчивого социально-экономического развития и охраны окружающей среды.

Также землеустройство является механизмом, обеспечивающим планирование использования земли как природного ресурса и природного объекта на основе полученной в результате исследования земель информации о ее состоянии. Это связывает землеустройство с деятельностью в области стратегического планирования.

В настоящее время в реализуемых документах территориального планирования и градостроительного зонирования отсутствуют границы земель сельскохозяйственного назначения, границы ценных и особо ценных продуктивных земель. Не реализован подход определения правового режима земельных участков на основании их качественных характеристик и отнесения к тому или иному виду угодий, что создает условия для необоснованного и бесконтрольного выбытия таких земель из сельскохозяйственного оборота.

Ввиду недостатков правового регулирования государственная политика в области землеустройства не осуществляется, что оказывает негативное влияние на обеспечение охраны и рационального использования земель как природного ресурса и природного объекта.

В границах РФ расположена примерно шестая часть плодородных сельскохозяйственных угодий планеты. Вместе с тем площади земель, пригодных для сельскохозяйственного производства, и уровень их плодородия постоянно сокращаются. При этом организационно-правовые основы обеспечения сохранности плодородия земель и планирования рационального использования и охраны земель в РФ во многом фрагментарны. Постоянно ухудшается экологическое состояние земель, увеличиваются площади, подверженные различным видам порчи и деградации – иссушению, опустыниванию, заболачиванию, утрате плодородного слоя почв и другим.

Существенны площади неиспользуемых и нерационально используемых земель, в том числе в связи с просчетами в организации перераспределения и использования земель. При этом действенные инструменты ликвидации недостатков землепользования законодательно не закреплены и не имеют системного регулирования.

Эти положения корреспондируются с данными национальных докладов и рядом информационных материалов по вопросам рационального использования земель в стране [6–11].

Согласно законопроекту, основными принципами законодательства о землеустройстве являются: сохранение земель как средства производства в сельском и лесном хозяйстве; увеличение площади используемых сельскохозяйственных угодий; устранение и предупреждение возникновения недостатков землепользования, сохранение и улучшение антропогенных и природных ландшафтов; проведение землеустройства с учетом природоохранного, научного, историко-культурного, эстетического, рекреационного, оздоровительного и иного особо ценного значения земель, а также требований законодательства РФ к их охране; обязательность учета землеустроительной документации



при принятии решений об утверждении (изменении) документов территориального планирования, территориального зонирования, о создании или об изменении границ особо охраняемых природных территорий, документации по планировке территории, лесохозяйственных регламентов.

Статья 12 посвящена изучению состояния земель и видам осуществляемых для этого работ. Это проведение почвенных, геоботанических и других обследований земель, сбор и обобщение их результатов; составление тематических карт и атласов состояния и использования земель (в отношении всех категорий земель, за исключением земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий); создание единой федеральной карты-схемы земель сельскохозяйственного назначения, включая сельскохозяйственные угодья (в отношении земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий).

Почвенные, геоботанические и другие виды обследования проводятся в отношении всех категорий земель с целью получения информации о состоянии земель, а также с целью выявления земель, подверженных водной и ветровой эрозии, селям, затоплению, подтоплению, заболачиванию, вторичному засолению, иссушению, уплотнению, загрязнению отходами производства и потребления, радиоактивному и химическому загрязнению, биогенному заражению, опустыниванию, зарастанию сельскохозяйственных угодий кустарником и мелколесьем, другим негативным явлениям.

Информация, полученная в результате обследований, предусмотренных настоящей частью, направляется в Государственный фонд данных, государственный фонд данных государственного экологического мониторинга, а в части земель сельскохозяйственного назначения – также в государственный реестр земель сельскохозяйственного назначения (ЕФГИС ЗСН). Она используется для организации рационального использования земель и их охраны, а в части земель сельскохозяйственного назначения – также для подготовки Схемы землеустройства, землеустроительных карт (схем) и проектов землеустройства, сельскохозяйственного зонирования, определения видов разрешенного использования при проведении рекультивации, консервации земель, улучшения природных ландшафтов.

Материалы, подготовленные в результате изучения состояния земель, составляют информационную основу и используются в целях проведения землеустройства, принятия решений об изменении целевого назначения и разрешенного использования земель и земельных участков, разработки и реализации документов стратегического планирования.

Статья 13 закрепляет, что планирование и организация рационального использования земель и их охраны осуществляется в отношении всех категорий земель, за исключением земельных участков и (или) земель, в отношении которых в соответствии с законодательством о градостроительной деятельности устанавливаются градостроительные регламенты.

Документом планирования, организации рационального использования и охраны земель является Схема землеустройства территории РФ, а региональным документом планирования, организации рационального использования и охраны земель является Землеустроительная карта (схема) территории субъекта РФ.

Важно отметить, что, принимая во внимание необходимость качественной оценки сельскохозяйственных угодий в рамках определения их кадастровой стоимости, рассматриваемым законопроектом предусмотрено внести изменения в Федеральный закон от 29.07.1998 № 135-ФЗ «Об оценочной деятельности в Российской Федерации» и Федеральный закон от 03.07.2016 № 237-ФЗ «О государственной кадастровой оценке», предусматривающие обязательное рассмотрение сведений о состоянии плодородия на предмет влияния на кадастровую стоимость земельных участков сельскохозяйственного назначения, в границах которых расположены сельскохозяйственные угодья.

Ввести в действие данный закон предполагают с 01.03.2027. Очевидно, что пока остается открытым вопрос, какими силами и средствами будут осуществляться предусмотренные работы, кто будет их финансировать (федеральный или региональный бюджет, частные инвесторы, хозяйствующие субъекты, агропредприятия), какой объем финансовых ресурсов понадобится, на какой цифровой платформе будут размещены в итоге агрегированные геопространственные данные, кто и как будет разрабатывать алгоритмы и цифровые решения для осуществления всей масштабной планируемой деятельности и т. д.?

В процессе прохождения установленных процедур согласования и принятия законопроекта, до вступления в силу закона на многое из вышесказанного необходимо получить ответ. Весьма вероятно, что в составе Минсельхоза России может появиться новая Почвенно-землеустроительная служба.

Указом Президента РФ от 21.01.2020 № 20 (ред. от 10.03.2025) «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» в пункте 7 сформулированы национальные интересы государства на долгосрочный период, в том числе: восстановление и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения, предотвращение сокращения площадей земель сельскохозяйственного назначения, рациональное использование таких земель, защита и сохранение сельскохозяйственных угодий от водной и ветровой эрозии и опустынивания.

Далее в пункте 19 закреплено, что в области производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия необходимо осуществить повышение урожайности сельскохозяйственных культур, сохранение, восстановление и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения, их рациональное использование, соблюдение технологий агропроизводства, вовлечение в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых пахотных земель.

Реализация сформулированных в доктрине позиций требует постоянно-го изучения состояния земель сельскохозяйственного назначения, их периодического обследования, использования технологий дистанционного зондирования и комплексного землеустроительного обеспечения.

#### **Библиографический список**

1. Совершенствование системы управления землями сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации на основе ретроспективного анализа их состояния и использования / под ред. С. Н. Волкова. М. : ГУЗ, 2024. 234 с.
2. Волков С. Н. О необходимости землеустроительного обеспечения вовлечения в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2024. № 4. С. 3–9.
3. Хлыстун В. Н. О стратегии рационального использования сельскохозяйственных земель России // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2024. № 5. С. 3–10.
4. Рогатнёв Ю. М. Теоретические основы землеустройства в современных условиях // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2024. № 3. С. 14–21.
5. Рогатнёв Ю. М. Новое содержание внутрихозяйственного землеустройства // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2023. № 8. С. 23–29.
6. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект Государственного доклада. М. : Минприроды России, 2024. 743 с.
7. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2023 году. М. : Росреестр, 2024. 181 с.
8. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 356 с.
9. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2022 году. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 372 с.
10. Материалы совместного заседания межведомственного координационного совета РАН по исследованию в области агропромышленного комплекса и комплексного развития сельских территорий и Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию. М. : РАН, 2023. 94 с.
11. Материалы парламентских слушаний «Сбережение, целевое и эффективное использование сельскохозяйственных угодий». 27.11.2024. М. : Комитет по аграрным вопросам Государственной Думы. [Электронный ресурс]. – URL: <http://komitet-agro.duma.gov.ru/novosti/4188c218-c998-4488-b675-a9de93766229> (дата обращения: 16.03.2025).

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗОЛОТВАЛОВ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТВАЛА ТЭЦ-5 г. КИРОВА**

**Ю. С. Михалицына, Е. А. Ковтун**

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,  
julechkafluffy@yandex.ru, opezos464643@gmail.com*

В статье представлено исследование влияния золоотвалов ТЭЦ на химическое состояние водных объектов на примере золоотвала ТЭЦ-5 г. Кирова. Проведен анализ проб воды, отобранных в районе размещения золоотвала,

на содержание химических компонентов и обобщенных показателей качества. Полученные значения сравнивались с ПДК для водных объектов, затем рассчитывался интегральный индекс загрязнения воды. Выявлено влияние золоотвала на загрязнение гидрографически связанных с ним поверхностных водных объектов.

Ключевые слова: зола уноса, золоотвал, пруд-отстойник, поверхностный водный объект, предельно допустимая концентрация, индекс загрязнения воды.

Теплоэнергетика является одной из основных составляющих энергетической системы и включает в себя процесс производства тепловой энергии. Теплоэнергетический комплекс (ТЭК) объединяет предприятия, производящие энергию и тепло при сжигании ископаемого топлива (уголь, нефть, природный газ), а также доставку продукта до потребителя.

Одним из результатов функционирования ТЭК является образование золошлакоотвалов, являющихся потенциальными источниками загрязнения гидросферы. В результате взаимодействия с поверхностными и грунтовыми водами и гумусовыми кислотами золошлаковые отходы могут быть источником токсичных элементов, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) в водных объектах.

Целью работы являлось исследование влияния золоотвалов теплоэлектростанций на состояние водных объектов на примере золоотвала ТЭЦ-5 г. Кирова.

На ТЭЦ-5 г. Кирова сжигаются каменные угли Кузнецкого угольного бассейна. Главными компонентами золы кузнецких углей являются  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{HCl}$  [1].

Пробы воды для испытаний были отобраны в районе расположения золоотвала ТЭЦ-5 г. Кирова. Места отбор проб представлены на рисунке.

Золоотвал ТЭЦ-5 г. Кирова расположен на водоразделе. С запада от золоотвала расположена гидрографическая сеть р. Чахловицы (река и ее притоки), с которой золоотвал не связан. Река является левым притоком р. Вятки и впадает в ее старицу. С востока от золоотвала расположена связанная с ним гидрографическая сеть р. Хлыновки, являющейся левым притоком р. Вятки. Из золоотвала вытекает р. Черниха, которая затем течет на восток, пересекая Советский тракт г. Кирова. Река Черниха соединяется с р. Хлыновкой при впадении их обеих в оз. Русское у с. Русское. После выхода из оз. Русского р. Хлыновка продолжает свое течение до впадения в р. Вятку в черте г. Кирова. Таким образом, распространение вносимого золоотвалом загрязнения поверхностных вод возможно по сети: руч. Черниха → р. Хлыновка → оз. Русское → р. Хлыновка → р. Вятка.



Рис. Места отбора проб поверхностной воды:

- п. № 1 – сброс сточных вод в пруд-отстойник золоотвала ТЭЦ-5;
- п. № 2 – выпуск из пруда-отстойника в р. Черниху;
- п. № 3 – на 270 м ниже по течению места сброса сточных вод в р. Черниху;
- п. № 4 – на 3 км ниже по течению места сброса сточных вод в р. Черниху (около садоводческого товарищества «Наука»)

Исследования проводились стандартными методами «мокрой химии». Определялись кислотность, жесткость, щелочность воды, содержание в ней сульфатов, хлоридов, фосфатов, фторидов, металлов (железа и алюминия).

По данным Государственного рыбохозяйственного реестра р. Черниха имеет 1 рыбохозяйственную категорию и для целей питьевого водоснабжения не используется. Полученные содержания химических компонентов и обобщенных показателей качества сравнивались с нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения [2]. Значения для показателей рН и общей жесткости сравнивались с нормативами качества воды питьевой нецентрализованного водоснабжения [3], так как для водных объектов рыбохозяйственного значения нормативы качества воды по данным показателям не установлены.

С целью проведения интегральной оценки качества воды проводился расчет индекса загрязнения воды (ИЗВ) по методике, указанной в приложении Е к СП 502.1325800.2021 [4].

Результаты исследований представлены в таблице.

**Результаты определения содержания загрязняющих веществ  
в воде р. Чернихи**

| Показатель                    | ПДК        | НД  | Результат анализа / доля от ПДК   |                |               |              |
|-------------------------------|------------|-----|-----------------------------------|----------------|---------------|--------------|
|                               |            |     | № пробы                           |                |               |              |
|                               |            |     | 1                                 | 2              | 3             | 4            |
| pH                            | 6,0–9,0    | [3] | 6,9                               | 7,9            | 7,8           | 8,0          |
| Общая жесткость               | 10,0 °dH   |     | 9,6 / 0,96                        | 10,2 / 1,02    | 7,79 / 0,78   | 1,67 / 1,17  |
| Ca <sup>2+</sup>              | 180 мг/л   | [2] | 154,308 / 0,86                    | 146,292 / 0,83 | 100,2 / 0,56  | 20,04 / 0,11 |
| Mg <sup>2+</sup>              | 40 мг/л    |     | 18,24 / 0,46                      | 36,48 / 0,91   | 38,912 / 0,97 | 9,728 / 0,24 |
| Cl <sup>-</sup>               | 300 мг/л   |     | 860 / 2,87                        | 860 / 2,87     | 417 / 1,39    | 115 / 0,38   |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 100 мг/л   |     | 400 / 4,00                        | 780 / 7,80     | 370 / 3,70    | 560 / 5,60   |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 0,613 мг/л |     | 0,428 / 0,70                      | 1,2 / 1,96     | 3,714 / 6,06  | 3,714 / 6,06 |
| F <sup>-</sup>                | 0,75 мг/л  |     | 0,21 / 0,28                       | 0,27 / 0,36    | 0,35 / 0,47   | 0,18 / 0,24  |
| Fe <sup>3+</sup>              | 0,1 мг/л   |     | ниже предела обнаружения методики |                |               |              |
| Al <sup>3+</sup>              | 0,04 мг/л  |     |                                   |                |               |              |
| ИЗВ                           |            | [4] | 1,6                               | 2,6            | 2,2           | 2,3          |
| Класс качества воды           |            |     | III                               | IV             | IV            | IV           |

*Примечание:* НД – нормирующий документ; ИЗВ – индекс загрязнения воды; класс качества воды: III – умеренно-загрязненные; IV – загрязненные.

Результаты показывают, что с удалением от места сброса сточной воды в пруд-отстойник золоотвала pH исследуемой воды возрастает (табл.). Можно сделать вывод, что золоотвал ТЭЦ-5 г. Кирова вносит небольшой подкисляющий эффект.

Основными выявленными видами загрязнений воды являются хлоридное (1,39–2,87 ПДК), сульфатное (3,70–7,80 ПДК) и фосфатное (1,96–6,06 ПДК).

Согласно результатам химического анализа, наиболее чистой пробой воды является проба, отобранная в месте сброса сточных вод с золоотвала ТЭЦ-5 в пруд-отстойник.

Максимальное содержание сульфатов (7,80 ПДК) и хлоридов (2,87 ПДК) в воде отмечено в месте сброса сточных вод из пруда-отстойника в р. Черниха. Это может быть связано с путями переноса вносимых золоотвалом загрязнений в пруде-отстойнике, формируемыми направлением водотока.

Сульфатное и хлоридное загрязнения также коррелируют с составом золы Кузнецких углей.

В пробах воды, взятых ниже по течению от золоотвала и пруда-отстойника ТЭЦ-5, наблюдается высокое содержание фосфатов (6,06 ПДК). Вероятно, это результат вторичного загрязнения водотока вследствие хозяйственной деятельности расположенных по течению садоводческих товариществ и населенных пунктов сельского типа.

Таким образом, золоотвал ТЭЦ-5 влияет на высокое содержание в поверхностной воде сульфатов и хлоридов. Интегральная оценка показала, что поверхностные воды в районе золоотвала являются загрязненными (III и IV классы качества). Интегральный ИЗВ меняется в пределах 1,6–2,6.

#### **Библиографический список**

1. Угли Кузбасса. Химические элементы-примеси и технологии их извлечения при комплексном освоении месторождений: монография / Б. Ф. Нифантов, В. П. Потапов, Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова. Кемерово : ИУ СО РАН, 2011. 310 с.
2. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». М., 2013. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
3. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : принят 28.01.2021 : действ. с 01.03.2021. М., 2021. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
4. СП 502.1325800.2021. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ : принят 16.07.2021 : действ. с 17.01.2022. М., 2021. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОТОКОВ ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ДОБЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ**

*Т. М. Позднякова, И. Л. Ревуцкая*

*Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема,  
г. Биробиджан, Россия, russland-54@mail.ru*

В статье приведен обзор природных особенностей Еврейской автономной области, способствующих накоплению в окружающей среде тяжёлых металлов. Определены возможные риски повышения концентрации железа и марганца в поверхностных водотоках в условиях развития горнодобывающих производств. Намечены основные пути минимизации этих рисков.

Ключевые слова: экологические риски, добывающие производства, тяжёлые металлы, поверхностные водотоки, Еврейская автономная область.

Разработка и освоение месторождений минерального сырья высвобождает из поверхностных слоёв литосферы большие объёмы находящихся в ней в связанном состоянии химических элементов. В ходе проведения геологических работ и после их окончания эти элементы частично используются человеком в хозяйственной деятельности, а частично включаются непосредственно в природные циклы веществ. Среди них – тяжёлые металлы, которые при повышенных концентрациях в разных геосредах способны оказывать негативное влияние на живые организмы, в том числе и на организм человека.

Как правило, такие элементы склонны к избыточному накоплению в среде уже в силу действия исключительно природных факторов: особенностей геологического строения, климата, почвенно-растительного покрова осваиваемых территорий. Развитие добывающих производств, накладываясь на природную основу территории, способно усилить риски формирования повышенных концентраций тяжёлых металлов. Поэтому при проведении геологических работ следует учитывать особенности миграции извлекаемых элементов и природную специфику осваиваемых территорий.

В силу несомненно важного значения для живых организмов и химических свойств воды, как мощнейшего растворителя и динамического вещества, в регионах, подверженных интенсивному промышленному освоению, особенно актуальным, на наш взгляд, является изучение качества водотоков. Тяжёлые металлы в водных экосистемах существуют долго, они не разлагаются, переходят из ионной формы в связанную и накапливаются в гидробионтах в существенно большем количестве, чем в среде их обитания, вызывая ряд функциональных и органических нарушений [1]. Поэтому, при освоении месторождений, крайне важно учитывать особенности миграции тяжёлых металлов.

На территории Еврейской автономной области (ЕАО) в настоящее время ведётся разработка крупных железомарганцевых месторождений. Объёмы извлечения минерального сырья в перспективе будут расти. В этой связи целью нашего исследования является обзор природных особенностей ЕАО, влияющих на миграционную подвижность железа и марганца, и возможные риски изменения их концентрации в поверхностных водотоках с учётом развития добывающих производств на территории региона.

Для подготовки материалов исследования были применены общетеоретические методы (сбор, анализ и синтез информации), метод ключей и наложения карт. Некоторые положения опираются также на результаты отбора и химического анализа проб воды из водотоков, вмещённых в границы предполагаемых контуров распространения высокого валового содержания исследуемых химических элементов на территории ЕАО.

Еврейская автономная область расположена на юге Дальнего Востока России. На её территории представлены отложения всех геологических эпох – от архея до кайнозоя. Наибольшую часть территории области занимает Буреинский срединный массив – структура платформенного типа, фундамент которой сложен кристаллическими образованиями докембрийского возраста. Буреинский массив обрамляют более молодые складчатые образования эффузивных и осадочных (преимущественно молассовых) отложений каледонско-герцинско-киммерийской складчатости.

Территория области многократно вовлекалась в интенсивную тектоническую деятельность, что привело к образованию складчатых и разрывных структур. Древние геологические структуры здесь перекрыты мощным осадочным чехлом из рыхлых озёрно-аллювиальных отложений четвертичного возраста. С внедрениями магмы в комплексы осадочных отложений связаны



крупные гранитные массивы, а с её излияниями на поверхность – покровы вулканических пород. Вследствие посткембрийской тектоно-магматической активизации на территории области происходило внедрение в уже сформированные платформенные образования плагиогранитов и гранодиоритов. С ними связано формирование месторождений многих полезных ископаемых. В частности, в результате минерагенического цикла позднепротерозойской – раннепалеозойской эпохи на территории нашей области сформировались мощные железомарганцевые месторождения.

Юго-восточная часть ЕАО приурочена к Среднеамурской впадине. Её фундамент состоит из палеозойских пород, а осадочный чехол сложен осадочными и вулканогенно-осадочными отложениями позднего мезозоя и кайнозоя.

Для всей территории ЕАО было характерно не только интенсивное смятие пород фундамента, но и развитие протяжённых глубинных разломов, крупнейшим из которых является Тан-Лу. К приразломным зонам также приурочены проявления различных полезных ископаемых [2].

ЕАО является частью Буреинской геохимической провинции, для которой характерен халькофильно-литофильный тип геохимической специализации структурно-формационных комплексов [3]. Практически вся территория области входит в аномальную геохимическую мегазону, которая специализируется на таких металлах как железо, фтор, олово, золото и серебро. Как отмечают современные исследователи, прямая корреляция между геохимической и металлогенической специализациями комплексов не всегда проявляется в их обогащении рудообразующими элементами, но достаточно отчетливо устанавливается на «уровне» геохимических групп элементов [3].

Халькофильно-литофильный тип геохимической специализации предполагает образование природных сульфидных и кислородных соединений. В нашем случае к ним будут относиться преимущественно соединения железа и элементов-спутников, в частности, марганца.

По классификации В. И. Вернадского, железо и марганец входят в циклическую группу элементов, то есть они участвуют в обратимых циклах, образуя химические соединения и отдельные молекулы. Важную роль в этих циклах играет живое вещество [4]. Железо относится к химическим элементам, которые сочетают в себе свойства сидерофильных (соединяется в расплавах с Ni, Mo, Co, Os, Pd, Ir, Pt, Au, Ta и др.), литофильных и биофильных элементов [4], поэтому способно накапливаться в литосфере и живых организмах. При этом железо и марганец являются тяжёлыми металлами, избыток которых крайне неблагоприятно сказывается на живых организмах, в том числе и на организме человека.

Горнодобывающая промышленность традиционно является одной из базовых отраслей специализации Еврейской автономной области. Особенно активно идёт освоение месторождений железомарганцевых руд. Тем временем, исследования современных учёных показывают, что геологические работы способствуют повышению концентрации железа и марганца в поверх-

ностных водотоках, причём это влияние прослеживается на протяжении всего цикла освоения месторождения, включая поисковые, разведочные, добычные и перерабатывающие работы.

Большую экологическую опасность для окружающей среды представляют и хвостохранилища. Так, к примеру, в зоне влияния хвостохранилища Хинганского горно-обогатительного комбината, расположенного на северо-западе ЕАО, было обнаружено превышение ПДК тяжёлых металлов в почве, растительности, воде и донных отложениях: меди – в 27,6 раз, мышьяка – в 23,5 раза, цинка – в 7,6 раз, свинца – в 4,6 раза. Токсичные вещества непосредственно от хвостохранилища распространяются на прилегающие территории, мигрируя с воздушными потоками, атмосферными осадками, поверхностными и подземными водами [5].

Отмечено, что не только геологическое строение, но и другие природные особенности способны усиливать риски повышения валового содержания тяжёлых металлов в поверхностных водах. В силу географической специфики нашей страны, многие исследования посвящены изучению влияния геологических работ на поверхностные воды и донные отложения горнопромышленных комплексов в условиях заболоченности, различных промывных режимов, зоны вечной мерзлоты [6] и пр.

Среди природных особенностей ЕАО при организации геологических работ следует также обратить особое внимание на муссонный тип климата, следствием которого является повышенная водность рек в летне-осенний период и, соответственно, повышенную вымываемость, слагающих верхние слои литосферы горных пород. Связанным с предыдущими фактором, способным воздействовать на концентрации тяжёлых металлов в водотоках, является также широкая распространённость карстовых форм рельефа и трещиноватость горных пород осваиваемых территорий.

Таким образом, геологическое строение территории ЕАО предопределило повышенное содержание железа и марганца в поверхностных водотоках [2]. Другие природные факторы, такие как развитие карстового рельефа, муссонный климат, определяющий особенности водного режима рек, заболоченность значительной части территории, способствуют естественному процессу их концентрации.

Тяжёлые металлы, как основные загрязняющие элементы, не только проникают в поверхностные воды естественным путём по трещинам пород, но и вымываются из пород отработки в ходе высвобождения при добыче и переработке. Поэтому развитие горнодобывающих производств на территории области потенциально будет усиливать риск загрязнения поверхностных вод этими элементами.

Изучение влияния геологических работ на поверхностные водотоки показало, что освоение месторождений железорудного сырья может способствовать возникновению чрезвычайных ситуаций техногенного характера, что, в свою очередь, неизбежно приводит к снижению эффективности работы горных предприятий [5].

Поэтому при реализации программ освоения месторождений полезных ископаемых для минимизации экологических рисков следует учитывать природные особенности территории. В частности, если речь идёт о воздействии добывающих производств на поверхностные водотоки, необходимо уделять внимание следующему ряду технических аспектов: рациональному размещению водопропускных сооружений и устройств при строительстве дорог; созданию искусственных техногенных геохимических барьеров для тяжёлых металлов; соотносению проведения сроков буровзрывных работ с метеорологической обстановкой и сезонными условиями и пр. Учёт природных особенностей добывающих регионов представляется крайне необходимым как в целях сохранения экологически благоприятной среды, так и их дальнейшего экономического развития.

*Работа выполнена при поддержке субсидии на выполнение государственного задания Минобрнауки России № FSNZ-2024-0004 ФГБОУ ВО «ПГУ имени Шолом-Алейхема» по проекту «Трансформация химического состава поверхностных вод Еврейской автономной области под влиянием развития добывающих производств».*

#### **Библиографический список**

1. Аверин Д. Е., Зубарев В. А. Содержание тяжёлых металлов в компонентах малой реки, не подверженной влиянию антропогенной деятельности. DOI: 10.31433/2618-9593-2022-25-4-22-30 // Региональные проблемы. 2022. Т. 25. № 4. С. 22–30.
2. Ревуцкая И. Л., Позднякова Т. М. Роль природных факторов в формировании состава поверхностных вод Еврейской автономной области // Фундаментальная география в Сибири: этапы развития, результаты и перспективы : материалы Междунар. науч. конф. памяти выдающихся географов: 95-летию со дня рождения Владимира Васильевича Воробьева, 85-летию со дня рождения Валериана Афанасьевича Снытко, 75-летию со дня рождения Александра Николаевича Антипова. Иркутск : Институт географии имени В. Б. Соचाва Сибирского отделения Российской академии наук, 2024. С. 336–339.
3. Геохимическая карта России масштаба 1 : 2500000 / А. А. Головин, Л. А. Криночкин, Г. С. Гусев и др. // Разведка и охрана недр. 2010. № 5. С. 14–21.
4. Галюк С. В. Геохимическая классификация элементов. История и современный взгляд // Разведка и охрана недр. 2019. № 9. С. 20–26.
5. Устинов Ю. А., Ионкин К. В., Дербенцева А. М. Некоторые экологические проблемы горного производства и сохранение памятников природы на территории ЕАО. [Электронный ресурс]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-ekologicheskie-problemy-gornogo-proizvodstva-i-sohranenie-pamyatnikov-prirody-na-territorii-eao/viewer> (дата обращения: 09.01.2024).
6. Хованская М. А., Воробьева М. Г. Влияние геологических работ на поверхностные воды и донные отложения Айхальского горнопромышленного комплекса (Якутия) // Вестник ВГУ. Серия Геология. 2019. № 1. С. 93–101.

## ДИНАМИКА МИКРОБНОГО УГЛЕРОДА В ПРОЦЕССЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ НЕФТЮ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

*А. А. Вершинин, А. А. Утомбаева, Э. Р. Зайнулгабидинов,  
Т. В. Кузнецова, Л. К. Каримуллин, И. В. Князев, А. М. Петров  
Институт проблем экологии и недропользования Академии наук  
Республики Татарстан, г. Казань, Россия, A-vershinin@mail.ru*

Исследована динамика углерода микробной биомассы при разных способах рекультивации загрязненной нефтью серой лесной почвы. Показано преимущество комбинированного (техническая + биологическая рекультивация) способа восстановления почвы, при котором содержание микробного углерода увеличивалось в 4,9–8,4 раза. Применение комбинированной рекультивации обеспечивало более эффективную деструкцию нефтепродуктов в почве.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, нефтепродукты, осадок сточных вод, рекультивация, микробный углерод.

Микробный углерод считается важным эколого-физиологическим показателем, отражающим потенциал микробного сообщества и способность почвы сохранять нормальное функционирование в условиях неблагоприятных климатических и антропогенных воздействий [1, 2]. Знания о запасе микробного углерода и дыхательной активности разных почв важны для экологических исследований, в том числе и прогнозных сценариев [3]. В отечественных и зарубежных исследованиях микробная биомасса наряду с параметрами дыхательной активности используется в качестве критерия оценки состояния почв [4, 5]. Ранее нами была показана возможность применения прошедшего барабанную сушку при температуре 105–110 °С осадка городских сточных вод (ОСВ) в качестве агента, стимулирующего микробное сообщество в процессе восстановления нефтезагрязненной почвы [6], что делает актуальным определение его влияния на динамику углерода микробной массы в ходе проведения восстановительных мероприятий.

Цель работы состояла в исследовании влияния гранулированного ОСВ на динамику микробной биомассы в ходе рекультивационных мероприятий на нефтезагрязненной серой лесной почве.

В работе были использованы: серая лесная среднесуглинистая почва; термически обработанный гранулированный осадок сточных вод (ОСВ) с очистных сооружений г. Казани (влажность 6,3%,  $pH_{\text{сол.}}$  6,2, органическое вещество 60,4%,  $N_{\text{общ.}}$  3,0%,  $P_{\text{общ.}}$  1,5%,  $P_{\text{подв.}}$  2000 мг/кг, класс опасности IV). Варианты загрязненных почв (В1, В2, В3 и В4) были получены путём внесения в воздушно-сухую почву сернистой нефти из расчёта 1,2, 2,5, 4,5 и 6,0%. Определенное в них ИК-спектрофотометрическим методом содержание

нефтепродуктов (НП) составило В1–5,2, В2–10,5, В3– 20,5, В4–28,8 г/кг. В качестве контроля (К) использовали незагрязненную нефтью почву.

Исследования включали 2 последовательных этапа:

1) I этап: 25-суточная инкубация загрязненных и незагрязненных нефтью почвенных образцов (опыт Т – техническая рекультивация);

2) II этап: параллельная 42-суточная техническая (опыт ТТ) и биологическая (опыт ТБ) рекультивация загрязненных и незагрязненных нефтью почвенных образцов.

Почвенные образцы инкубировали в контейнерах размером 180×140×90 мм, содержащих по 1400 г воздушно-сухой почвы. Подготовленные почвенные образцы инкубировали при температуре 19–25 °С. Их периодически перемешивали, влажность поддерживали на уровне 25% от полной влагоемкости.

После I этапа рекультивации (на 25-е сутки инкубации) опытные и контрольные варианты были разделены на две равные части, в одну из которых был внесён гранулят из расчёта 20 т/га. На II этапе исследований почвенные образцы без гранулята (опыт ТТ, варианты К, В1, В2, В3, В4) и с гранулятом (опыт ТБ, варианты КГ, В1Г, В2Г, В3Г, В4Г) инкубировались параллельно в течение 42 суток при вышеуказанных условиях. Содержание НП в опытных образцах определяли в начале (после загрязнения почв), после I этапа и после опытов ТТ и ТБ.

Содержание углерода микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) вычисляли на основании показателей субстрат-индуцированного дыхания ( $V_{\text{сид}}$ ) по уравнению:  $C_{\text{мик}} \text{ (мкг/г)} = V_{\text{сид}} \text{ (мкл CO}_2\text{/г} \cdot \text{час)} \cdot 40,04 + 0,37$  [7].

На I этапе, в период 11–17 суток инкубации в вариантах В1, В2 был зафиксирован резкий рост микробной биомассы.  $C_{\text{мик}}$  в почвенных образцах с высоким нефтяным загрязнением (В4) была минимальна. На II этапе исследований во всех вариантах опыта ТТ наблюдалось волнообразное изменение  $C_{\text{мик}}$ . Резких изменений значений  $C_{\text{мик}}$  не происходило. Содержание микробного углерода в процессе ТТ-рекультивации не превышало 516 мкг С/г. По завершению опыта по технической рекультивации  $C_{\text{мик}}$  составляла 388,5–504 мкг С/г, наибольшее его содержание определено в варианте В3 и контрольной почве (рис. 1).

Добавление гранулированного ОСВ на II этапе рекультивации (опыт ТБ) привело к резкому увеличению содержания микробной биомассы в контрольной и загрязненной нефтью почве.  $C_{\text{мик}}$  вариантов в опыте ТБ составляла 1912 – 4235 мкг С/г и в 4,9–8,4 раза превышала соответствующие показатели почв, восстанавливаемых в опыте по технической рекультивации. Самый низкий уровень  $C_{\text{мик}}$  в случае ТБ рекультивации обнаруживался в контрольной почве. Характер изменения  $C_{\text{мик}}$  контрольной почвы был аналогичен варианту В1Г. Динамика  $C_{\text{мик}}$  почв со средним и высоким уровнем загрязнения (варианты В2Г-В4Г) была иной. По завершении опыта ТБ концентрация  $C_{\text{мик}}$  во всех вариантах снижалась. При этом наибольшие запасы микробной биомассы сохранялись в почвах с высоким нефтяным загрязнением (рис. 2).

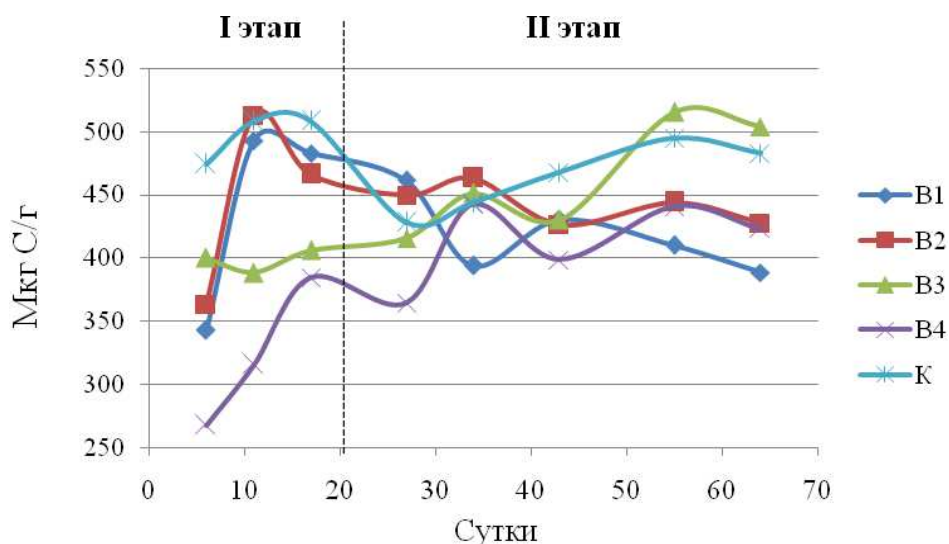


Рис. 1. Динамика микробного углерода ( $C_{\text{мик}}$ ) при технической рекультивации (Т, ТТ)

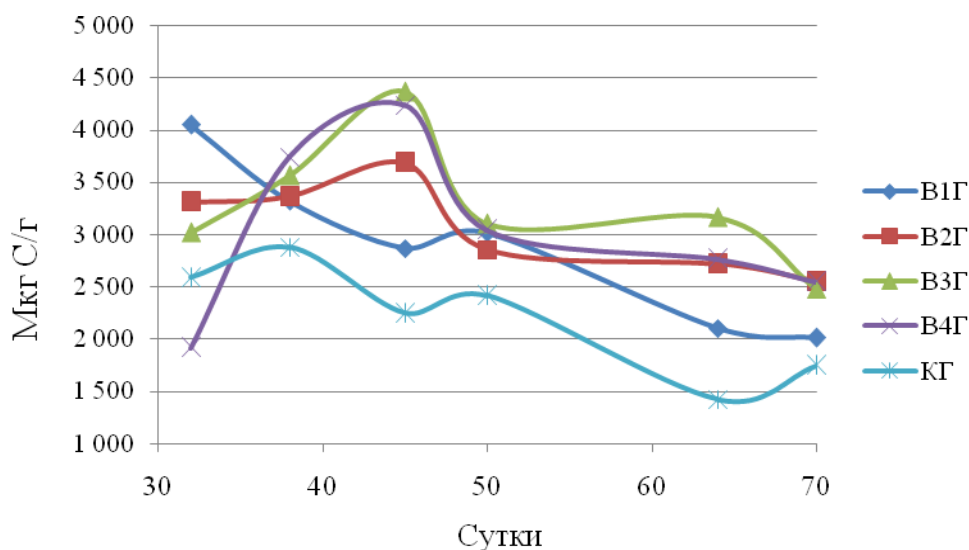


Рис. 2. Динамика микробного углерода ( $C_{\text{мик}}$ ) при комбинированной рекультивации (ТБ)

Инкубирование загрязненных нефтью почвенных образцов на первом этапе эксперимента обеспечило 25–33% снижение содержания НП. Внесение гранулята перед II этапом привело к уменьшению содержания поллютанта в опыте ТБ на 5,4–18,5%. В вариантах В3Г и В4Г концентрация НП стала на 14,9 и 18,5% ниже, чем в вариантах В3 и В4 опыта ТТ (рис. 3).

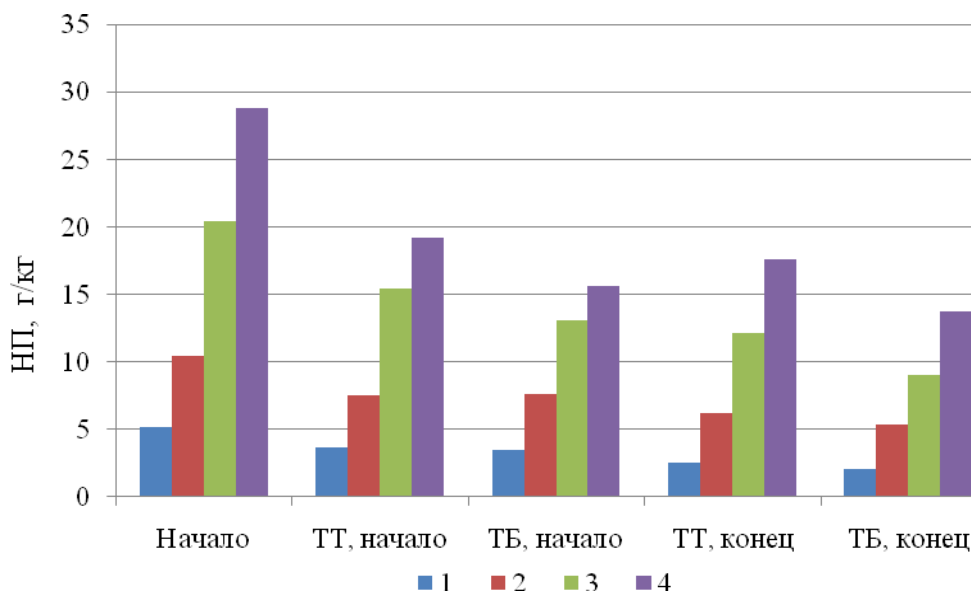


Рис. 3. Изменение содержания НП в загрязненной почве при технической (ТТ) и комбинированной (ТБ) рекультивации (1–4 варианты В1-В4)

Параллельное инкубирование почвенных образцов на II этапе исследований показало, что в опыте по биологической рекультивации интенсивность деструкционных процессов была на 4–12% выше. Содержание НП после опыта ТБ было на 8–15% ниже, чем после двухэтапного опыта по технической рекультивации.

Выводы:

1. При технической рекультивации содержание микробного углерода загрязненных почв было ниже, чем в контрольной почве или, в отдельных случаях, на уровне контрольной исходной почвы.

2. Добавление в загрязненную почву гранулированного ОСВ в процессе комбинированной рекультивации увеличивало содержание микробной биомассы в 4,9–8,4 раза по сравнению с технической рекультивацией, означая тем самым возрастание потенциала микробного пула. Во всех вариантах загрязненных почв содержание  $C_{\text{мик}}$  было выше, чем в контроле. Наибольшая концентрация  $C_{\text{мик}}$  по окончании рекультивации обнаруживалась в образцах почв с высоким нефтяным загрязнением.

3. Внесение гранулированного ОСВ обеспечивало дополнительное снижение концентрации поллютанта в рекультивированной почве на 5,4–18,5%.

#### Библиографический список

1. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Н. В. Кудеяров, Г. А. Заварзин, С. А. Благодатский и др. М. : Наука, 2007. 315 с.
2. Якутин М. В., Анопченко Л. Ю., Андриевский В. С. Влияние засоления на биомассу микроорганизмов в разновозрастных почвах в лесостепной зоне Западной Сибири // Почвоведение. 2016. № 12. С. 1500–1505.

3. Углерод микробной биомассы в профиле лесных почв южной тайги / Е. А. Сусьян, Н. Д. Ананьева, Е. Г. Гавриленко и др. // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1233–1240.
4. Гавриленко Е. Г., Ананьева Н. Д., Макаров О. А. Оценка качества почв различных экосистем (на примере Серпуховского и Подольского районов Московской области) // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1505–1515.
5. Soil quality monitoring in New Zealand: practical lessons from a 6-year trial / G. P. Sparling, L. A. Schipper, W. Bettgeman, R. Hill // Agriculture, ecosystems and environment. 2004. Vol. 104. P. 523–534.
6. Изучение возможности применения осадков сточных вод для биологической рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы / А. А. Утомбаева, А. А. Вершинин, Э. Р. Зайнулгабидинов и др. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.2.63.69 // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 2. С. 63–68.
7. Anderson T. H., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biology and Biochemistry. 1978. Vol. 10. P. 215–221.

## **ГУМУС КАК ПОКАЗАТЕЛЬ, РЕГУЛИРУЮЩИЙ ПОСТУПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ЗЕЛЕННЫЕ КОРМА**

**Г. В. Седукова**

*Государственное научное учреждение  
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Гомель, Беларусь, g.sedukova@gmail.com*

Показано влияние гумуса и содержания подвижных форм гумусовых веществ на коэффициенты перехода радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу сорго-суданкового гибрида, убранную в разные фазы укосной спелости. Представлена связь между урожайностью зеленой массы культуры и гумусовым состоянием дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Ключевые слова: сорго-суданковый гибрид, гумус, подвижные формы гумуса, накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , урожайность, корреляционная связь.

Одним из основных показателей, характеризующих почвенное плодородие, является органическое вещество и его специфическое производное гумус. При высоком содержании гумуса в почве наблюдается нормализация функционирования почвенной биоты. На почвах, характеризующихся высоким плодородием, создаются благоприятные для растений свойства, улучшается структурное состояние, физические и химические свойства, повышается эффективность использования элементов питания из удобрений. Токсическое действие загрязняющих веществ на высокогумусированных почвах значительно ослабевает.

Существенную роль играет также и качественный состав органического вещества. Нередки случаи, когда при одинаковом содержании гумуса в почве продуктивность посевов сельскохозяйственных культур значительно различается. Подвижные формы гумуса, извлекаемые раствором щелочи, обогащены



водородом и азотом, и представляют собой минерализуемую фракцию, которая легко переходит в растворимое состояние. Лабильная часть органического вещества наиболее обогащена микроэлементами [1].

Сельскохозяйственные земли Гомельской области Республики Беларусь, характеризующиеся низким баллом плодородия, оказались загрязненными радионуклидами после катастрофы на Чернобыльской АЭС. Кроме того, данную территорию в настоящее время климатологи выделяют в отдельную зону, для которой характерны высокая температура воздуха в течение вегетационного периода, снижение количества осадков и их эпизодичность.

Поэтому изучение влияния гумуса, его качественного состава на интенсивность накопления радиоактивных веществ и формирование урожайности является актуальной задачей.

Возрастающая проблема засушливости территории обуславливает актуальность вопросов возделывания культур, способных адаптироваться к складывающимся почвенно-климатическим условиям, сохраняя высокий потенциал урожайности и ее стабильности.

Для определения роли гумуса и его подвижности в формировании урожая сорго-суданкового гибрида и накоплении радионуклидов в продукции заложены полевые мелкоделяночные опыты на дерново-подзолистой супесчаной почве, подверженной загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в результате чернобыльской катастрофы. Опыты проводились на однотипных дерново-подзолистых супесчаных почвах, характеризующихся различными агрохимическими показателями. Пахотный горизонт почв экспериментальных участков имел, в соответствии с установленной градацией [2], в среднем высокое содержание подвижных форм фосфора, повышенное содержание обменных форм калия, слабокислую реакцию почвенной среды и повышенное содержание гумуса.

В качестве объекта исследований использовали сорго-суданковый гибрид. Культуру убирали в фазы: начало выметывания метелки (НВМ) и молочно-восковой спелости зерна (МВС). Урожайность зеленой массы разной укосной спелости сорго-суданкового гибрида устанавливали путем взвешивания продукции с учетной площади и пересчета на центнеры с гектара посевов. Оценивалась урожайность, полученная за счет естественного плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы. В зеленой массе определялась удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

В период уборки культуры отбирались и пробы почвы. Содержание гумуса определяли по ГОСТ 26212-91. Содержание подвижных гумусовых веществ – по М.А. Егорову [3]. На основании определения в почве удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , расчетным путем определяли коэффициенты перехода ( $K_p$ ) радионуклидов в зеленую массу в фазу НВМ и в фазу МВС.

Коэффициент перехода радионуклида из почвы в растения определяли по формуле 1:

$$K_p = U_{\text{Ap}}/ПЗ, \quad (1)$$

где  $K_p$  – коэффициент перехода, Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>,  $U_{Ar}$  – удельная активность радионуклида в растениях, Бк/кг; ПЗ – плотность загрязнения почвы радионуклидом, кБк/м<sup>2</sup>.

ПЗ почвы рассчитывалась по формуле 2:

$$ПЗ = (U_{Ap} * M) / 1000, \quad (2)$$

где  $U_{Ap}$  – удельная активность радионуклида в почве, Бк/кг,  $M$  – вес 1 м<sup>2</sup> почвы пахотного горизонта (20 см), кг.

Удельную активность <sup>137</sup>Cs в почве и растениях определяли спектрометрическим методом на спектрометре Canberra-DX1000. Удельную активность <sup>90</sup>Sr в почвенных и растительных пробах определяли путём радиохимического выделения радионуклида по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на аттестованном  $\alpha$ - $\beta$  счётчике Canberra-2400 [4].

Урожайность зеленой массы сорго-суданкового гибрида в фазу НВМ изменялась в диапазоне 234–396 ц/га. В среднем за 2023–2024 гг. она находилась на уровне 318 ц/га.

Урожайность зеленой массы культуры в фазу МВС варьировала от 397 до 740 ц/га при среднем значении 583 ц/га. Прирост зеленой массы от первой до второй укосной спелости в среднем составил 264 ц/га.

Следует отметить, что урожайность зеленой массы в обе фазы укосной спелости значительно изменялась в годы исследований. Коэффициент вариации  $V$  составил 21% и 24% в фазу НВМ и МВС соответственно. Это обусловлено существенной разницей температурного и водного режима в анализируемые годы.

На основании корреляционного анализа установлено, что между содержанием в почве гумуса и урожайностью зеленой массы прослеживалась сильная (по Чеддоку) связь.

Уравнение регрессии, характеризующее связь между содержанием в почве подвижных форм гумусовых веществ, среднее содержание которых составило 0,12%, и урожайностью зеленой массы НВМ имеет вид  $Y = 5783,1x - 133,15$ ; урожайностью зеленой массы МВС –  $Y = 3271x - 86,56$ .

Коэффициент выравнивания значений, характеризующих содержание подвижных гумусовых веществ в исследуемой почве, составил 91, что свидетельствует о незначительной изменчивости данного показателя.

Наблюдалось увеличение содержания подвижных форм гумуса при возрастании уровня гумусированности почвы. При этом отмечено снижение степени подвижности гумуса при увеличении его общего содержания в почве. Так, при содержании в почве гумуса около 2% его подвижность составила около 11,5%. При уровне гумусированности почвы около 3% подвижность гумуса снизилась до 7%.

Установлено, что с увеличением содержания гумуса и его подвижных форм происходит снижение уровня накопления радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr. Причем, сила связи между  $K_p$  радионуклидов в зеленую массу, убранную в фазу МВС, сильнее, по сравнению с аналогичным показателем в фазу НВМ.

Так, между содержанием подвижных форм гумуса, с одной стороны, и  $K_p$   $^{137}\text{Cs}$  и  $K_p$   $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу НВМ, с другой стороны, прослеживается сильная обратная нелинейная корреляционная связь, а в биомассу в фазе МВС связь становится очень сильной. Трендовые изменения  $K_p$   $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу ССГ, убранную в разные фазы укосной спелости, показаны на рисунке.

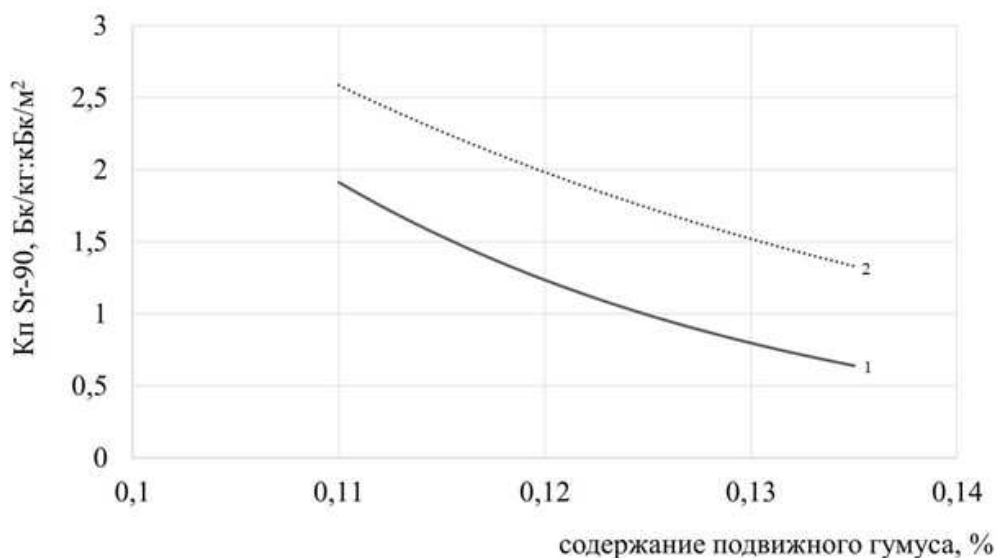


Рис. Влияние содержания подвижных гумусовых веществ на коэффициент перехода ( $K_p$ )  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу сорго-суданкового гибрида (ССГ): 1 – тренд изменения  $K_p$   $^{90}\text{Sr}$  в фазу начала выметывания метелки, 2 – тренд изменения  $K_p$   $^{90}\text{Sr}$  в фазу молочно-восковой спелости зерна

Таким образом, содержание в почве гумуса и его подвижных форм оказывает сильное влияние на интенсивность поступления радионуклидов в зеленую массу сорго-суданкового гибрида. С повышением уровня гумусированности почвы и содержания подвижных гумусовых веществ наблюдается снижение параметров накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зеленой массе культуры.

Увеличение подвижных форм гумуса на 0,01 % способствует повышению урожайности зеленой массы в фазу начала выметывания метелки на 32,7 ц/га, в фазу молочно-восковой спелости зерна – на 57,8 ц/га.

#### Библиографический список

1. Мирошниченко Н. Н., Куц Е. А., Головатый С. Е. Органическое вещество почвы как депо и источник микроэлементов // Экологический вестник. 2017. № 1. С. 71–77.
2. Справочник агрохимика / В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько, М. В. Рак и др. Минск : ИВЦ Минфина, 2021. 260 с.
3. Лабораторно-практические занятия по почвоведению : учебное пособие / М. В. Новицкий, И. Н. Донских, Д. В. Чернова и др. СПб. : Проспект Науки, 2024. 320 с.
4. Методические указания по определению  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и растениях / Центр. науч.-исслед. ин-т агрохим. обслуживания сел. хоз-ва; А. В. Кузнецов и др. М. : ЦИНАО, 1985. 64 с.

# ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ПОСТУПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ЗЕЛЕНУЮ МАССУ СОРГО САХАРНОГО ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*Г. В. Седукова<sup>1</sup>, Н. В. Кристова<sup>1</sup>, С. А. Исаченко<sup>1</sup>, С. В. Радченко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт радиобиологии НАН Беларуси,  
г. Гомель, Беларусь, kristovanina@yandex.by,*

<sup>2</sup> *Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Беларусь, lanara2013@mail.ru*

В статье изложены результаты исследования по изучению влияния систем удобрений на продуктивность и поступление радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу сорго сахарного на дерново-подзолистой супесчаной почве. Внесение удобрений повышает урожайность зеленой массы сорго сахарного на 22–44%, снижает поступление  $^{137}\text{Cs}$  в среднем на 30–32%,  $^{90}\text{Sr}$  – на 36%.

Ключевые слова: сорго сахарное, урожайность, система удобрений,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

Одной из основных экологических проблем Беларуси является радиоактивное загрязнение окружающей среды в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Основная тяжесть последствий аварии затронула аграрную сферу. Главной задачей сельского хозяйства на территории радиоактивного загрязнения является производство сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов. На поступление радионуклидов в продукцию сельскохозяйственных культур оказывают влияние режим увлажнения почвы, уровень ее плодородия и биологические особенности сельскохозяйственных культур, технология возделывания и др. [1]. В настоящее время наблюдается существенная трансформация климата. Повышение температуры и изменение характера осадков снижают обеспеченность растений водой, что сказывается на устойчивости производства травяных кормов. Сорго является одной из немногих культур, которые справляются с потеплением климата и сопутствующими водными проблемами [2].

Сорго не требовательно к почвенному плодородию. Однако рост урожайности культуры достигается за счет эффективного использования научно обоснованных норм применения минеральных и органических удобрений. Дозы удобрений должны обеспечивать не только сохранение и воспроизводство почвенного плодородия, получение устойчивых урожаев, но и способствовать снижению накопления радионуклидов в продукции.

Исследования по изучению влияния различных систем удобрений на урожайность и поступление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу сорго сахарного проводили путем постановки полевых опытов на дерново-подзолистой супесчаной почве в 2023–2024 гг. Опытный участок располагался на территории Вет-

ковского района Гомельской области. Усредненные агрохимические показатели пахотного горизонта почвы экспериментального участка следующие:  $pH_{KCl} - 5,66 \pm 0,25$  (слабокислая почва), гумус –  $1,73 \pm 0,38\%$  (среднее содержание),  $P_2O_5 - 270,1 \pm 64,2$  мг/кг почвы (высокое содержание),  $K_2O - 124,9 \pm 37,5$  мг/кг почвы (низкое содержание). В среднем, индекс окультуренности почвы составляет 0,77, что характеризует ее как среднеокультуренную. Плотность загрязнения пахотного горизонта почвы опытного участка  $^{137}Cs$  находился на уровне  $178$  кБк/м<sup>2</sup> ( $4,8$  Ки/км<sup>2</sup>),  $^{90}Sr - 6$  кБк/м<sup>2</sup> ( $0,15$  Ки/км<sup>2</sup>).

Схема опыта включала 9 вариантов: без удобрений – контроль;  $N_{60}P_{60}K_{100}$ ;  $N_{90}P_{60}K_{100}$ ; навоз;  $N_{60}P_{60}K_{100} + \text{навоз}$ ;  $N_{90}P_{60}K_{100} + \text{навоз}$ , навоз (последствие);  $N_{60}P_{60}K_{100} + \text{навоз}$  (последствие);  $N_{90}P_{60}K_{100} + \text{навоз}$  (последствие). Минеральные удобрения вносили под предпосевную культивацию. В качестве минеральных удобрений использовались: карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. Подстилочный навоз в дозе 30 т/га вносили перед посевом культур и под предшествующую культуру (последствие). Опыты проводились в 3-кратной повторности с общей и учетной площадью делянок 10 м<sup>2</sup> и 4 м<sup>2</sup>, соответственно. Посев осуществлялся в третьей декаде мая, широкорядным способом с шириной междурядий 45 см. Высеян сорт «Славянское приусадебное». Норма высева – 20 кг/га.

В периоды наступления у культур фаз – начало выметывания метелки (НВМ) (кормовой вариант), молочно-восковой спелости зерна (МВС) (сенажно-силосный вариант) – проведен учет урожая зеленой массы, отобраны сопряженные почвенные и растительные образцы для проведения аналитических исследований. Удельную активность  $^{137}Cs$  в исследуемых почвенных и растительных образцах определяли на  $\gamma$ -спектрометрических комплексах фирмы Canberra. Радиохимическое выделение  $^{90}Sr$  проводили по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на аттестованном  $\alpha$ - $\beta$  счетчике Canberra-2400. Аппаратурная ошибка измерений не превышает 20%. Статистическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа с использованием стандартного пакета Excel.

Урожайность зеленой массы сорго сахарного в фазу НВМ в зависимости от системы удобрений изменялась от 289 ц/га до 449 ц/га, в фазу МВС – от 477 ц/га до 817 ц/га. При внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{60}P_{60}K_{100}$  прибавка урожая по сравнению с неудобренным фоном составила 73 ц/га, а в дозе  $N_{90}P_{60}K_{100} - 135$  ц/га. В фазу МВС при внесении  $N_{60}P_{60}K_{100}$  сбор зеленой массы увеличился на 182 ц/га, в дозе  $N_{90}P_{60}K_{100} - \text{на } 340$  ц/га.

Органическая система удобрений не имела существенных преимуществ. Применение органо-минеральной системы удобрений при уборке в первую фазу укосной спелости обеспечивало рост урожайности зеленой массы на 65–111 ц/га, в фазу МВС – 214–325 ц/га.

Отмечено, что увеличение дозы азота с 60 до 90 кг/га д. в. обеспечивает дополнительное получение 20–62 ц/га зеленой массы при уборке культуры в фазу НВМ и 28–158 ц/га при уборке культуры в фазу МВС.

В целом, урожайность зеленой массы сорго сахарного, полученная на делянках с применением  $N_{90}$  на 11–34% выше, чем на делянках с  $N_{60}$ . Различия между аналогичными вариантами на минеральной и органо-минеральной системах удобрений были в пределах наименьшей существенной разницы.

Проведена оценка радиологического качества зеленой массы. Так, удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в зеленой массе в фазу НВМ не превышала 13,8 Бк/кг, в фазу МВС – 9,3 Бк/кг, что более чем на порядок ниже допустимого уровня содержания в кормах, используемых для скормливания молочному стаду КРС для получения молока цельного (норматив 165 Бк/кг).

Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в зеленой массе сорго в фазу НВМ находилась в среднем на уровне 10,4 Бк/кг, в фазу МВС – 9,0 Бк/кг, что соответствует нормативным требованиям по содержанию данного радионуклида в кормах, используемых для скормливания молочным коровам и получения молока цельного (37 Бк/кг).

Коэффициенты перехода (Кп)  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу сорго сахарного варьировали от 0,019 до 0,052 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>.

При внесении удобрений отмечено снижение параметров перехода радионуклида в растения по сравнению с контролем в фазу НВМ в среднем на 30%, МВС – на 32%. В первую укосную спелость наибольшее снижение значений Кп  $^{137}\text{Cs}$  отмечено на органической системе удобрений – 40%. При увеличении дозы азота до 90 кг/га д.в. Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу культуры возросли на 0,012 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>.

На органо-минеральной системе удобрений с внесением навоза перед посевом культуры сохранились аналогичные тенденции. В варианте с внесением  $N_{60}P_{60}K_{100}$  + навоз Кп  $^{137}\text{Cs}$  были существенно ниже, чем на фоне  $N_{90}P_{60}K_{100}$  + навоз. На делянках, где оценивалось последствие навоза, увеличение дозы азотного удобрения не оказало существенного влияния на увеличение поступления радионуклида в растения сорго. Средние значения Кп  $^{137}\text{Cs}$  при возделывании культуры на органо-минеральных системах удобрений на 24–29% ниже контроля, и на 10–17% ниже, чем в вариантах с  $N_{90}$ .

При уборке культуры в фазу МВС значения Кп  $^{137}\text{Cs}$  снизились на минеральной системе удобрений на 30%, органической – на 45%, органо-минеральной – на 36%. При увеличении дозы азота отмечен несущественный рост Кп  $^{137}\text{Cs}$ .

Кп  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу сорго сахарного, убранную в фазу НВМ, изменялся от 1,75 до 3,31 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>, МВС – от 1,45 до 2,93 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup> (рис.).

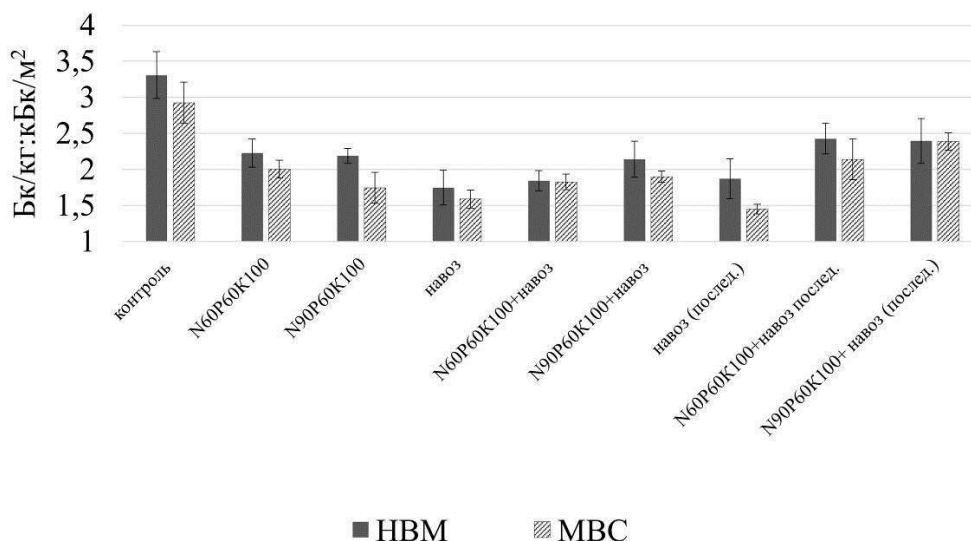


Рис. Влияние систем удобрений на коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу сорго сахарного в разные фазы укосной спелости:

HBM – начало выметывания метелки,  
MBC – молочно-восковая спелость зерна

При внесении удобрений Кп  $^{90}\text{Sr}$  по сравнению с контролем снизились в среднем на 36%. В первую укосную спелость наименьшие Кп  $^{90}\text{Sr}$  отмечены в вариантах с органической системой удобрений. Различия между минеральной и органоминеральной системами удобрений были в пределах наименьшей существенной разницы. Увеличение дозы азота в среднем не оказало влияния на параметр перехода радионуклида в продукцию сорго сахарного.

Во вторую укосную спелость наименьшие Кп  $^{90}\text{Sr}$  получены в варианте с внесением навоза под предшествующую культуру, а наибольшие – в варианте N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub> на последствии навоза – 2,39 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>. Среди вариантов с NPK наименьшее поступление  $^{90}\text{Sr}$  отмечено на фоне N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub>.

Полученные результаты свидетельствуют о том, в ситуации существующего облучения внесение удобрений продолжает являться эффективным приемом улучшения радиологического качества зеленой массы сорго сахарного при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве средней степени окультуренности. Наименьший Кп  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу сорго сахарного обеспечивает система удобрений N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub>, а Кп  $^{90}\text{Sr}$  – N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub> и N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub> + навоз. Наибольший сбор зеленой массы культуры получен при внесении N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub>, N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub>+навоз.

#### Библиографический список

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько и др.; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. Минск : ИВЦ Минфина, 2021. 144 с.
2. Popescu A., Dinu T.A., Stoian E. Sorghum – an important cereal in the world, in the European Union and Romania // Scientific Papers. Series “Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development”. 2018. Vol. 18. No. 4. P. 271–284.

# НАКОПЛЕНИЕ $^{40}\text{K}$ и $^{137}\text{Cs}$ в НАДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ СОРГО ЗЕРНОВОГО

*А. А. Милейко, Г. В. Седукова, Н. В. Кристова, С. А. Исаченко*

*Государственное научное учреждение  
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Гомель, Беларусь, mileyko98@mail.ru*

Представлены результаты исследований по накоплению радионуклидов в листьях и стеблях растения сорго зернового. Показана интенсивность нарастания зеленой массы культуры. Представлены данные по удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  и изменению их соотношения по фазам онтогенеза.

Ключевые слова: сорго зерновое, радионуклиды, органы растений, удельная активность,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ .

Одним из важных направлений исследований в настоящее время является изучение изменений климатических условий [1]. В условиях изменчивости климата важен поиск адаптивных культур с высокой и стабильной урожайностью для использования в сельском хозяйстве или ином производстве. При введении таких культур в севооборот необходимо всестороннее изучение особенностей биологии строения и развития растений, влияния на них экологических факторов, а также разработка соответствующих технологических приемов выращивания растений для конкретных целей с учетом физико-химических характеристик территорий. На территории Беларуси, пострадавшей от чернобыльской катастрофы, одними из ключевых факторов, потенциально влияющих на онтогенез растений и возможность получения безопасной продукции, выступают уровень содержания радионуклидов в почве и накопление последних растениями. Помимо всего прочего, отсутствие регламента по возделыванию сорго зернового в Республике Беларусь также обуславливает целесообразность проведения исследований по изучению влияния условий возделывания на урожайность и качество сырья и продукции.

Цель настоящего исследования – выявление закономерностей накопления радионуклидов (калия-40 и цезия-137) и их распределение в надземных органах растений.

В качестве объекта исследования было выбрано сорго зерновое (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) как перспективная культура для выращивания с продовольственными, кормовыми и техническими целями.

Сорго зерновое – однолетнее растение с мощной мочковатой корневой системой. Высота стебля варьирует от 0,5 до 1,5 м, толщина – 1,0–2,5 см. Кустится слабо. Листорасположение – очередное. Листовые пластинки сидячие, линейно-ланцетные, длиной до 1 м [2]. Соцветие – метелка различной формы и длины от 10 до 40 см. Плод – зерновка округлой, реже яйцевидной формы [3, 4]. Оптимальная температура прорастания семян 18–20 °С [5].



Жизненный цикл сорго зернового включает следующие фазы развития: прорастание (всходы, третий лист), вегетативный рост (кущение, выход в трубку, выметывание), цветение и созревание (молочная, восковая и полная спелость). Каждая из этих фаз характеризуется различными физиологическими процессами, которые влияют на рост и развитие, а также распределение и накопление тех или иных радионуклидов.

В качестве предмета исследований выступает удельная активность цезия-137. Это техногенный радионуклид, который образуется при делении ядер и попадает в окружающую среду, в основном, в результате ядерных испытаний и/или аварий. Для сравнения исследована также удельная активность калия-40, который является естественным радионуклидом, имеет сходные с цезием-137 физико-химические свойства, что обуславливает возможность совместной транспортировки элементов по ионным каналам растений [6]. Считается, что соотношение  $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$  может характеризовать биологические особенности фитоценозов, следовательно, необходимо его установление с целью корректировки прогноза радиоактивного загрязнения [7]. А понимание механизмов накопления и перехода радиоактивных элементов в сорго может помочь в оценке их воздействия на здоровье человека и компоненты экосистемы.

Сорго зерновое выращивали в полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве на территории радиоактивного загрязнения Брагинского района Гомельской области, где плотность поверхностного загрязнения почв радиоцезием чернобыльского происхождения составляла в среднем 8 Ки/км<sup>2</sup>. Учетная площадь делянки – 10 м<sup>2</sup>. Производили посев с междурядьем 45 см в трехкратной повторности.

Отбор проб надземных органов (лист, стебель, соцветие) производился в наиболее значимые фазы развития растений – вегетативный рост (фаза начала выметывания метелки) и созревание (фаза молочно-восковой спелости). Пробы высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали, заполняли сосуды измерений типа Дента (объемом 100 см<sup>3</sup>) или Маринелли (объемом 500 см<sup>3</sup>) с учетом рациональной плотности наполнения по геометрии. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  ( $E_\gamma = 661,6$  кэВ) и  $^{40}\text{K}$  ( $E_\gamma = 1460,75$  кэВ) в растительных образцах определяли на гамма-спектрометре CANBERRA с полупроводниковым детектором. Время измерения составляло от часа до нескольких часов обратно пропорционально ожидаемой активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  в исследуемых образцах. Относительная погрешность измерений удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  по пикам полного поглощения при доверительном интервале  $P = 95\%$  не превышала 20%.

Рост и развитие сорго зернового в первый срок сева проходил в засушливый период, а средняя дневная температура воздуха была на 4–6 °С ниже нормы, что замедлило жизненный цикл растений. Последующие варианты эксперимента проходили в более благоприятных метеоусловиях, отличающихся количеством выпадения осадков, о чем свидетельствует скорейшее прохождение фенологических фаз и достижение фаз созревания (рис.). Сред-

ная продолжительность межфазных периодов «кущение – выход в трубку» составила 20 дней, «выход в трубку – выметывание» – 14 дней, «выметывание – молочно-восковая спелость зерна» – 50 дней.

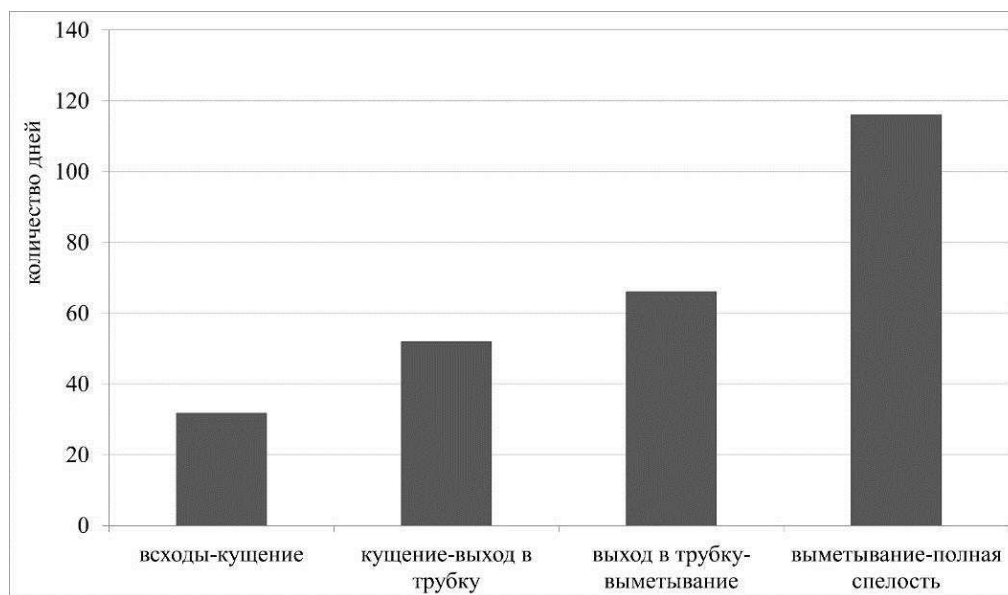


Рис. Динамика прохождения фаз онтогенеза сорго зернового в течение вегетационного периода

Установлено распределение калия-40 и цезия-137 по фазам роста растений сорго зернового. Так, анализ представленных в таблице 1 результатов свидетельствует о том, что калий-40 накапливается в стеблях в 1,2 раза больше по сравнению с листьями в фазу вегетативного роста. При этом наблюдалось, что удельная активность цезия-137 в 1,3 раза выше в листьях, чем в стебле.

Таблица 1

**Удельная активность радионуклидов в вегетативных органах растения сорго зернового в фазу вегетативного роста, Бк/кг**

| Срок сева | Лист            |     |      |                   |      |      | Стебель         |     |      |                   |      |      |
|-----------|-----------------|-----|------|-------------------|------|------|-----------------|-----|------|-------------------|------|------|
|           | $^{40}\text{K}$ |     |      | $^{137}\text{Cs}$ |      |      | $^{40}\text{K}$ |     |      | $^{137}\text{Cs}$ |      |      |
|           | ср.             | мин | макс | ср.               | мин  | макс | ср.             | мин | макс | ср.               | мин  | макс |
| I         | 551             | 454 | 649  | 9,0               | 6,7  | 11,3 | 761             | 634 | 889  | 4,8               | 3,0  | 6,6  |
| II        | 510             | 427 | 593  | 10,1              | 8,4  | 11,8 | 532             | 484 | 580  | 5,6               | 3,7  | 7,5  |
| III       | 606             | 477 | 734  | 44,5              | 36,3 | 52,7 | 670             | 549 | 792  | 28,0              | 22,4 | 33,6 |
| IV        | 641             | 529 | 753  | 14,1              | 11,9 | 16,3 | 908             | 723 | 1093 | 22,9              | 12,7 | 33,1 |

Соотношение  $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$  в листьях почти на 37% выше, чем в стеблях.

В фазу созревания происходит перераспределение питательных веществ (табл. 2) в связи с формированием генеративных органов, что подтверждается снижением накопления  $^{40}\text{K}$  в листьях и возрастанием его в стеблях в 2 раза и в соцветиях. В то же время активность радиоцезия увеличивается в 1,4 раза в листьях по отношению к стеблям и в 2,6 раз – по отношению к метелкам.

Соотношение  $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$  в листьях увеличивается к фазе созревания до 60%.

Таблица 2

**Удельная активность радионуклидов в вегетативных органах растения  
сорго зернового в фазу созревания, Бк/кг**

| Срок сева | Лист            |     |      |                   |     |      | Стебель         |     |      |                   |     |      | Соцветие        |     |      |                   |     |      |
|-----------|-----------------|-----|------|-------------------|-----|------|-----------------|-----|------|-------------------|-----|------|-----------------|-----|------|-------------------|-----|------|
|           | $^{40}\text{K}$ |     |      | $^{137}\text{Cs}$ |     |      | $^{40}\text{K}$ |     |      | $^{137}\text{Cs}$ |     |      | $^{40}\text{K}$ |     |      | $^{137}\text{Cs}$ |     |      |
|           | ср.             | мин | макс | ср.               | мин | макс | ср.             | мин | макс | ср.               | мин | макс | ср.             | мин | макс | ср.               | мин | макс |
| I         | 445             | 356 | 534  | 17                | 13  | 21   | 965             | 826 | 1104 | 15                | 13  | 18   | 301             | 249 | 353  | 8                 | 6   | 9    |
| II        | 598             | 493 | 702  | 13                | 10  | 17   | 978             | 836 | 1121 | 5                 | 4   | 7    | 299             | 239 | 358  | 8                 | 6   | 10   |
| III       | 519             | 423 | 615  | 48                | 43  | 53   | 938             | 790 | 1086 | 28                | 24  | 32   | 134             | 91  | 177  | 16                | 13  | 20   |
| IV        | 578             | 422 | 733  | 27                | 20  | 35   | 1001            | 862 | 1141 | 28                | 23  | 34   | 162             | 97  | 227  | 9                 | 6   | 12   |

Таким образом, установлены закономерности накопления и распределения радионуклидов  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в надземных органах растений сорго зернового при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве в Гомельской области, расположенной в юго-восточной части Беларуси. Изучение биологических особенностей накопления  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в сорго зерновом имеет важное значение для оценки рисков, связанных с радиоактивным загрязнением черныбыльскаго происхождения.

**Библиографический список**

1. Научно-практическое издание «НСМОС Беларуси – 30 лет! Перспективы развития» / под ред. НСМОС в РБ. Минск, 2023. 94 с.
2. Цвелев Н. Н. Злаки СССР. Л.: Наука, 1976. 788 с.
3. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. – Сорго зерновое [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.agroatlas.ru/ru/content/cultural/Sorghum\\_bicolor\\_K/index.html](http://www.agroatlas.ru/ru/content/cultural/Sorghum_bicolor_K/index.html) (дата обращения: 27.01.2025).
4. Агротехника сорго зернового [Электронный ресурс]. – URL: <https://anoshkinososh.ru/hozyayushkam/agrotehnika-sorgo-zernovogo> (дата обращения: 27.01.2025).
5. Сорго [Электронный ресурс]. – URL: <https://universityagro.ru/растениеводство/-sorgo.html> (дата обращения: 20.03.2025).
6. Hampton C. R., Broadley M. R., White P. J. Short review: The mechanisms of radio-caesium uptake by Arabidopsis roots // Nukleonika. 2005. Vol. 50. P. 3–8.
7. Парамонова Т. А., Романцова Н. А. Сравнительный анализ поступления цезия-137 и калия-40 в травянистую растительность на радиоактивно загрязненной территории Тульской области // Живые и биокосные системы. 2013. № 5. С. 1–10.

## РЕАГЕНТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЗАПАХА ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПТИЦЕВОДСТВА

*Д. А. Кузнецов*

*Вятский государственный университет,  
г. Киров, Россия, dimzaaa@gmail.com*

В условиях лабораторного эксперимента изучено влияние экологически безопасных натуральных сорбентов и химических реагентов на запах куриного помета (КП). Наилучший результат был получен при обработке КП гашеной известью с последующим высушиванием смеси. Недостаток соответствующего метода дезодорирования – интенсивная эмиссия аммиака, приводящая к потере азота и загрязнению окружающей среды.

Ключевые слова: куриный помет, дезодорация, реагенты, известь, аммиак.

Активное развитие современного промышленного птицеводства приводит к образованию значительного количества побочных продуктов, включая помет, отходы инкубации, убоя и переработки птицы и яиц. Соответствующие отходы характеризуются высоким содержанием биогенных азотистых соединений, что делает их хорошей питательной средой для развития гнилостной микробиоты. Процесс гниения сопровождается эмиссией в окружающую среду (ОС) значительного количества летучих соединений, многие из которых характеризуются весьма неприятным запахом [1]. Запаховое загрязнение атмосферного воздуха (ЗЗ) негативно отражается на здоровье и качестве жизни населения, приводит к многочисленным жалобам в контролирующие органы и органы власти, снижает социальный имидж птицеводческих предприятий.

Контроль запаха побочных продуктов, в частности птичьего помета (ПП), представляет чрезвычайно сложную задачу, что во многом обусловлено большими объемами выхода, сложным химическим составом, неблагоприятными санитарными характеристиками и экономической нецелесообразностью транспортирования ПП на значительные расстояния [2]. В настоящее время основная масса образующегося ПП используется в качестве органического удобрения. Перед внесением в почву помет обеззараживают. Цель обеззараживания состоит в устранении патогенных микроорганизмов (МО), гельминтов, яиц гельминтов, представляющих опасность для ОС, здоровья людей и животных. Чаще всего для обеззараживания применяют естественный биологический метод – выдерживание ПП в специальных помехохранилищах, расположенных вблизи птицеводческих предприятий. Складируемые на ограниченных территориях пометные массы являются мощным источником разнообразных запахообразующих веществ (ЗОВ), включая  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , летучие органические соединения (короткоцепочечные жирные кислоты, биогенные

амины, тиоспирты, фенолы, гетероциклические соединения и др.) [3]. Разработка способов и приемов, способствующих снижению эмиссии соответствующих соединений в ОС, является актуальной и социально значимой задачей.

Цель работы – оценить эффективность и перспективы практического использования реагентных методов контроля запаха птичьего (куриного) помета.

Основным достоинством реагентных (химических) методов контроля ЗЗ является высокая скорость достижения необходимого результата. К недостаткам следует отнести дополнительные расходы на приобретение дезодорирующих материалов, а также ограниченный перечень экологически безопасных реагентов, пригодных для использования в условиях птицеводческих предприятий [4].

Обработка ПП реагентами направлена на решение следующих задач:

- подавление активности гнилостной микробиоты;
- снижение эмиссии ЗОВ за счет процессов деструкции, химического связывания или адсорбции.

Для проведения экспериментальных исследований использовали образцы куриного помета (КП), отобранные на крупном птицеводческом предприятии Московской области. Содержание подстилки (древесных опилок) ~ 5%; запах неприятный, резкий, кислый; цвет – темный; консистенция неоднородная, мажущаяся; влажность – 40%; pH нефильтрованной водной вытяжки 1:10 – 7,0.

Для обработки КП применяли сорбенты (березовый уголь, глауконит, цеолит, перлит, силикагель); регуляторы кислотности (гашеная известь, доломитовая мука, известняковая мука, карбонат калия), а также гумат калия, хлорид железа(III), верховой и низинный торф, фосфоритную муку, суперфосфат. Сведения о целесообразности использования соответствующих реагентов приведены в ряде публикаций [5–11]. Добавки вносили в количестве 5% от массы КП (в расчете на фактическую влажность помета).

Дезодорирующие добавки тщательно смешивали с КП в фарфоровой ступке. Смесь высушивали в термостате при температуре  $105 \pm 2$  °C до постоянной массы. Интенсивность и гедонистический тон (характер) запаха определяли органолептическим методом и оценивали в баллах от 0 (запах отсутствует) до 5 (запах соответствует запаху высушенного КП без добавок). Группа экспертов для оценки запаха включала 6 человек. В качестве образца для сравнения использовали высушенный в аналогичных условиях КП без добавок.

Полученные результаты приведены в таблице.

**Влияние дезодорирующих добавок на запах куриного помета**

| № п/п | Дезодорирующая добавка (10% от массы КП) | Интенсивность и характер запаха, баллы      |
|-------|------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1     | Березовый уголь                          | 3,8 (неприятный фекальный, но менее кислый) |
| 2     | Глауконит                                | 3,6 (запах неприятный фекальный, кислый)    |
| 3     | Цеолит                                   | 5,0 (запах неприятный фекальный, кислый)    |
| 4     | Перлит                                   | 5,0 (запах неприятный фекальный, кислый)    |
| 5     | Силикагель                               | 4,8 (запах неприятный фекальный, кислый)    |
| 6     | Гашеная известь                          | 1,5 (фекальный)                             |
| 7     | Доломитовая мука                         | 4,2 (фекальный)                             |
| 8     | Известняковая мука                       | 4,0 (фекальный)                             |
| 9     | Карбонат калия                           | 4,0 (фекальный)                             |
| 10    | Гумат калия                              | 4,6 (фекальный, кислый)                     |
| 11    | Хлорид железа(III)                       | 5,0 (фекальный, кислый)                     |
| 12    | Верховой и низинный торф                 | 4,7 (фекальный, кислый, землистый)          |
| 13    | Фосфоритная мука                         | 4,2 (неприятный фекальный, но менее кислый) |
| 14    | Суперфосфат                              | 4,5 (неприятный фекальный, но менее кислый) |
| 15    | Гашеная известь + глауконит              | 0,8 (фекальный)                             |

В результате выполненных экспериментов было установлено, что ни один из дезодорирующих материалов не позволил полностью устранить запах КП. Наилучший результат был достигнут при обработке КП гашеной известью (реагент) и глауконитом (сорбент), однако данный метод приводит к интенсивной эмиссии  $\text{NH}_3$  во время смешивания и высушивания реагентов. Дезодорирующее действие  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  обусловлено способностью соответствующего соединения переводить летучие жирные кислоты и  $\text{H}_2\text{S}$  в нелетучие кальциевые соли, что снижает интенсивность и изменяет характер запаха. Дезодорирующий эффект глауконита обусловлен выраженными сорбционными свойствами данного минерала [12]. Для предотвращения загрязнения ОС аммиаком необходимо использовать специальное оборудование, например, кислотные скрубберы, позволяющие связывать  $\text{NH}_3$  в нелетучие формы – соли аммония.

**Выводы.** Применение экологически безопасных реагентов и сорбентов в экономически обоснованных нормах не позволяет полностью устранить неприятный запах КП.

Наилучший результат (снижение неприятного запаха на 80–85%) достигается при обработке КП гашеной известью и глауконитом с последующим высушиванием. Прием высушивания позволяет не только устранить запах, но и обеспечивает обеззараживание КП.

Обработка КП такими реагентами, как гашеная известь, известняковая и доломитовая мука, поташ (карбонат калия) приводит к интенсивной эмиссии аммиака, что необходимо учитывать при использовании соответствующих соединений для контроля запаха.

### Библиографический список

1. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Основные подходы к снижению запахового загрязнения окружающей среды предприятиями животноводства (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2024-3-006-019 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. С. 6–19.
2. Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние подкисления на эмиссию сероводорода в органических отходах свинокомплексов. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-4-102-106 // Проблемы региональной экологии. 2021. № 4. С. 102–106.
3. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Колеватых Е. П. Регулирование эмиссии запахообразующих веществ из навозных стоков // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров, 30 ноября 2022 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 215–217.
4. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых и др. DOI: 10.35885/1684-7318-2023-1-107-116 // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 107–116.
5. Phosphate, magnesium containing additives and biochar regulate compost maturity and synergistically reduce odor emission in chicken manure composting: Role of physicochemical, bacterial and fungal dynamics / Y. Liu, R. Ma, R. Tang, et al. // Journal of Environmental Management. 2024. Vol. 371. P. 123205.
6. Biochar reduces volatile organic compounds generated during chicken manure composting / M. A. Sánchez-Monedero, M. Sánchez-García, J. A. Alburquerque, et al. // Bioresource technology. 2019. Vol. 288. Article No. 121584.
7. Сырчина Н. В., Полушина И. С. Органоминеральные и биоорганоминеральные удобрения на основе куриного помета // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 04–06 декабря 2017 г.) : в 2 кн. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2017. С. 144–147.
8. Полушина И. С., Фадеева А. С., Сырчина Н. В. Производство органоминеральных удобрений на основе куриного помета // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 13–14 апреля 2017 г.) : в 2 кн. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2017. С. 230–234.
9. Пат. 2 645 901. РФ, МПК C05F 3/00 (2006.01). Способ утилизации и обеззараживания куриного помета : № 2017114614 : заявл. 27.04.2017 : опубл. 28.02.2018 / Фильченков О. А., Слюсаренко В. В., Русинов А. В., Саксеев Р. В., Скосырев К. В. 9 с.
10. Пат. 2 731 291. РФ, СПК C05F 3/00 (2020.02). Способ получения удобрения из куриного помета : № 2019117588 : заявл. 06.06.2019 : опубл. 01.09.2020 / Хайруллин Р. М. 6 с.
11. Саудабаева Я. С., Студенок Г. А. Переработка отходов птицеводства с получением органического удобрения – экологические, технологические и правовые аспекты // Организационно-правовые основы экономической безопасности субъектов хозяйствования в условиях новых вызовов внешней среды: проблемы и пути их решения : материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, 11 апреля 2023 г.). Екатеринбург, 2023. С. 256–262.
12. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Влияние хвостов обогащения фосфоритов, используемых в качестве удобрения, на почвенные альгоцианобактериальные сообщества. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-174-180 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 174–180.

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РОДНИКОВ г. КИРОВА ЗА ПЕРИОД С 2010 по 2024 гг.

**В. В. Рутман<sup>1</sup>, М. А. Трапицын<sup>2</sup>, С. Г. Скугорева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,

<sup>2</sup> Лицей информационных технологий № 28 города Кирова, г. Киров, Россия,

<sup>3</sup> ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия, skugoreva@mail.ru

По результатам химического анализа проведен анализ состояния родников г. Кирова за период с 2010 по 2024 гг. По содержанию в воде ионов магния, нитрат-ионов и по значению жесткости в родниках отмечали превышение нормативов. Вода из родников г. Кирова является недостаточно чистой для использования для питьевых и бытовых целей и требует очистки.

Ключевые слова: родники, нитрат-ионы, жесткость воды.

Раньше в г. Кирове было много процветающих родников, они широко использовались населением. Со временем родники в черте города стали загрязняться. Люди перестали пользоваться родниками, стали меньше их охранять и следить за территорией вокруг, чаще покупать бутилированную воду. Однако и в настоящее время есть родники, водой из которых люди активно пользуются, например, святой источник у Трифонова монастыря.

Цель работы: оценить состояние родников г. Кирова за период с 2010 по 2024 гг.

Для проведения химического анализа в пластиковые емкости (бутыли) в 2010 [1], 2011 [2], 2016 [3], 2017 [4], 2019 [5] и 2024 гг. отбирали пробы воды из 3-х родников на территории г. Кирова: у Диорамы, у Трифонова монастыря, в Овраге Засора.

Концентрацию неорганических ионов в воде определяли методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер», погрешность определения составила 10–15% [6, 7]. Водородный показатель измеряли на рН-метре-иономере «Эксперт-001», погрешность определения – 0,1. Полученные в ходе работы данные сравнивали с нормативами для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [8].

По значению водородного показателя родниковую воду можно отнести слабощелочной (рис. 1). Водородный показатель был в пределах показателей норматива.



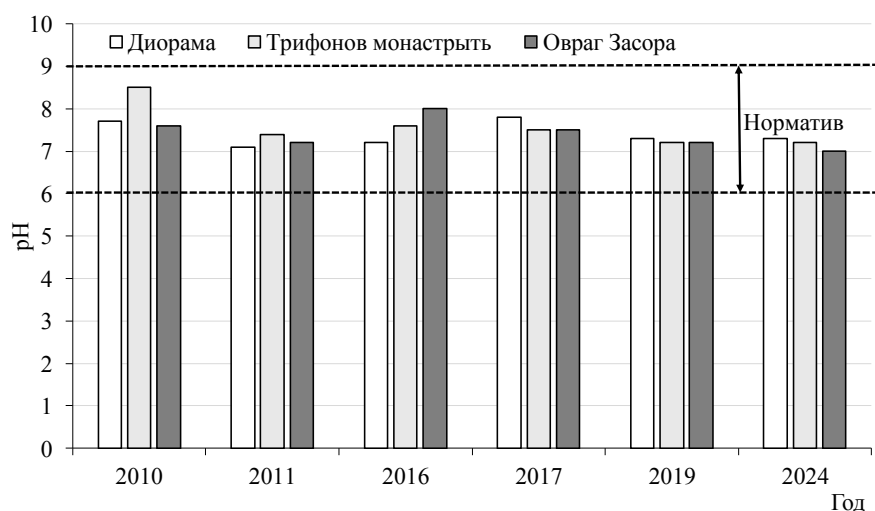


Рис. 1. pH воды из родников

По содержанию ионов натрия и калия в воде из родников не установлено превышений их предельно-допустимой концентрации (ПДК) (рис. 2). Концентрация ионов магния в воде в ряде случаев превышала ПДК, ее повышенные значения установлены для всех родников в 2024 г. Это может быть связано с климатическим фактором (числом осадков), что требует дальнейшего исследования. Содержание ионов кальция в воде было достаточно стабильным за весь период исследования.

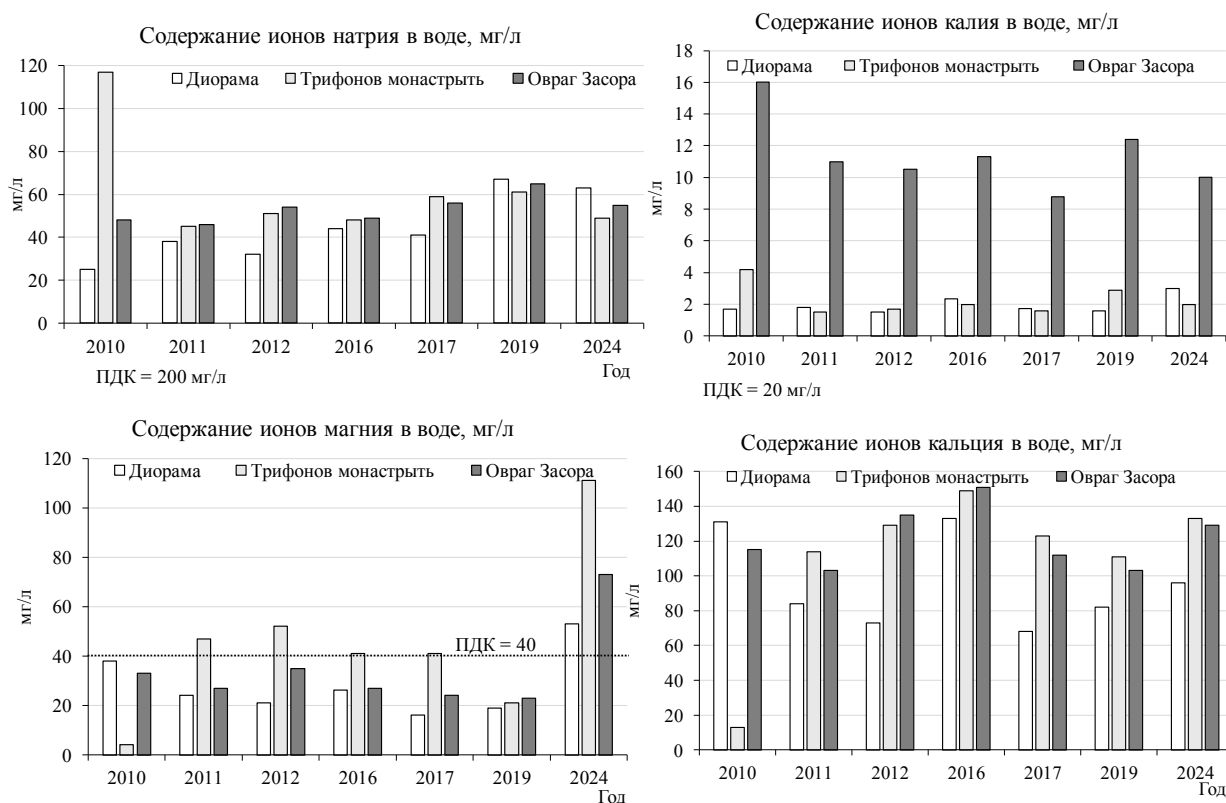


Рис. 2. Содержание катионов в воде из родников

В ходе работы рассчитывали общую жесткость родниковой воды. В большинстве случаев жесткость родниковой воды была выше значения норматива (рис. 3).

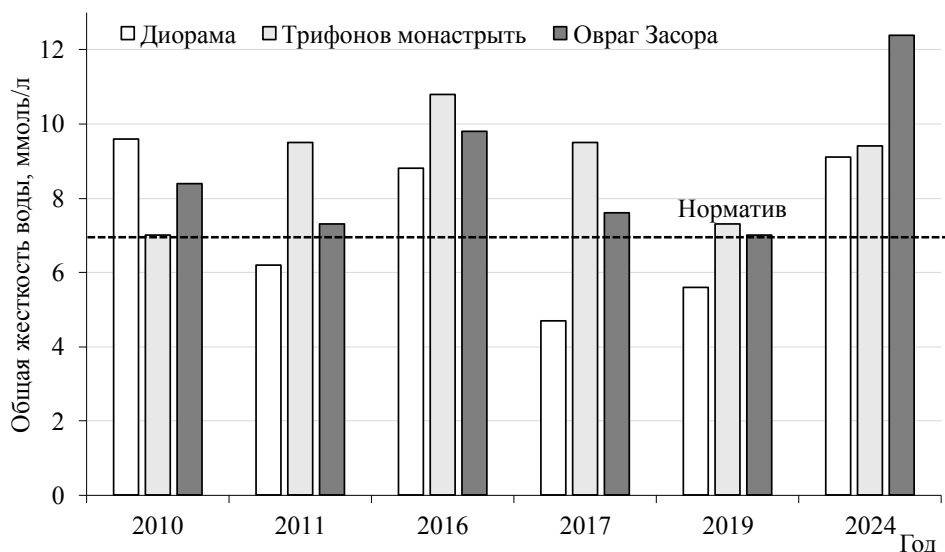


Рис. 3. Общая жесткость воды из родников, ммоль/л

Постоянное употребление воды с повышенной жесткостью приводит к накоплению солей в организме, и, в конечном счёте, к заболеваниям суставов (артриты, полиартриты) [9]. Для устранения повышенной жесткости воды можно рекомендовать фильтрование воды, например, через бытовой фильтр, а также кипячение воды.

Концентрация хлорид- и сульфат-ионов в воде из родников не превышала ПДК (рис. 4).

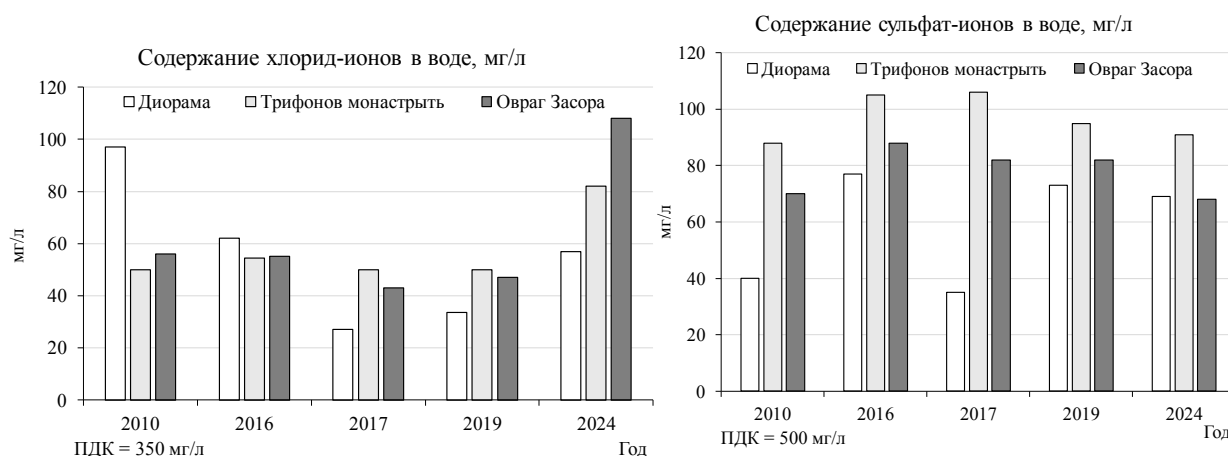


Рис. 4. Концентрация хлорид- и сульфат-ионов в воде из родников

Концентрация нитрат-ионов в воде из родников в большинстве случаев была выше ПДК (рис. 5). Высокие концентрации нитрат-ионов в родниковой воде могут быть связаны с загрязнением подземных вод. Употребление воды с высоким содержанием нитратов приводит к аллергии, нарушениям обмена

веществ, к заболеваниям нервной системы, опорно-двигательного аппарата, снижению продолжительности жизни человека.

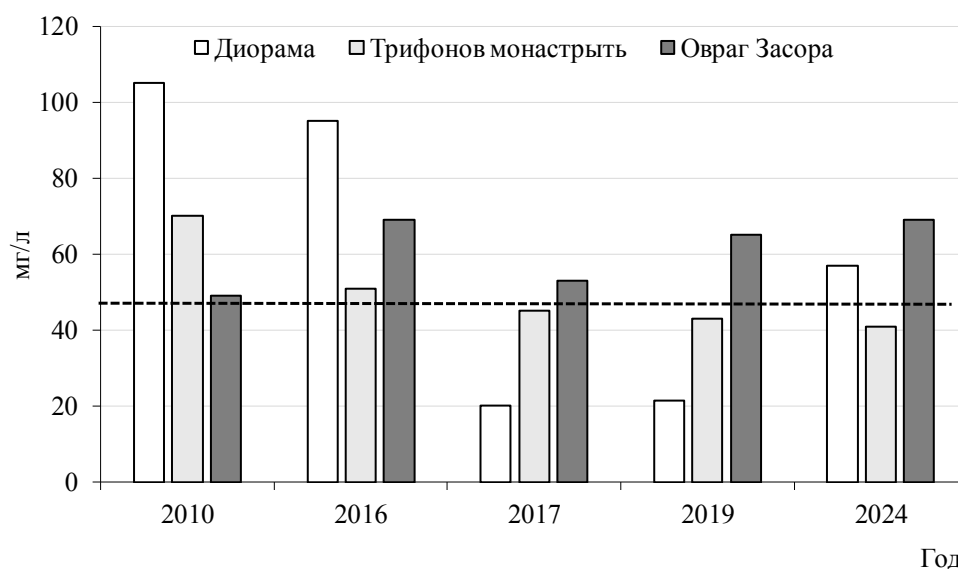


Рис. 5. Концентрация нитрат-ионов в воде из родников

Таким образом, в период с 2010 по 2024 гг. содержание в воде из родников г. Кирова ионов натрия, калия, хлорид- и сульфат-ионов не превышало ПДК. Водородный показатель воды был также в пределах норматива. По содержанию в воде ионов магния, нитрат-ионов и по значению жесткости в разные годы в различных родниках отмечали превышение нормативов качества воды. Вода из родников г. Кирова является недостаточно чистой для использования для питьевых и бытовых целей, она требует очистки (например, фильтрование через бытовой фильтр, кипячение и др.).

#### Библиографический список

1. Крюкова А. А., Скугорева С. Г. Оценка ионного состава воды из родников г. Кирова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодежи. Киров : Лобань, 2010. С. 248–250.
2. Крюкова А. А., Скугорева С. Г. Динамика ионного состава родниковой воды в г. Кирове // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Всерос. молодежной науч.-практ. конф. Киров : ООО «Лобань», 2011. С. 252–254.
3. Химический состав и содержание микроорганизмов в воде из родников г. Кирова / С. Г. Скугорева, И. А. Домрачев, Л. И. Домрачева, А. И. Фокина // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIV Всерос. науч. практ. конф. с междунар. участием. Кн. 2. Киров : ООО Изд-во «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 310–315.
4. Скугорева С. Г., Домрачев И. А., Домрачева Л. И. Осенне-зимняя динамика ионного состава и содержания микроорганизмов в воде из родников г. Кирова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : ВятГУ, 2017. С. 104–108.
5. Тизян Е. М., Скугорева С. Г. Анализ ионного состава воды из родников г. Кирова // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2020. С. 27–31.

6. ФР.1.31.2008.01724. Методика выполнения измерений массовой концентрации фторид-, хлорид-, нитрат-, фосфат- и сульфат-ионов в пробах питьевой, минеральной, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии. М. : НПКФ Аквилон, 2008. 16 с.

7. ФР.1.31.2008.01738. Методика выполнения измерений массовой концентрации катионов аммония, калия, натрия, магния, кальция и стронция в пробах питьевой, минеральной, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии. М. : НПКФ Аквилон, 2008. 16 с.

8. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения: 18.04.2025).

9. Изучение химического состава и содержания микроорганизмов в родниковой воде / С. Г. Скугорева, Л. И. Домрачева, А. И. Фокина, И. А. Домрачев. DOI: 10.18334/watchemec.11.10-12.23-29 // Вода: химия и экология. 2018. № 10–12. С. 23–29.

## **ПЕРЕДОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ЖИВОТНОВОДСТВА**

***Л. В. Пилип<sup>1</sup>, П. А. Пилип<sup>2</sup>, Т. Я. Ашихмина<sup>3,4</sup>***

*<sup>1</sup> Вятский государственный агротехнологический университет,  
г. Киров, Россия, pilip\_larisa@mail.ru,*

*<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия, super-pasha-pilip@yandex.ru,*

*<sup>3</sup> Вятский государственный университет,  
г. Киров, Россия, usr08619@vyatsu.ru,*

*<sup>4</sup> ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия*

Образование большого количества побочных продуктов животноводства, к которым относятся навозные стоки крупных животноводческих комплексов, представляет серьезную экологическую проблему. При нарушении технологии их переработки они превращаются в отходы. Внедрение в технологический процесс переработки навозных стоков альтернативных направлений, позволяющих ускорить процесс его переработки, является экологически обоснованным при условии эпидемиологической и эпизоотической безопасности для животных, однако подлежит всестороннему изучению.

Ключевые слова: восстановленная подстилка, рециклинг, молочное скотоводство, биореакторная установка, запах.

Увеличение поголовья молочного дойного стада в РФ влечет за собой образование большого количества побочных продуктов животноводства, к которым относятся навоз животных и/или навозные стоки (НС). При нарушении технологии переработки последних их рассматривают как отходы 3 и

4 класса опасности. Внедрение в технологический процесс переработки НС альтернативных путей, позволяющих ускорить процесс его переработки, является экологически обоснованным [1, 2].

В последнее время у производителей молочной продукции возрастает интерес к новейшим технологиям повторного использования подстилочного материала. Технология Bedding Recovery Unit (BRU, биореакторная установка) позволяет получить из навоза крупного рогатого скота подстилочный материал органического происхождения. Данная технология является интересной, прежде всего в плане эпидемиологической и эпизоотической безопасности животноводческих предприятий [3–5]. Кроме того, она позволяет решить такие экологические проблемы как запаховое загрязнение окружающей среды, источником которого являются НС сельскохозяйственных животных при традиционно используемом методе длительного выдерживания стоков в лагунах [6–9], а также снизить биологическое загрязнение пахотных земель отходами животноводства [10].

Первые биореакторные установки появились в 2005 г. и на сегодняшний день успешно функционируют в передовых странах мира, таких как РФ, США, Великобритания, Белоруссия, Китай. Представленная технология реализуется в одном из передовых животноводческих хозяйств Кировской области.

Одним из ведущих факторов, обуславливающих высокую продуктивность животных, являются санитарно-гигиенические требования, в том числе к кормлению, поению, освещенности, системам вентиляции, удалению и обеззараживанию навоза, а также к подстилочному материалу. В качестве подстилочного материала используют как традиционные натуральные материалы: солома, торф, древесные опилки, стружки, так и нетрадиционные: вермикулит, цеолит, кремнезем, диатомитовая земля. Кроме того, популярными синтетическими материалами на сегодняшний день являются маты из резины, полиуретана и латекса. Следует отметить, что любой материал должен быть безопасен для кожных покровов животных, способствовать снижению травматизма и уменьшению затрат на уход за животными [3, 11, 12].

Объектом данного исследования являлась подстилка восстановленная (ВП), полученная путем обработки навоза коров молочной фермы в биореакторной установке передового хозяйства Кировской области. В лабораторных условиях проведено исследование физико-химических и микробиологических свойств ВП.

Технологический процесс получения ВП на предприятии состоит из 2 этапов. На первом этапе происходит сепарация на жидкую и твердую фракцию с помощью шнекового сепаратора. Второй этап включает ускоренную переработку твердой фракции НС во вращающихся барабанах компостирования в условиях аэрации, при этом температура внутри барабанов достигает порядка 70 °С. Жидкая фракция НС откачивается и хранится в лагунах на протяжении 6 месяцев, а затем вносятся в поля. Полученная ВП используется повторно в качестве подстилочного материала для коров. Установка работает автономно, под контролем 1 диспетчера.

Время нахождения образцов восстановленной подстилки в биореакторной установке – 24 ч, температура обработки –  $68 \pm 4$  °C (рис.). По физическим характеристикам восстановленная подстилка являлась однородной по консистенции, имела приятный земляной запах, серо-зеленый цвет, хорошо впитывала воду, pH готового продукта  $7,4 \pm 0,2$ , влажность  $69,2 \pm 0,2\%$ . Все перечисленные характеристики позволяли использовать ее повторно в качестве подстилочного материала.

При микробиологическом исследовании образцов ВП зарегистрировано существенное сокращение общего количества микробиоты, так в ВП этот показатель оказался в 140 раз ниже, чем в нативном навозе до обработки. Значительно сократилось и видовое разнообразие микроорганизмов ВП: доминирующее положение занимали факультативные анаэробы (85,24%), представленные *Capnocytophaga ochracea*, *Bacillus mycoides*, *Bacillus megaterium*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli*, *Candida tropicalis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Proteus* ssp. (представлены по мере уменьшения). Obligатные анаэробы *Bacteroides* sp., *Actinomyces* ssp. и *Clostridium* ssp. составляли 14,64% микробиома ВП, а факультативным аэробы *Pseudomonas* ssp. и *Rhodotorula glutinis* лишь 0,12%. Основу микробиоты ВП составляли факультативные и облигатные анаэробы, обитающие преимущественно в ротовой полости и желудочно-кишечном тракте млекопитающих.

Среди неоспоримых достоинств данной технологии можно назвать отсутствие затрат на покупку подстилочного материала, гигиеническую безопасность и экологичность полученного продукта. Однако, высокая стоимость иностранного оборудования и проблемы логистики при заказе запасных частей для него сдерживают массовое внедрение описанной технологии в реальное производство. Необходимы отечественные эффективные технологии и их массовое внедрение в аграрную промышленность. Кроме того, отсутствует нормативная база к получаемой по указанной технологии подстилке. Тем не менее, производство восстановленной подстилки из навоза крупного рогатого скота является перспективным направлением переработки побочных продуктов животноводства и подлежит дальнейшему всестороннему изучению.

### Библиографический список

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (ИТС 41-2017 – Интенсивное разведение свиней) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/556173711> (дата обращения: 03 марта 2025 г.).
2. Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Отходы свиноводческих комплексов – проблемы, пути решения // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2017. С. 180–183.
3. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Колеватых Е. П. Оценка безопасности восстановленной подстилки, полученной на фильтрационно-сушильной установке. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.1.45.51 // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 1 (33). С. 45–51.

4. Effects of using an alternative bedding composition on the levels of indicator microorganisms and mammary health in dairy farm conditions / F. Zigo, N. A. Sasáková, G. Gregová, et al. // Agriculture. 2020. Vol. 10. No. 6. P. 245.
5. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых и др. DOI 10.35885/1684-7318-2023-1-107-116 // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 107–116.
6. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Роль аммонификаторов в эмиссии аммиака из свиных навозных стоков. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-46-54 // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 46–54.
7. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Новые подходы к дезодорации свиного навоза // Иппология и ветеринария. 2018. № 4 (30). С. 99–106.
8. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Основные подходы к снижению запахового загрязнения окружающей среды предприятиями животноводства (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2024-3-006-019 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. С. 6–19.
9. Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха / Е. П. Колеватых, Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-159-165 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 159–165.
10. Биологическое загрязнение пахотных земель отходами свиноводства / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-199-205 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 199–205.
11. A review: Effect of bedding material on production, reproduction and health and behavior of dairy animals / A. K. Singh, T. Kumari, M. S. Rajput, et al. // Int. J. Livest. Res. 2020. Vol. 10. No. 7. P. 11–20.
12. Environmental sustainability analysis of dairy bedding regeneration system based on emergy evaluation and life cycle assessment methods / X. Sun, Y. Liu, Y. Li, et al. DOI: 10.1007/s11356-022-23525-4 // Environ. Sci. Pollut. Res. 2023. Vol. 30. P. 9048–9059.

## **О ВОДОПОТРЕБЛЕНИИ МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ БЕЛАРУСИ**

***А. Ф. Карпенко***

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,  
г. Гомель, Республика Беларусь, kaf51@list.ru*

В статье рассматривается водопотребление молокоперерабатывающими предприятиями Беларуси. Для выполнения требований Национальной стратегии управления водными ресурсами до 2030 года молокоперерабатывающей промышленности Беларуси необходимо искать пути оптимизации водопотребления и водоотведения, снижающие удельное водопользование на единицу производимой продукции либо перерабатывающего сырья, а также увеличение объёмов расхода воды в системах оборотного и повторного водоснабжения, прекращение отведения неочищенных сточных вод в водные объекты.

Ключевые слова: водопотребление, молочная промышленность, нормирование, контроль.

Жизнедеятельность человека во многом обусловлена качеством окружающей среды. В Беларуси водные ресурсы являются национальным достоянием, обеспеченность ими – ключевой показатель устойчивого развития республики в социальном, экономическом и экологическом направлениях. Среди Целей устойчивого развития, изложенных в резолюции Генеральной Ассамблеи ООН от 25 сентября 2015 г. № 70/1 «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», является обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех.

Территория Республики Беларусь служит водоразделом бассейнов Балтийского и Черного морей. Около 55% речного стока приходится на реки бассейна Черного моря и 45% – Балтийского. Показатель обеспеченности водными ресурсами в стране (по среднемноголетнему общему годовому речному стоку) составляет 6,2 тыс. м<sup>3</sup> воды в год на 1 душу населения и находится на уровне среднеевропейских показателей, что существенно выше, чем в таких сопредельных странах как Республика Польша и Украина.

На территории Беларуси насчитывается более 20 тыс. водотоков общей протяженностью свыше 90,6 тыс. км и более 10 тыс. озер, в которых сосредоточено около 9 км<sup>3</sup> воды. Среди 6 областей республики наиболее обеспечены водными ресурсами Витебская и Гродненская области, наименее – Гомельская и Брестская. Тем не менее, например, Гомельская область отличается высоким уровнем обеспеченности запасами пресной воды. Она располагает 54% от всего речного стока страны, по территории области протекает более 400 рек и ручьев, имеется более 250 прудов, озёр и водохранилищ [1, 2].

В последние десятилетия быстро и активно проявляющиеся климатические сдвиги вызывают значительные негативные изменения в окружающей среде в виде частоты и интенсивности наводнений и засух, сокращения водных ресурсов, ухудшения экологического состояния водных экосистем, особенно экосистем малых рек.

Для Беларуси характерно высокое развитие промышленности. Интенсивно развивается агропромышленный потенциал. В агропромышленном производстве основополагающей является молочная промышленность, обеспечивающая население множеством пищевых продуктов (молоко, сухое молоко, масло, сыр и др.). Однако при их изготовлении образуются достаточно большие объёмы твердых и жидких отходов. В этой связи, переработка молока является одним из главных источников концентрированных и сложных по составу сточных вод, обусловленных высоким показателем водопотребления предприятий, высокой биологической и химической потребностью сточных вод в кислороде, большим содержанием белков, жиров, лактозы, а также детергентов и дезинфицирующих средств. Без правильно организованной



очистки такие воды могут вызывать серьезные экологические проблемы при поступлении в окружающую среду [3].

Цель работы – рассмотреть водопотребление молокоперерабатывающей промышленностью республики.

В Беларуси молочное производство является не только базовой основой продовольственной безопасности, но оно также занимает одно из ведущих мест в пищевой промышленности. В республике в 2023 г. было получено 8,33 млн т молока, что на 5,9% превысило показатель 2022 года. Достигнуть этого удалось благодаря увеличению продуктивности коров на 327 кг, которая за год составила 5803 кг. Производство молока в расчете на душу населения за период с 2000 по 2023 гг. увеличилось с 450 до 908 кг[4].

Молочно-промышленный сектор пищевой промышленности включает предприятия по выработке молочных продуктов: животного масла, сыров, консервированных и замороженных изделий, сухих смесей и др. Этот сектор выполняет важнейшую роль в экономике страны, обеспечивает ежегодный прирост производства молочной продукции, как на внутренний рынок, так и активно осваивает экспортные направления.

Ассортимент продукции молочного сектора превышает 1500 наименований молочных товаров высочайшего качества. В условиях усиливающейся конкуренции предпочтения потребителей обеспечиваются непрерывным обновлением ассортимента.

В последнее десятилетие в республике молочная промышленность бурно развивается, что подтверждается стабильной динамикой увеличения производственных мощностей, а также увеличением объёмов переработки молока.

При этом необходимо подчеркнуть, что увеличение объёмов переработки молока влияет, прежде всего, на объёмы использования воды на производственные нужды и объёмы сброса сточных вод. Известно, что в молочной промышленности среднегодовой расход воды на переработку 1 т молока составляет около 15,0 м<sup>3</sup> и образуется около 14,8 м<sup>3</sup> сточных вод. Простой расчёт показывает, что для переработки 8,33 млн т молока молочными предприятиями республики использует около 120 млн м<sup>3</sup> воды, что составляет примерно 10% от объема изымаемой из поверхностных водоёмов и добываемой из подземных источников [2]. К этому следует добавить, что объёмы производства молока предусматривается увеличивать до 9–10 млн т. В этой связи анализ водопользования на предприятиях молочной промышленности в нынешних условиях особенно актуален, так как позволяет искать пути оптимизации водопотребления и водоотведения, снижающие удельное водопользование на единицу производимой продукции либо перерабатывающего сырья. В настоящее время в молочной промышленности проводится работа по строительству и реконструкции канализационно-очистных сооружений. На многих предприятиях сети очистных сооружений представляют собой примитивные локальные устройства, рассчитанные лишь на механическую очистку. Примерно только на каждом пятом молочном заводе очистные сооружения работают удовлетворительно, а на 20% предприятий они или не работают, или не

соответствуют санитарно-техническим требованиям [5]. Например, сырзавод, перерабатывающий в день около 50 т молока и спускающий всю сыворотку в канализацию, равнозначен хозяйственно-бытовому стоку города с населением 50 тыс. человек.

Не имея эффективных очистных сетей, предприятия вынуждены допускать периодический сброс вод, сильно загрязненных органическими веществами, а также слив в канализацию сыворотки, которая не только ухудшает работу очистных устройств, но и пагубно влияет на все живое при попадании в водоёмы.

В данной ситуации, учитывая актуальность проблемы очистки сточных вод и нереальность быстрого строительства очистных сооружений, необходим самый жёсткий контроль за соблюдением экологических требований спуска сточных вод и содержания в них вредных веществ.

Национальной стратегией управления водными ресурсами до 2030 года в области охраны окружающей среды Республики Беларусь предусмотрены такие показатели как: увеличение в промышленности объёмов расхода воды в системах оборотного и повторного водоснабжения до 95%; прекращение отведения неочищенных сточных вод в водные объекты; сокращение сброса в водные объекты тяжёлых металлов и стойких загрязнителей на 95%, азота и фосфора на 50% [6].

В настоящее время в Беларуси действует Инструкция по нормированию водопотребления и водоотведения в молочной промышленности, утверждённая заместителем Министра сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [5]. В ней даны основные методические положения и рекомендации по разработке нормативов водопотребления и водоотведения, методика определения расходов воды на производственные нужды, на санитарную обработку, на нужды вспомогательного производства, на хозяйственно-бытовые нужды, а также методика определения безвозвратного потребления и потерь воды.

Для выполнения рекомендаций и в соответствии с данной Инструкцией на предприятиях молочной промышленности систематический контроль за расходом воды, количеством и состоянием сточных вод возлагается на технологов и специалистов производственных лабораторий.

Действующие в настоящее время в республике стратегические документы в области использования и охраны водных ресурсов требуют от предприятий молочной промышленности дополнительные обязательства в части экологизации производства. Поэтому вопросы оптимизации водопользования на предприятиях молочной промышленности в нынешних условиях особенно актуальны.

Таким образом, необходимость принятия мер, направленных на адаптацию водных ресурсов к изменению климата, напрямую затрагивает Беларусь. Это обусловлено тем, что в южных её областях уже на протяжении многих лет наблюдается снижение речного стока практически во все сезоны года. Снижения речного стока стало негативным образом сказываться на отраслях

экономики, связанных с использованием водных ресурсов, среди которых находится молокоперерабатывающая промышленность. Поэтому для снижения расхода воды, выполнения экологических требований в области охраны окружающей среды необходимы строгое нормирование и контроль водопользования со стороны предприятий молочной промышленности. В соответствии с Национальной стратегией управления водными ресурсами, контроль потребления воды должен обеспечиваться на всём пути переработки молока, начиная с каждого индивидуального технологического процесса, с учетом объема сырья, количества и ассортимента выпускаемой продукции, объема водопотребления и водоотведения, качества сточных вод.

#### **Библиографический список**

1. Синило Л. М. Состояние окружающей среды Гомельской области, приоритетные задачи и направления природоохранной деятельности // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды : сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф. Гомель : БелГУТ, 2014. С. 3–10.
2. Водный кадастр Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – URL: <https://minpriroda.gov.by> (дата обращения: 14.02.2025).
3. Васильев Л. Г., Абрамова-Оболенская Н. И., Павлов В. А. Гигиеническое и противозаразное обеспечение производства молока и молочных продуктов. М., 1990. 60 с.
4. Статистический ежегодник : Республика Беларусь. 2024. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 14.02.2024).
5. Инструкция по нормированию водопотребления и водоотведения в молочной промышленности : утв. первым заместителем Министра сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь 19.12.2007. Минск : РУП «Институт мясо-молочной промышленности», 2007. 57 с.
6. Национальная стратегия управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года : утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 91 от 22.02.2022 [Электронный ресурс]. – URL: [https://minpriroda.gov.by/ru/new\\_url\\_1649710582-ru/](https://minpriroda.gov.by/ru/new_url_1649710582-ru/) (дата обращения: 14.02.2025).

### **ОРГАНИЗАЦИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЙОШКАР-ОЛЫ**

***Т. Н. Ефимова, Т. Е. Шведова***

*Поволжский государственный технологический университет,  
г. Йошкар-Ола, Россия,*

*EfimovaTN@volgatech.net, ShvedovaTE@volgatech.net*

В статье рассматривается проблематика организации и функционирования городских особо охраняемых природных территорий на примере города Йошкар-Олы. Исследование позволит раскрыть особенности управления такими территориями, выявить проблемы и пути их решения, а также проанализировать влияние антропогенной деятельности на экосистемы.

Ключевые слова: городская особо охраняемая природная территория, рекреация, благоустройство, антропогенное воздействие.

В современном мире проблема сохранения природного наследия становится все более важной и актуальной. Одним из механизмов защиты уникальных экосистем являются особо охраняемые природные территории.

Особо охраняемая природная территория (ООПТ) – участок земли, водной поверхности и воздушного пространства над ней, где располагаются природные комплексы и объекты, объекты растительного и животного мира, естественные экологические системы, которые имеют особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны [1].

Городские ООПТ играют ключевую роль в сохранении биоразнообразия и экосистем непосредственно в пределах городских агломераций, а также в создании благоприятных условий для жизнедеятельности и отдыха горожан. Город Йошкар-Ола, будучи одним из культурных и экономических центров Республики Марий Эл, не является исключением.

Целью данной работы является изучение принципов организации и функционирования городских ООПТ на примере г. Йошкар-Олы. Объектами исследования являются ООПТ «Соснова роща», «Дубовая роща», «Нагорный».

В условиях антропогенной трансформации природной среды становятся необходимыми постоянные усилия по сохранению ландшафтного и биологического разнообразия, природных территорий, поддержанию экологического баланса. Создание ООПТ в городах является эффективным способом сохранения естественных, уцелевших, уникальных территориальных экосистем, являющихся важными с экологической стороны и представляющих особую ценность для жителей города в природоохранном, научном, культурном, познавательном и рекреационном отношениях. Городские парки и леса стабилизируют экологическую обстановку в густонаселенных районах, а также выполняют защитную функцию [2].

Однако, с другой стороны, городские ООПТ имеют некоторые проблемы. К числу таких проблем относится повышенная, а временами даже чрезмерная, рекреационная нагрузка, которая может привести к деградации природных компонентов. Близкое расположение к жилым районам, автодорогам, промышленным объектам нарушает целостность ООПТ, а шумовое воздействие оказывает влияние на растительный и животный мир. Происходит загрязнение атмосферного воздуха (загазованность и запыление), захламление строительным и бытовым мусором, вытаптывание почвенно-растительного покрова, внедрение синантропных видов растений (растения, образ жизни которых связан с человеком), проезд и стоянка автотранспорта вне дорог общего пользования [2].

В настоящее время на территории городского округа «Город Йошкар-Ола» расположены три ООПТ местного значения (городские): ООПТ «Сосновая роща», ООПТ «Дубовая роща», а также ООПТ «Нагорный».

ООПТ «Сосновая роща» является самой большой по площади – 342,32 га и представляет собой уникальный объект – уголок природы в центре города, где жители и гости города могут в любое время прогуляться, заняться спортом или просто спокойно отдохнуть в тишине.

В ООПТ «Сосновая роща» значительная часть территории занята березовыми, сосновыми, липовыми и осиновыми насаждениями. Также здесь произрастают еловые насаждения с примесью пихты. В пойме реки Малой Кокшаги произрастают березняки, ольшаники и дубняки [3].

При осуществлении рекреационной деятельности в ООПТ «Сосновая роща» не допускается повреждение лесных насаждений, растительного покрова и почв, захламливание лесной территории и прилегающих территорий бытовым мусором, иными видами отходов, проезд транспортных средств и иных механизмов по произвольным, не установленным маршрутам.

ООПТ «Дубовая роща» занимает площадь 135,9 га и расположена в северной части города Йошкар-Олы. Здесь, в основном, произрастают еловые, иногда с примесью пихты насаждения. Значительная часть территории занята сосновыми, липовыми, березовыми, осиновыми насаждениями и насаждениями дуба.

ООПТ «Нагорный» расположена в восточной части города, площадь составляет 51,9 га. Здесь преобладают липовые и березовые насаждения, а также насаждения сосны, осины и дуба [3].

ООПТ «Сосновая роща», «Дубовая роща» и «Нагорный» используются в рекреационных, эколого-просветительских, природоохранных, а также научных целях [4].

Для развития экологического сознания и культуры, популяризации здорового образа жизни, бережного обращения с окружающей средой и разъяснения правил поведения на природе администрацией городского округа «Город Йошкар-Ола» была организована разработка экологических троп на ООПТ «Сосновая роща» и ООПТ «Дубовая роща».

На протяжении маршрута экологической тропы ООПТ «Сосновая роща» запланировано 10 станций (остановок), где можно более подробно ознакомиться с теми или иными интересными биологическими объектами или биоценозами, представителями флоры и фауны, оценить экологическую ситуацию и антропогенное влияние на окружающую среду [3].

Для каждой из трех исследуемых ООПТ существует свое положение: Положение об особо охраняемой природной территории местного значения городского округа «Город Йошкар-Ола» – охраняемая зеленая зона «Сосновая роща» (утверждено 22.11.2017), Положение об особо охраняемой природной территории местного значения городского округа «Город Йошкар-Ола» – охраняемая зеленая зона «Дубовая роща» (утверждено 27.09.2017), Положение об особо охраняемой природной территории местного значения городско-

го округа «Город Йошкар-Ола» – охраняемая зеленая зона «Нагорный» (утверждено 27.09.2017).

Проанализировав нормативно-правовую базу всех трех ООПТ, можно сделать несколько выводов: основная цель создания ООПТ – сохранение уникальных природных комплексов; для всех территорий установлен аналогичный перечень запрещенных и разрешенных видов деятельности; нормативно-правовая база этих ООПТ включает решения Собрании депутатов.

Однако, существуют некоторые ограничения и недостатки в нормативно-правовой базе. К примеру, недостаточная юридическая защита охраняемых территорий, что может приводить к незаконным застройкам и другим видам нарушений. Кроме того, в нормативно-правовой базе не предусмотрены меры по мониторингу и контролю использования территорий, что может привести к нарушениям и деградации этих территорий. Также стоит отметить неэффективное управление: возможны проблемы с управлением и контролем за ООПТ, что может привести к недостаточной охране и недопустимому воздействию на природные объекты.

В целом, нормативно-правовая база ООПТ города Йошкар-Олы требует уточнения и совершенствования, чтобы обеспечить эффективную охрану и использование этих территорий.

Несмотря на то, что территории «Сосновой рощи», «Дубовой рощи» и «Нагорного» являются ООПТ, это не гарантирует чистоту на их местности. Во время пребывания на территории ООПТ были отмечены несколько неорганизованных свалок, которые негативно влияют на окружающую среду и в целом портят эстетическую составляющую данной территории.

Стоит отметить то, что на каждую из трех ООПТ разрешен вход в любое время суток. Круглосуточный вход на ООПТ может привести к неблагоприятным последствиям, а именно: замусориванию территории; умышленному беспокойству, отлову и уничтожению диких животных, разорению их нор и птичьих гнезд; повреждению и самовольным вырубкам деревьев и кустарников; разведению костров и сжиганию сухой травы и т. д.

На ООПТ «Нагорный» были обнаружены разбитые люминесцентные лампы, представляющие опасность для окружающей среды и здоровья людей. Данные лампы относятся к отходам первого класса опасности согласно, Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) поскольку содержат ртуть, которая при повреждении лампы может испаряться и вызвать тяжелое отравление. Неправильное обращение с такими лампами может привести к загрязнению почвы, растений, воздуха, водных объектов.

Также на территории ООПТ «Нагорный» встречается некоторое количество поврежденных или уже упавших деревьев. Поврежденные деревья могут рухнуть от сильного ветра, незначительного механического воздействия и просто под тяжестью собственного веса. В таком состоянии они становятся опасными для соседних растений и находящихся рядом людей.

Шумовое загрязнение – это раздражающий шум антропогенного происхождения, который нарушает жизнедеятельность живых организмов и чело-

века и превышает естественный уровень природного шумового фона. К источникам шума относятся: автотранспорт, строительная техника, работающие производства и различные механизмы.

Измерение уровня шума производилось в нескольких точках: у дороги, а также на расстоянии 20, 50 и 100 м от нее.

У дороги вдоль ООПТ «Сосновая роща» уровень шума оказался значительным – 88,5 Дб, это может привести к неблагоприятным последствиям для организма. Далее, на удалении от дороги, уровень шума снижался во многом благодаря экранам шумоизоляции и находится в пределах нормы.

У дороги ООПТ «Дубовая роща» уровень шума оказался значительным – 74,5 Дб, но ниже, чем у территории «Сосновой рощи». На территории ООПТ уровень шума незначительно превышает гигиеническую норму.

У дороги возле ООПТ «Нагорный» уровень шума превышает норму – 61,8 Дб, при удалении от дороги более чем на 20 м, уровень шума снижается, но все-таки превышает норму.

Наличие экранов шумоизоляции вдоль дороги у ООПТ «Сосновой рощи» позволил снизить уровень шума от автомобильного транспорта более чем на 30 дБ. На территории двух других ООПТ экраны шумоизоляции отсутствуют, поэтому на расстоянии 20 м от дороги уровень шума оставался на значительном уровне.

Систематизация воздействий на территорию ООПТ представлена в виде матрицы воздействий, которая показывает возможные направления изменения окружающей среды.

Несмотря на то, что анализ воздействий по матрице имеет ряд ограничений, он часто оказывается полезным в качестве первоначального руководства при планировании дальнейших исследований. Оценщик (аналитик, разработчик проекта, эксперт) вправе модифицировать матрицу в соответствии с конкретными задачами.

Интенсивность воздействия в матрице оценивается по шкале от 0 до 3 баллов: 0 баллов – нет воздействия, 1 балл – слабое воздействие, 2 балла – среднее воздействие, 3 балла – сильное воздействие (табл.).

*Таблица*

**Матрица воздействий**

| Название<br>ООПТ           | Воздействие         |                                         |                                       |                              |                    | Сумма<br>баллов |
|----------------------------|---------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------|
|                            | шумовая<br>нагрузка | загрязнение<br>водоемов<br>(визуальное) | вытаптывание<br>почвенного<br>покрова | замусоренность<br>территории | наличие<br>кострищ |                 |
| ООПТ<br>«Сосновая<br>роща» | 2                   | 2                                       | 2                                     | 3                            | 1                  | 10              |
| ООПТ<br>«Дубовая<br>роща»  | 3                   | 1                                       | 2                                     | 3                            | 3                  | 12              |
| ООПТ<br>«Нагорный»         | 3                   | 0                                       | 1                                     | 3                            | 3                  | 10              |

Проанализировав составленную матрицу, можно сделать вывод, что интенсивность антропогенного воздействия наиболее ярко прослеживается на ООПТ «Дубовая роща» (12 баллов). Далее следуют ООПТ «Нагорный» и ООПТ «Сосновая роща» (10 баллов).

Стоит отметить, что разведение костров на ООПТ запрещено, однако, обнаруженные кострища на всех территориях ООПТ, свидетельствуют о нарушениях данного запрета.

На ООПТ «Дубовая роща» количество кострищ было больше, в том числе на берегу реки Малая Кокшага, чем на других ООПТ. Это может указывать на большую рекреационную нагрузку.

Благоустройство городской среды на территории ООПТ местного значения необходимо для формирования благоприятных, культурных и здоровых условий жизни, труда и досуга граждан. Осуществляется оно в рамках комплекса действий, реализуемых органами муниципального управления: утверждение правил благоустройства территории; содержание территории и расположенных на ней объектов; перечень мероприятий по благоустройству территории, порядок и периодичность их проведения.

Перечень мероприятий, которые могут проводиться на территории ООПТ, включает следующее: озеленение – порядок создания, содержания, восстановления и охраны газонов, цветников и иных территорий, занятых травянистыми растениями; размещение малых архитектурных форм и объектов городского дизайна; освещение территорий, зданий, сооружений, зеленых насаждений; организация пешеходных коммуникаций (тротуаров, аллей, дорожек, тропинок); обустройство территории для обеспечения беспрепятственного передвижения инвалидов и других маломобильных групп населения; уборка территории, в том числе в зимний период.

У входа на ООПТ «Сосновая роща» расположены несколько беседок с мангалами, что является достаточно привлекательным местом для жителей города. На выходных, в хорошую погоду здесь собираются люди чтобы отдохнуть. Это неизбежно ведет к увеличению количества мусора на территории ООПТ «Сосновая роща», даже несмотря на то, что беседки оборудованы урнами.

На ООПТ «Сосновая роща» хорошо развита тропиночная сеть. По одной из таких тропинок можно за короткое время выйти прямо к месту для пикника.

В свою очередь, территория ООПТ «Нагорный» не является благоустроенной. На ее территории отсутствуют фонари, что может затруднять перемещение по местности в вечернее время; отсутствуют малые архитектурные формы в целом. Отдельно хотелось бы отметить отсутствие урн. Возможно, их наличие сократило бы количество мусора на территории.

Ввиду отсутствия должного уровня благоустройства на ООПТ «Дубовая роща» и ООПТ «Нагорный» целесообразно рассмотреть вариант снятия заповедного режима с этих территорий, выведение территорий из реестра.



Исходя из вышесказанного, можно сделать выводы:

- 1) нормативно-правовая база особо охраняемых природных территорий города Йошкар-Олы требует уточнения и совершенствования, чтобы обеспечить эффективную охрану и использование этих территорий;
- 2) наиболее обустроенной из трех ООПТ является «Сосновая роща»;
- 3) наблюдается низкий уровень экологического воспитания среди жителей города;
- 4) стоит уделить больше внимания благоустройству ООПТ «Дубовая роща» и ООПТ «Нагорный»;
- 5) в противном случае, целесообразно рассмотреть вариант снятия заповедного режима с этих территорий, выведение территорий из реестра.

#### **Библиографический список**

1. Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 № 33-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_6072/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6072/) (дата обращения: 30.05.2024).
2. Шатрова А. И. Особо охраняемые природные территории в крупнейших городах РФ // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 113–117.
3. Соловьева О. С. Особо охраняемые природные территории местного значения города Йошкар-Олы // Современное состояние окружающей среды в Республике Марий Эл и здоровье населения : материалы XI науч.-практ. конф. Йошкар-Ола : Национальная библиотека имени С. Г. Чавайна, 2023. С. 26–31.
4. Положение об особо охраняемой природной территории местного значения городского округа «Город Йошкар-Ола» – охраняемая зеленая зона «Нагорный» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/450356167> (дата обращения: 09.06.2024).

### **РЕГУЛИРУЕМОЕ РАЗВИТИЕ ВНУТРЕННЕГО ТУРИЗМА В ПРИОНЕЖЬЕ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ РЕГИОНА**

**А. Ю. Санин**

*Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова,  
Росгидромет, г. Москва, Россия, eather86@mail.ru*

В статье представлен взгляд автора на контролируемый туризм, в частности экологический, рассмотренный как способ смягчения некоторых проблем Прионежья, негативно влияющих на экологическую ситуацию в регионе, в частности, проблемы недостаточного финансирования функционирования особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и мер по воспроизводству популяций промысловых рыб. Безусловно, при стимулировании туристического использования региона, в частности, при обеспечении функционирования разрабатываемого национального туристического маршрута «Вокруг Онежского озера», необходимо ограничить негативное влияние туризма на природные ландшафты.

Ключевые слова: туризм, экологический туризм, ООПТ, биологические ресурсы, качество вод.

Для Онежского озера и рек его водосборного бассейна имеют место ряд достаточно острых экологических проблем. К ним можно отнести снижение численности популяций ряда биологических видов, в том числе и промысловых рыб, ухудшение качества вод рек и озера [1], загрязнение рек и дна озера крупным растительным мусором. Отдельно можно выделить недостаточное финансирование уже имеющихся ООПТ и медленный процесс создания новых там, где они запланированы, в частности, в Северном Прионежье, а также недостаточные объемы искусственного воспроизводства ценных пород рыб, что во многом объясняется недостаточным финансированием. Перечисленные проблемы часто связаны друг с другом. Так, ухудшение экологической ситуации обуславливает некоторое снижение биологической продуктивности озера и ее внутренние различия [2, 3].

На фоне быстрого роста числа внутренних туристических поездок россиян принимаются меры для раскрытия рекреационного потенциала Онежского озера и Прионежья. Региональными властями субъектов РФ, имеющих выход к озеру – Вологодской и Ленинградской областей и республики Карелия – принято решение о разработке до 31 марта 2025 года национального туристического маршрута (НТМ) «Вокруг Онежского озера». После этого планируется его согласование, утверждение в соответствующих органах власти и реализация.

Вовлечение водохранилищ с наибольшим рекреационным потенциалом заметно увеличит узнаваемость и популярность НТМ. В свою очередь, утверждение НТМ позволит субъектам РФ, по территории которых он пройдет, привлекать некоторые объемы государственного финансирования, в частности для строительства модульных гостиниц.

Цель исследования – рассмотреть развитие внутреннего туризма в Прионежье, в частности, создание и согласование национального туристического маршрута «Вокруг Онежского озера» в качестве косвенного способа смягчения некоторых экологических проблем региона. Вместе с тем важно не только проанализировать способы раскрытия рекреационного потенциала озера, но и предусмотреть некоторые ограничения для туризма, которые позволят снизить его негативное воздействие на природные ландшафты.

Для обоснования перспективности будущего НТМ была осуществлена с использованием авторской методики [4] оценка рекреационного потенциала Прионежья, которая показала, что он сопоставим с потенциалом наиболее популярных для отдыха территорий, в частности, южных приморских регионов России.

Для развития туризма в целом и данного НТМ в частности имеются ряд ограничений, которые следует учитывать. Необходимо минимизировать негативное воздействие туристов, особенно самостоятельных, на природные ландшафты. В идеальном случае туризм должен не только и не столько

ухудшать экологическое состояние региона, сколько способствовать его улучшению. Есть как минимум две возможные составляющие положительного воздействия рекреации.

Одной из наиболее острых экологических проблем региона является истощение биологических ресурсов, в частности, промысловых рыб (лососевых, сиговых и т.д.) вследствие их чрезмерного вылова. Существенно смягчить остроту данной проблемы может искусственное рыборазведение. В свою очередь, посещение туристами рыбных ферм в случае их включения в НТМ обеспечило бы им приток доходов, которые позволили бы им компенсировать затраты на рыборазведение и масштабировать свою деятельность.

Остро стоит проблема финансирования существующих и перспективных особо охраняемых природных территорий (ООПТ) региона. Развитие контролируемого экологического туризма способствует смягчению этих проблем, как это показывает опыт многочисленных ООПТ России и мира.

Национальный туристический маршрут «Вокруг Онежского озера» обладает рядом возможностей.

Побережье и острова Онежского озера, а также водные объекты его бассейна относятся к уникальным территориям, которые имеют природное и историко-культурное наследие. В бассейне озера расположены как минимум 7 особо охраняемых природных территорий федерального и регионального уровня общей площадью около 606,7 тыс. га [5]. В частности, на побережье Онежского озера расположены федеральный заказник «Кижский» (площадь 50000 га), ландшафтные заказники «Заозерский» (площадь 2888 га) и «Муромский» (площадь 32600 га), охраняемый природный комплекс «Онежский» (площадь 25001,3 га), комплексный (ландшафтный) государственный природный заказник «Озера Мегорской группы» (площадь 16439 га).

Перечисленные ООПТ обладают высоким рекреационным потенциалом и могут привлечь и заинтересовать отдыхающих, обеспечив, при должной информационной и иной поддержке, устойчивый туристический поток по данному НТМ. Следует рассмотреть вовлечение названных ООПТ, расположенных непосредственно на побережье Онежского озера, в проектируемый НТМ.

Уже в настоящее время развиты некоторые виды спортивного туризма (любительская рыбная ловля, лыжный и т. п.), экскурсионный, религиозный (посещение музея-заповедника «Кижи»), круизный туризм. Они имеют хорошие перспективы роста. Вовлечение ООПТ в НТМ обеспечит быстрый рост экологического туризма. Регион имеет огромный потенциал для этнического (и связанного с ним гастрономического, знакомство с карельской кухней), некоторый потенциал для сельского, событийного и различных видов спортивного туризма, к настоящему времени слабо развитых (велосипедного, парусного спорта и т.д.), дальнейшего развития круизного туризма. Петрозаводск уже в настоящее время является центром событийного и делового туризма, в дальнейшем его роль в качестве такого центра может возрасти. Регион может

быть плотнее вовлечен в железнодорожные и особенно комбинированные (предполагающие использование железнодорожного, автомобильного, водного транспорта, и, возможно, даже малой авиации) туристические маршруты. Перспективной видится разработка паломнических туров, которые позволят за одну поездку посетить Валаам, Киж и Соловецкие острова (такие туры реализуются и в настоящее время), а также восстановление пассажирского сообщения по озеру, в частности, по маршруту Вытегра – Петрозаводск.

Дальнейшее развитие имеющихся видов туризма в сочетании с новыми, перспективными для региона, должно оказывать минимальное воздействие на природные ландшафты региона, для чего необходимо, в частности, соблюдение норм Водного кодекса. Особенную важность приобретают ограничения, предусмотренные для водоохранных зон и прибрежных защитных полос, для соблюдения которых необходимо их выделение на местности [6].

Для будущего функционирования национального туристического маршрута «Вокруг Онежского озера» имеются риски и ограничения, которые охарактеризованы ниже:

1. Опасные явления природного характера и риски, с ними связанные: геоморфологические, техногенные и др. При выборе мест для создания объектов рекреационной и иной инфраструктуры, от смотровых площадок до дорог и гостиниц, необходимо учитывать опасные природные процессы, свойственные прибрежной зоне Онежского озера и региону в целом. В частности, это абразия и размыв берегов на некоторых участках, склоновые процессы на берегах (оползни, блоки отседания и т.д.), процессы подтопления и заболачивания, которые несколько активизировались в связи с созданием на вытекающей из озера реке Свирь Верхнесвирского водохранилища и подъемом его уровня примерно на 0,4 м [1]. Опасные явления могут как осложнять функционирование объектов рекреационной, транспортной и иной инфраструктуры (и приводить к материальному ущербу), так и представлять угрозу для здоровья туристов, что следует учитывать при оборудовании данного маршрута.

2. Ограничения, связанные с туристическим использованием ООПТ. Факторы, которые окажут сдерживающее воздействие на туристический поток по новому НТМ. Для ООПТ, которые войдут в НТМ, следует проработать вопрос о недопущении чрезмерных нагрузок на природные ландшафты со стороны туристов. Для этого представляются необходимыми консультации как с руководством самих ООПТ (и совместная работа с ними), так и научной общественностью региона. Методы расчета рекреационной емкости ООПТ приводятся как в существующей нормативно-правовой базе, на которую необходимо опираться при планировании их туристического использования (<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407823417/?ysclid=m8e7b2mwfi657066127>), так и в научной литературе [7, 8]. Факторами, сдерживающими развитие туризма, также остаются опасные явления природы, которые проявляются в том числе и в пределах ООПТ, а также слабый уровень развития инфраструктуры и логистические ограничения. Так, железнодорожное сообщение имеет место только в Западном Прионежье. Малая плотность населения

обуславливает небольшой выбор средств размещения рекреантов, кафе, столовых и прочих объектов, которые используются туристами. К примеру, в Восточном Прионежье в настоящее время имеется всего один автобус в день, проезжающий вдоль берега озера (<https://rasp.yandex.ru/bus/pudozh--vytegra>). Однако большая часть дорог вокруг Онежского озера находятся в хорошем состоянии, что облегчает вовлечение в НТМ туристов, которые обладают собственным автотранспортом или могут позволить себе воспользоваться услугами междугороднего такси.

Онежское озеро и Прионежье в целом имеет значительный туристический потенциал, что подтверждается его «узнаваемостью» далеко за пределами субъектов РФ, которые к нему выходят, а также длиной перечня видов туризма, которые для него уже имеют место и потенциально возможны. Ожидаемый в связи с быстрыми темпами развития внутреннего туризма для России в целом и реализуемыми в настоящее время планами по созданию национального туристического маршрута в Прионежье, в частности, может как усилить, так и смягчить остроту экологических проблем региона. Для реализации последнего сценария необходима поддержка «ущающихся» для природных ландшафтов видов туризма, в частности, экологического, обеспечения соблюдения норм Водного кодекса туристами, местными жителями и объектами рекреационной инфраструктуры, контроль неорганизованной рекреации в целом и любительской рыбной ловли в частности, а также включение в туристические маршруты объектов, осуществляющих рыборазведение, и ООПТ для их материальной и информационной поддержки.

#### **Библиографический список**

1. Санин А. Ю., Строков А. А., Терский П. Н. Оценка влияния природных процессов на качество вод на примере Онежского озера // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2020. Т. 65. № 1. С. 146–171.
2. Рыбопродукционный потенциал озер Республики Карелии на современном этапе / Н. С. Черепанова, А. П. Георгиев, С. А. Горбачев, В. А. Широков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 2. С. 59–66.
3. Перспективы выращивания объектов аквакультуры в озерах Карелии / О. П. Стерлигова, Я. А. Кучко, Е. С. Савосин, Н. В. Ильмаст // Вопросы рыболовства. 2019. № 20 (2). С. 216–224.
4. Санин А. Ю. К вопросу об оценке рекреационного потенциала прибрежных территорий Российской Федерации // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2023. Т. 9. № 1. С. 169–183.
5. Онежское озеро. Атлас / отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2010. 151 с.
6. Водный Кодекс Российской Федерации. М. : Инфра-М, 2004. 65 с.
7. Мухина Л. И. Принципы и методы технологической оценки природных комплексов. М. : Наука, 1973. 144 с.
8. Плотнокова В. С., Васильева А. В. Рекреационная емкость как организационно-экономический инструмент развития экологического туризма на особо охраняемой природной территории // Экономические отношения. 2019. Т. 9. № 3. С. 2191–2202.

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ «КРАСНОЙ КНИГИ» В СОХРАНЕНИИ ФЛОРЫ И ФАУНЫ

*А. Н. Соловьев*

*ВНИИОЗ имени профессора Б. М. Житкова,  
г. Киров, Россия, biomon@mail.ru*

Обсуждается практическая значимость региональных Красных книг в сохранении видового разнообразия флоры и фауны. Обосновывается необходимость конкретизации в очерках включаемых в Красные книги видов мер охраны и их результативности.

Ключевые слова: Утёсы на Немде, шиверекия подольская, кортуза Маттиоли, мутинус, пустельга, обыкновенная горлица, дубровник.

В решении актуальной задачи современности – сохранении биологического разнообразия – ведущую роль призваны были сыграть «Красные книги» – от федеральной до региональных. С целью определения их эффективности проведён анализ содержания «Красной книги Кировской области» на примерах ситуаций в состоянии конкретных видов животных и растений.

В годы «развитого социализма» решение природоохранных проблем активизировали на общественных началах энтузиасты-одиночки, иницируя в своих регионах принятие решений местных администраций по природоохранным вопросам. Возлагались большие надежды на создание системы государственных природоохранных ведомств с соответствующими специалистами по естественно-научным дисциплинам для эффективного решения экологических проблем и задач сохранения биологического разнообразия.

Кировская область оказалась в числе немногих регионов, где на общественных началах была инициирована официально регламентированная повидовая охрана флоры и фауны. Решением исполкома областного Совета народных депутатов № 22/635 от 26.11.1979 г. «Об охране редких и исчезающих растений и позвоночных животных по Кировской области» были утверждены составленные «Список позвоночных животных, подлежащих охране, которые в условиях Кировской области являются редкими или имеют тенденцию к сокращению» (48 видов) и «Список растений, произрастающих на территории Кировской области, которые подлежат охране» (72 вида) [1]. Эти перечни публиковались в официальном разделе областной газеты «Кировская правда». Иллюстрированные очерки по охраняемым видам животных и растений издавались в виде плакатов и более 20 лет заменяли региональную Красную книгу. Этот перечень послужил основой для составления первой Красной книги Кировской области [2]. Удалось настоять на структуре повидовых очерков с максимально конкретной характеристикой видов с включением лишь тех особенностей морфологии, биологии и экологии вида, которые обуславливают его краснокнижный статус, уязвимость от того или иного

ограничивающего фактора на данной территории. Если в федеральную Красную книгу заносятся абсолютно редкие виды, то в региональную могут быть занесены относительно редкие – вполне обычные в основной части ареала, но, находящиеся в регионе на границе распространения («краеареальные»), требующие в силу неустойчивости своего положения повышенного внимания и оказывающиеся в числе первых кандидатов в исчезающие при изменении экологической ситуации.

В 1998 г. было подготовлено первое издание «Красной книги Кировской области» (2001 г.). Предполагалось, что она станет программным документом по разработке и принятию конкретных мер по сохранению неблагоприятных видов флоры и фауны. Однако этого не произошло. «Красные книги» в нашей стране лишь констатируют ситуацию, не содержат программных действий по её корректировке. За прошедшие с первого издания Красной книги Кировской области 13 лет в статусе отдельных видов в пределах региона произошли существенные изменения, но не все они нашли отражение во втором издании от 2014 г. [3]. Что понимается под ведением Красной книги и «мероприятиями по сохранению объектов животного и растительного мира», если её содержание не учитывается в региональных программах природопользования?! В Правилах охоты в Кировской области от 13.09.1989 г. в Перечне обитающих на территории области охотничьих животных, приводился список занесённых в федеральную Красную книгу, однако это не продолжилось. В последней редакции Правил, утверждённых Указом Губернатора Кировской области от 27.03.2024 [4], наконец, из этого перечня исключены редкие пролётные и залётные виды, кроме, почему-то, пустынно-степной сажки (*Syrnhaptēs paradoxus*), вот уже 100 лет не появляющейся в области. Дифференцировать следует голубей, исключив из охотничьих видов единично встречающегося клинтуха (*Columba oenas*) и ставшую редкой обыкновенную горлицу (*Streptopelia turtur*), но пока такой привилегии удостоился только пёстрый дрозд (*Zoothera dauma*).

В «Красной книге Кировской области» (2014) почти все виды насекомых и растений – редкие малочисленные и находящиеся под угрозой исчезновения. Не конкретизируется, каким образом охраняются или восстанавливаются местообитания водных видов – рыб, или сибирской миноги (*Lethenteron kessleri*), русской быстрянки (*Alburnoides bipunctatus*) в заказнике «Былина» и в ...«Бору на Лобани» [3]. Большинство очерков, по сути, всего лишь трафареты, которые можно брать за основу при написании «Красной книги» любого региона. При таком содержании «Красная книга» не может быть программным документом, принятие которого можно было бы рассматривать как руководство к действию по осуществлению мероприятий по сохранению конкретных популяций редких и исчезающих видов в регионе.

Численность хищных птиц с обширными гнездовыми территориями следует оценивать не по фиксации особей, а по жилым гнёздам. На постоянном 10-километровом маршруте по просёлочным дорогам между бывшими деревнями Слободского района среди обрабатываемых полей с 2012 г. нами

постоянно наблюдалась всего одна пара пустельги (*Falco tinnunculus*) в гнезде серых ворон на тополе нежилой деревни. С его полным обветшанием они и здесь в 2021 г. перестали гнездиться. Требуется уточнения присутствия в регионе повсеместно исчезающего обычного в недавнем прошлом дубровника (*Emberiza aureola*), бывшего примером успешного расселения вида из Китая на север и запад.

Разделы «Лимитирующие факторы» и «Необходимые меры охраны» содержат преимущественно самые общие и неопределённые положения, а то и вовсе лукавые обороты вроде «охраняется на территории памятника природы» (весьма условно охраняемой территории), не отражая реальные угрозы, соответственно не указываются конкретные меры для сохранения предлагаемого к охране вида. Например, в очерке «Кортуза Маттиоли *Cortusa matthioli*» указанные «Лимитирующие факторы» не соответствуют реальной ситуации в состоянии популяций этого вида. Подлежащая особой охране как памятник природы мизерная популяция реликтовой кортузы Маттиоли в Филейском овраге г. Кирова вовсе не охраняется, а исчезает под натиском агрессивного адвента – борщевика Сосновского (*Heraclium sosnowskyi*). Здесь нужны специальные мероприятия по поддержанию условий произрастания кортузы.

Ни по одному исчезающему виду не предлагается принятие конкретных мер по его сохранению. Для чего же издаётся «Красная книга», если в ней нет конкретных рекомендаций по сохранению и спасению исчезающих видов ?!

Вопрос о правомерности полной или частичной, регулируемой заповедности в отношении местообитаний подлежащих охране видов утратил дискуссионность, поскольку практика, как критерий истины, убедила думающих специалистов в области охраны природы, что в определённых ситуациях полное заповедание без учёта уровня и характера деградации, равно как и демуляции биогеоценотического покрова может быть экологически рискованным [5].

Региональная Красная книга не должна быть абстрактной, отвлечённой от практического решения проблем сохранения биоразнообразия, её предписания должны отражаться на содержании регламентаций по природопользованию в регионе.

На основе эколого-географического прогнозирования необходимо определить тенденции трансформации местообитания, обусловленные как усилением антропогенного воздействия (например, урбанизации), так и прекращением традиционного антропогенного воздействия (например, в связи с ликвидацией сельских населённых пунктов, прекращением выпаса домашних животных, запущением пахотных земель, установлением режима особой охраны).

Чтобы сохранить – не всегда означает «запретить». Прежде всего, это относится к местообитаниям на староосвоенных участках ландшафта, сформировавшимся в условиях постоянного антропогенного воздействия, с прекращением которого их особенности утрачиваются. В очерке «Шиверекия



подольская *Schivereckia podolica*» указанные «Лимитирующие факторы» также не соответствуют реальным условиям существования популяций этого вида на береговых скалах р. Немда в Советском районе. Указания лимитирующих факторов и конкретных мер по сохранению исчезающей в результате деградации местообитания шиверекии подменяют шаблонным «*выявление новых мест произрастания вида* (которых заведомо нет в регионе – А. С.) и их охраны (которую не могут обеспечить на Немде – А. С.)». Авторами очерка рекомендуется не обеспечение условий сохранения вида и проведение конкретных мероприятий, а шаблонное «*контроль за состоянием ценопопуляций*», «*введение в культуру*» (какой в этом смысл ?!) и совсем неуместное –



Рис. 1. Такими стали утёсы на Немде в результате их «охраны»

«ограничение антропогенной нагрузки в местах произрастания вида». Как раз наоборот – чтобы спасти шиверекию на Немде, нужно восстановить тот характер антропогенной нагрузки на скалистых участках берега, который был при его плотной заселённости. С ликвидацией деревень у р. Немда береговые склоны стали задерновываться и зарастать древесно-кустарниковой порослью, вытесняющей наскальную флору с краснокнижным видом (рис. 1).

С большими трудностями удалось добиться принятия решения об осветлении прибрежных скальных обнажений путём сведения древесно-кустарниковой поросли по щебёночной осыпи под скалами. Но нашлись «защитники природы» воспрепятствовавшие выполнению этого решения. И скалы зарастают, шиверекия исчезает.

В интересах природоохранного ведомства шиверекию указали в «Красной книге» не на скалах по р. Немда, а на абстрактной территории существующего лишь в финансовых документах «заказника» «Пижемский».

Скалы на Немде удалось сохранить от камнеразработок, но они исчезают. Спасать скалы от камнеразработок, добиваться принятия решений по их сохранению пришлось по личной инициативе на общественных началах. Теперь же есть государственный орган, призванный решать природоохранные задачи, а не устраниваться от них, ссылаясь на «мнение специалистов» при поддержке «экспертного сообщества». Угрозу наскальным растениям представляет облесение скальных участков. Наступая на береговые обнажения известняков, древесно-кустарниковая поросль способствует их разрушению, образованию щебнистой осыпи, подавляет светолюбивые травы, затеняя их. Когда краснокнижный вид исчезнет, а скалы лесом зарастут, на их месте, скорее всего, появятся карьеры по добыче известняка карьерным способом, как это предлагалось геологами ещё в 1975 г., когда по их проекту скалы остались бы ...только на фотографиях. Необходимо выполнить, наконец, работы по восстановлению уникального местообитания краснокнижного растения, предусмотренные по итогам работы комиссии решением органа власти Кировской

области «О дополнительных мерах по сохранению шиверекии подольской по берегам Немды в Советском районе» № 186 от 23.03.1987 г.: «производить регулярные рубки ухода с целью осветления склонов берега Немды у бывшей д. Береснята, ниже деревень Тяпичи, Камень и Чимбулат. С целью увеличения высоты скального массива совхозу «Фокинский» разрешается после сведения хвойного леса у подножия известняковой «стенки» по правому берегу р. Немды от Береснятского водопада до Буржатского утёса производить из осыпи выемку щебня (без использования взрывов)» (рис. 2). Охраняемым участкам берега Немды нужно восстановить тот облик, для сохранения которого эта часть месторождения известняков была изъята из разработок. Восстановить проходимость грунтовых дорог. Целесообразно возобновить изъятие известняковой крошки из прискальных отложений. Щебёночная осыпь может вывозиться на окрестные поля. С её удалением обозначится уникальный облик берега Немды, повысится рекреационная доступность примечательных участков. Посещение скал отдыхающими должно быть свободным без каких-либо ограничений [6].



Рис. 2. Скальные обнажения правого берега реки Немда, заросшие древесной порослью по осыпи

В 2024 г. в местных средствах массовой информации сообщалось о подготовке нового издания «Красной книги Кировской области». Оптимальный режим охраны любой конкретной ценопопуляции может быть разработан лишь при дифференцированном подходе на основе эколого-географического анализа условий местообитания в историко-созологическом аспекте. В результате должны выявляться лимитирующие по отношению к данной популяции факторы: а) по непосредственному дигрессивному воздействию на охраняемую популяцию и требующие преимущественно запретительных и ограничительных мер; б) по опосредованному влиянию на популяцию через изменение условий обитания и требующие проведения специальных мероприятий упреждающего характера, обеспечивающих поддержание оптимальных экотопических условий.

Научная обоснованность необходима по вопросам включения пролётных, инвазионных и других видов, присутствие которых определяется исключительно деятельностью человека. К таковым, в частности, относятся встречающиеся только на искусственных субстратах адвентивные виды грибов – мутинусы: собачий (*Mutinus caninus*) и Равенеля (*M. ravenelii*) найденный дважды: в насыпном грунте на дамбе пруда у пос. Мирный Оричевского района в 1998 г. и на посыпке беговой дорожки в Филейском парке г. Кирова в 2022 г.

При сложившейся практике ведения Красных книг, как региональных, так и федеральной, они носят констатирующий характер и не предполагают принятия конкретных мероприятий по охране занесённых в них видов. Если и улучшилось положение каких-то видов, то исключительно в силу спонтанных изменений экологической ситуации или выявления на новых территориях, а не «в результате принятых мер».

Выбор исполнителей на создание «Красной книги» региона должен ориентироваться на участие в нем профессиональных кадров, специалистов, владеющих конкретными знаниями флоры и фауны региона. При отсутствии у Красных книг законодательного статуса они не имеют силы руководящего документа, т. к. отсутствует контроль реализации мер по сохранению видов, занесённых в «красные книги».

Новое (третье) издание «Красной книги Кировской области» должно ориентироваться и учитывать мнение авторитетных учёных старшего поколения – Н. К. Верещагина и Ф. Р. Штильмарка [7], призывавших не утратить чувство меры и ответственности при составлении региональных Красных книг и не отгораживаться от реального решения проблем сохранения биоразнообразия в регионе.

Основные свойства Красной книги как официального документа, должны отражать следующее:

- Красная книга содержит свод сведений о редких и исчезающих видах, а также необходимых мерах по их охране и восстановлению.

- Занесение вида в Красную книгу автоматически влечёт за собой возникновение законодательной защиты, независимо от категории статуса вида.

- Занесение в Красную книгу исключает вид (подвид, популяцию) из хозяйственного использования и придаёт охранный статус местам его обитания.

- Разработка стратегий по охране и восстановлению видов.

- Меры упреждающего характера. В частности, лесные массивы с краснокнижными видами должны выделяться как защитные участки.

Анализ результативности предыдущих изданий Красной книги Кировской области свидетельствует о их неэффективности в сохранении флоры и фауны региона. Новое издание должно предусматривать принятие соответствующих мер по сохранению видов, оказавшихся в неблагоприятном положении, проведение планомерной работы по сохранению биологического разнообразия.

### Библиографический список

1. Соловьев А. Н. К истории охраны флоры и фауны Кировской области // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем : материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. г. Киров 26–28 ноября 2013 г. Киров : Изд-во ВятГГУ, 2013. С. 409–413.
2. Красная книга Кировской области. Животные, растения, грибы. Екатеринбург : Уральск. ун-т, 2001. 288 с.
3. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. Изд-е 2-е. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.
4. Об определении видов разрешённой охоты и ограничений охоты в охотничьих угодьях на территории Кировской области // Указ Губернатора № 11 от 30.05.2022 г. [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/406066505> (дата обращения: 17.03.2025).
5. Торопова Н. А., Смирнова О. В. Экологический риск заповедания и пути его преодоления: обзор современных представлений // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19. Вып. 5. С. 1577–1580.
6. Соловьев А. Н. Заветные места земли вятской. Киров : ООО «Веси», 2024. 304 с.
7. Верещагин Н. К., Штильмарк Ф. Р. Не утратить чувство меры и ответственности // Охота и охотничье хозяйство. 2002. № 10. С. 2–3.

## О СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМАХ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

*И. Х. Домуладжанов, Ш. И. Домуладжанова, Н. Р. Исмаилов*  
*Ферганский политехнический институт, г. Фергана, Узбекистан,*  
*domuladjanovi@mail.ru, idomuladjanov@ferpi.uz*

В статье приводится информация о состоянии Ферганской долины, в которой имеются все проблемы Центрально-азиатского региона (границы, бедность, дефицит плодородных земель и водных ресурсов, безработица, межэтнические противоречия, экологические проблемы и т. д.). Поэтому анализ основных, в первую очередь экономических, экологических проблем Ферганской долины играет важную роль в понимании общей обстановки в Центральной Азии и вокруг нее. Даются рекомендации по снижению этих проблем.

Ключевые слова: Ферганская долина, Центральная Азия, сложные проблемы, бедность, безработица, водные ресурсы, инфраструктура, продукция, создание рабочих мест.

Центрально-азиатский регион, который расположен в самом сердце огромного Евразийского континента имеет долгую, богатую и, в то же время, насыщенную трудностями и конфликтами историю.

Ферганская долина является территорией, на которой имеются все проблемы Центрально-азиатского региона (проблема границ, бедность, дефицит плодородных земель и водных ресурсов, безработица, межэтнические противоречия, экологические проблемы и т. д.). Они все хорошо представлены в

концентрированном виде и сплетены в сложный клубок противоречий. Поэтому анализ основных, в первую очередь экономических, проблем Ферганской долины играет важную роль в понимании общей обстановки в Центральной Азии и вокруг неё.

Ферганская долина, как межгорная впадина в предгорьях Тянь-Шаня, протяженностью до 300 км с запада на восток и до 170 км с севера на юг, является одним из главных сельскохозяйственных районов Центральной Азии. Долину с внешним миром связывают лишь четыре автомобильные (Фергана – Ташкент, Фергана – Худжанд, Ош – Бишкек и Ош – Хорог) дороги и одна железнодорожная ветка (Фергана – Худжанд), и вторая железнодорожная ветка через перевал (Андижан – Ташкент).

В советское время в Центральной Азии, в том числе в Ферганской долине, было проведено национально-государственное размежевание на основе довольно произвольного представления об этнических границах. Ферганская долина, которая всегда представляла собой единый регион, была рассечена административными границами Узбекистана, Кыргызстана и Таджикистана, обретшими после распада СССР статус независимых государств, что на современном этапе является причиной многочисленных проблем. Границы разделили неделимый прежде регион, прервали исторически сложившиеся экономические, культурные и политические связи. Часть долины входит в Республику Узбекистан и делится на Андижанскую, Наманганскую и Ферганскую области. Восточная часть равнины, а также окружающие долину с севера, востока и юга горы и предгорья принадлежат Республике Кыргызстан и относятся к Ошской, Джалал-Абадской и Баткенской областям. Западная часть долины входит в Согдийскую (бывшую Ленинабадскую) область Республики Таджикистан.

Все области, входящие в Ферганскую долину, имеют большое значение для своих государств, так как играют важную роль в их социально-экономической жизни. В Андижанской, Наманганской и Ферганской областях, занимающих 4,3% территории, проживает 27,2% всего населения Узбекистана. В Баткенской, Джалал-Абадской и Ошской областях (40,4% территории) – 51,9% населения Кыргызстана, а в Согдийской области (17,6% территории) – 29,9% населения Таджикистана.

В регионе сложилась интересная геополитическая ситуация. Узбекистан контролирует равнину и большую часть населения, Кыргызстан – нагорье и основные источники водных ресурсов, а Таджикистан – железнодорожную ветку, связывающую Ферганскую долину с внешним миром. Для разгрузки этой ветки в 2013 году начата и в 27 августа 2016 года была построена вторая железнодорожная ветка, которая прошла через перевал и связала Андижан с Ташкентом, общая длина 19200 м.

Дополнительные осложнения в межгосударственных отношениях в регионе приносит существование анклавов – узбекских (Сох, Шахимардан) на территории Кыргызстана и таджикских на территории Узбекистана (Сарвак) и Кыргызстана (Ворух)).

Для стран Центральной Азии характерен очень высокий прирост населения. При этом основной прирост приходится, прежде всего, на население сельских районов. Ферганская долина является преимущественно аграрным регионом (сельские жители составляют 60–80% населения), поэтому для нее также характерен высокий естественный прирост населения.

В результате на сегодняшний день в Ферганской долине, составляющей 1% земли центрально-азиатского региона, проживает свыше 12 млн человек, что составляет больше одной пятой части всего населения Центральной Азии. Средняя плотность населения в целом составляет около 100 чел./км<sup>2</sup>, а в равнинной части долины – более 350 чел./км<sup>2</sup> (в Андижанской области Узбекистана плотность населения превышает 500 чел./км<sup>2</sup>). Совершенно отчетливо просматривается аграрная перенаселенность, когда в наиболее плодородных районах на 1 человека приходится всего 0,6 га земли. При этом следует учитывать продолжающийся быстрый рост численности населения. Преобладание молодежи и детей в структуре населения (каждый второй житель Ферганской долины моложе 18 лет) обеспечивает сохранение высокой рождаемости в том числе и в перспективе. По экспертным оценкам, население Ферганской долины может достигнуть 14–15 млн чел.

Экономическую ситуацию в регионе характеризуют острый недостаток ресурсов (земли, воды), неэффективность экономических реформ, слабое развитие малого и среднего предпринимательства, низкий инвестиционный климат, развал локального рынка из-за изоляционистских мер правительств и ужесточения пограничных режимов. После избрания Президентом Республики Узбекистан Ш. М. Мизиева, все изменилось.

Необходимо признать, что лидером, который остро прочувствовал зреющий общественный запрос на кардинальные перемены, решение накопившихся проблем, фундаментальный слом устаревших подходов к выстраиванию взаимоотношений с соседями, стал новый Президент Узбекистана Шавкат Мирзиёев.

Глава Узбекистана сформулировал новую целостную Доктрину внешней политики. Она определяет видение и подходы Узбекистана к актуальным проблемам международной и региональной безопасности, современным вызовам и угрозам, формированию нового мирового порядка и др.

Всего семь лет тому назад наши границы были практически полностью закрыты. Мы были свидетелями конфликтов и минных полей на приграничных территориях, транспортных блокад, высоких торговых барьеров.

Нескончаемые споры по вопросам использования водных ресурсов, доступа к пастбищам и водохозяйственным объектам грозили перерасти в открытое противостояние.

Некоторые силы в регионе провоцировали соперничество и конкуренцию, порождая недоверие и спекулируя нашим общим историческим наследием. Наша разобщенность делала нас слабее, лишала перспектив консолидации, препятствуя раскрытию потенциала региона во имя общих интересов.

Все это в корне противоречило культурно-цивилизационным ценностям центрально-азиатских народов, которые на протяжении веков жили бок о бок в мире и согласии, исповедовали одну религию, разделяли общие обычаи и традиции, были связаны тысячами невидимых нитей.

Узбекистан полностью завершил правовое оформление границы с Казахстаном, делимитировал границу с Туркменистаном, Таджикистаном и Кыргызстаном. Возобновили свою деятельность десятки пропускных пунктов на границе, значительно облегчив перемещение людей между нашими странами. Сегодня границы между Узбекистаном и странами Центральной Азии можно по праву называть мостами дружбы и добрососедства. Подтверждением этому является действующая с 1 сентября 2023 г. процедура перехода узбекско-кыргызской границы с предъявлением внутреннего документа – общегражданской ID-карты. Аналогичный проект обсуждается и с казахстанской стороной.

Экологические проблемы тесно связаны с тем, что сейчас политика правительств стран Центральной Азии в сельском хозяйстве в связи с дефицитом финансовых ресурсов нацелена на сокращение субсидий на содержание ирригационных сооружений, происходит переход на капельное орошение и другие водо- и энергосберегающие технологии [1–5].

Поэтому можно сказать, что основополагающими угрозами безопасности в регионе являются экономические угрозы: бедность, безработица, неэффективность аграрного сектора экономики, процессов, которые имеют место в Ферганской долине.

Одной из наиболее важных проблем, характеризующих социальную ситуацию во всех трех частях Ферганской долины, является безработица. Она вызвана резким снижением занятости в государственном секторе и медленным развитием частного сектора, остановкой производств, углублением диспропорций между увеличивающимся объемом рабочей силы и потребностью в ней.

Из-за неразвитости производственной и социальной инфраструктуры и сферы приложения труда вне аграрного сектора сельское хозяйство Кыргызстана, Таджикистана и Узбекистана перенасыщено рабочей силой и ежегодно пополняется работниками за счёт выпускников сельских школ. По официальным расчётам, этот «резерв» только в Узбекистане составляет 500–530 тыс. человек, из которых 29% приходится на Ферганскую долину [6].

В сложившихся условиях ощущается острая потребность в рабочих местах, не связанных с сельским хозяйством, в первую очередь в трудоемких отраслях (например, текстильная промышленность), в создании мощностей по промышленной переработке сельскохозяйственного сырья, с последующим предложением готовой продукции на внутренний и внешний рынок.

Политическая воля, беспрецедентный прагматизм, укрепление мер доверия и гибкость дипломатии главы государства, готовность к разумным компромиссам для урегулирования ключевых межгосударственных и региональных проблем обеспечили стратегический сдвиг в Центральной Азии от споров и разногласий к взаимопониманию и сотрудничеству.



### **Библиографический список**

1. Домуладжанов И. Х., Холмирзаев Ю. М., Домуладжанова Ш. И. Воздействие на окружающую среду автозаправочной станции // *Universum: технические науки*. 2020. № 4–2 (73) [Электронный ресурс]. – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/9268> (дата обращения: 29.03.2025).
2. Воздействие объекта на акустический режим территории / И. Х. Домуладжанов, Ш. И. Домуладжанова, М. И. Латипова, М. Р. Дадакузиев // *Universum: технические науки*. 2021. № 3–1 (84). [Электронный ресурс]. – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11344> (дата обращения: 29.03.2025).
3. Текстильный комплекс «ДЭУ Текстайл компани» и его воздействие на окружающую среду Куштепинского района / И. Х. Домуладжанов, Ш. И. Домуладжанова, М. И. Латипова, Ю. М. Холмирзаев // *Universum: технические науки*. 2020. № 7–2 (76). [Электронный ресурс]. – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/9827> (дата обращения: 29.03.2025).
4. Домуладжанов И. Х., Махмудов С. Ю., Дадакузиев М. Р. Предельно-допустимые стоки (ПДС) загрязняющих веществ в водные объекты // *Universum: технические науки*. 2020. № 7 (76). [Электронный ресурс]. – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/9912> (дата обращения: 29.03.2025).
5. Оценка степени загрязнения атмосферы ООО «А-Сервис» / И. Х. Домуладжанов, А. М. Тешабаев, Ш. И. Домуладжанова, М. И. Латипова // *Universum: технические науки*. 2020. № 7–1 (76). [Электронный ресурс]. – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/9964> (дата обращения: 29.03.2025).
6. Данков А. Ферганская долина: проблемы обеспечения экономической стабильности // *Центральная Азия и Кавказ*. 2007. № 2 (50). С. 130–142.



### СЕКЦИЯ 3

## ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

### SUSTAINABLE PHARMACEUTICAL WASTE MANAGEMENT: RESEARCH-DRIVEN SOLUTIONS FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION

***Sandesh Kumar Daftari***

*Dr. C. V. Raman University, Khandwa (M. P.), India,  
sandesh.daftari6565@gmail.com*

Pharmaceutical waste management is a pressing environmental issue with severe consequences for ecosystems and public health. Improper disposal of pharmaceutical waste contributes to soil and water contamination, promotes antimicrobial resistance (AMR), and increases public health risks. This research paper explores the environmental impact of pharmaceutical waste, evaluates global and India-specific management practices, and proposes sustainable, evidence-based solutions. Through case studies from the United States, the European Union, India, and China, the research highlights best practices and identifies challenges. It presents sustainable solutions, including green chemistry, advanced treatment technologies, regulatory reforms, and public awareness programs, with a particular focus on tailoring strategies for India.

Keywords: pharmaceutical, AMR, pharmaceutical waste, public awareness programs, soil fertility.

Pharmaceutical waste includes expired, unused, or contaminated medicines, drug by-products, and packaging waste. Inadequate disposal practices contribute to:

- water contamination: pharmaceutical residues leach into water bodies through sewage systems;
- soil degradation: improper landfilling reduces soil fertility;
- air pollution: incineration without proper controls releases toxic substances.

Key Objectives of this Study are the following:

- to assess the environmental impact of pharmaceutical waste;
- to analyze pharmaceutical waste management practices globally and in India;
- to recommend sustainable, evidence-based solutions for effective waste management [1].

## **Global Pharmaceutical Waste Statistics.**

### **1. United States**

**Pharmaceutical Waste Generation.** The United States generates approximately 7,000–9,000 tons of pharmaceutical waste annually, making it one of the largest contributors to pharmaceutical waste globally.

**Disposal Methods.** According to the Environmental Protection Agency (EPA, 2024), 85% of pharmaceutical waste is incinerated. Incineration is the primary method due to its effectiveness in destroying hazardous substances, although it emits greenhouse gases and may release toxic residues. 15% of pharmaceutical waste is recycled. Recycling involves reprocessing unused or expired drugs into new products, but it is limited due to safety and contamination concerns.

**Environmental Impact.** Incineration produces air pollutants, including dioxins and furans, which pose public health risks. Improper recycling can lead to contamination of new pharmaceutical products, raising safety concerns [2].

### **2. European Union**

**Pharmaceutical Waste Generation.** The European Union (EU) generates approximately 5,000 tons of pharmaceutical waste per year, originating from hospitals, pharmaceutical manufacturing units, and households.

**Disposal Methods.** According to the European Chemicals Agency (ECHA, 2024), 75% of pharmaceutical waste is incinerated. This is the primary method used across most EU countries due to strict regulations on hazardous waste disposal. 25% of pharmaceutical waste undergoes chemical treatment. Chemical neutralization processes are used to detoxify waste, making it safer for final disposal.

**Environmental Impact.** Incineration reduces waste volume but contributes to carbon emissions and air pollution. Chemical treatment helps reduce the toxicity of waste but generates secondary chemical residues that require further disposal [3].

### **3. China**

**Pharmaceutical Waste Generation.** China generates approximately 4,500 tons of pharmaceutical waste annually, attributed to its large pharmaceutical industry and population.

**Disposal Methods.** According to the National Medical Products Administration (NMPA, 2024), 70% of pharmaceutical waste is incinerated. Incineration is widely used due to its efficiency in destroying hazardous substances. 20% of pharmaceutical waste is landfilled. Landfilling is a common practice, especially for non-hazardous pharmaceutical waste. However, it risks soil and groundwater contamination due to leachate from improperly disposed waste. 10% of pharmaceutical waste is recycled. Recycling efforts in China focus on repurposing packaging materials and non-toxic by-products rather than reusing active pharmaceutical ingredients.

**Environmental Impact.** Landfilling poses significant risks of leachate contamination, impacting local water sources. Incineration produces carbon emissions and airborne toxins, contributing to air quality degradation [4].

### **4. India**

**Pharmaceutical Waste Generation.** India generates approximately 4,000 tons of pharmaceutical waste annually, stemming from pharmaceutical manufacturing units, hospitals, and expired household medications.

**Disposal Methods.** According to the Central Pollution Control Board (CPCB, 2024), 70% of pharmaceutical waste is dumped in landfills. Landfilling is the most common method due to low disposal costs, but it contributes to soil and groundwater pollution through leachate seepage. 20% of pharmaceutical waste is incinerated. Incineration is primarily used for hazardous pharmaceutical waste, ensuring complete destruction of biohazardous compounds. 10% of pharmaceutical waste is recycled. Recycling mainly focuses on non-toxic components, such as blister packs, plastic containers, and cardboard packaging.

**Environmental Impact.** The heavy reliance on landfilling leads to soil degradation and water contamination. Incineration contributes to air pollution, releasing particulate matter and toxic gases.

So India-specific challenges are:

1. Improper disposal practices: 60–70% of pharmaceutical waste is disposed of in open landfills or dumped into rivers. Burning pharmaceutical waste releases toxic air pollutants.

2. Lack of infrastructure: only 15–20% of pharmaceutical waste in India is properly treated.

3. Insufficient waste segregation and recycling facilities.

4. Regulatory gaps: weak enforcement of Central Pollution Control Board (CPCB) guidelines.

5. Lack of monitoring and accountability [5].

### **Environmental Impact and Challenges.**

#### *1. Water and Soil Contamination.*

**Antimicrobial Resistance (AMR) from Pharmaceutical Residues.** Pharmaceutical waste containing antibiotics and antimicrobial agents often enters water bodies through industrial discharge and improper disposal. Prolonged exposure contributes to the development of AMR in pathogenic bacteria, making infections harder to treat. The WHO has identified AMR as one of the top 10 global health threats.

**Hormonal Imbalances in Aquatic Species.** Drug residues, particularly from contraceptives and hormone therapy medications, have been found in rivers and lakes. These residues lead to endocrine disruption in aquatic species, causing reproductive issues such as feminization of male fish and infertility. Such imbalances disrupt aquatic ecosystems and threaten biodiversity [6, 7].

**Soil Infertility from Pharmaceutical Waste.** Pharmaceutical waste landfilled without proper containment leads to soil contamination with heavy metals, synthetic chemicals, and toxins. These chemicals alter the soil's pH balance, reduce its fertility, and inhibit microbial activity, affecting agricultural productivity. Long-term contamination makes land unfit for cultivation, contributing to desertification.

#### **India-Specific Impact.**

According to the Central Pollution Control Board (CPCB, 2024), 70% of rivers near pharmaceutical industrial zones are contaminated with antibiotics (residual

antibiotics, such as ciprofloxacin and ofloxacin), active pharmaceutical ingredients (APIs). This contamination leads to AMR outbreaks and affects the health of downstream communities.

Pharmaceutical waste dumped in landfills or improperly disposed of cause's chemical contamination of agricultural land. Long-term exposure to pharmaceutical residues reduces soil fertility by 15–20%, lowering crop yields. Agricultural areas near pharmaceutical zones suffer from diminished productivity and crop toxicity [8].

## *2. Public Health Risks*

AMR. The WHO ranks AMR as one of the top 10 global health threats. Pharmaceutical waste containing antibiotics contributes to resistant bacterial strains in wastewater treatment plants and water bodies. These resistant strains cause infections that are harder to treat, requiring stronger and costlier antibiotics.

Toxic Bioaccumulation. Pharmaceutical residues in water bodies are consumed by fish and aquatic species, leading to bioaccumulation. When humans consume contaminated seafood, they are exposed to:

Carcinogens from pharmaceutical waste. Endocrine-disrupting compounds (EDCs) that affect hormonal balance [9].

## **Sustainable solutions and best practices for pharmaceutical waste management.**

1. Green chemistry approaches. The pharmaceutical industry is increasingly adopting biodegradable packaging materials to reduce plastic waste. Derived from corn starch, cellulose, or sugarcane, plant-based polymers break down faster than conventional plastic. A biodegradable plastic PLA (Polylactic Acid) commonly used for pharmaceutical blister packs. Water-soluble film PVA (Polyvinyl Alcohol) used for packaging individual doses, preventing plastic waste. Nowadays Pfizer and GSK have introduced biodegradable drug packaging, reducing single-use plastic in their supply chain by 30%. The above reduces non-degradable pharmaceutical plastic waste, minimizes landfill burden by promoting decomposition, as well as decreases the carbon footprint of pharmaceutical packaging.

Green chemistry innovations focus on designing drugs that decompose into non-toxic by-products after consumption. Biodegradable APIs (Active Pharmaceutical Ingredients) formulated to break down into harmless compounds, reducing environmental contamination. Reduced persistence drugs engineered to degrade quickly in the environment, preventing water and soil pollution. For example, Novo Nordisk introduced insulin pens made from bioplastics, reducing pharmaceutical plastic waste by 40%. Cipla and Sun Pharma (both – India) are investing in biodegradable formulations that leave no harmful residues post-consumption.

2. Advanced Waste Treatment Technologies. Plasma gasification exposes pharmaceutical waste to extremely high temperatures (up to 5 000°C) using plasma torches, and converts waste into syngas (hydrogen and carbon monoxide) and solid slag. The advantages of this technology are zero toxic residues and renewable energy from waste. Thus, InEnTec, a US-based company, operates plasma gasification plants processing pharmaceutical waste into clean energy.

Supercritical Water Oxidation (SCWO) uses high temperature (374°C) and pressure (221 bar) conditions to decompose pharmaceutical waste into water, carbon dioxide, and non-toxic salts. Efficiency at this achieves 99.9% waste degradation. For example, SCWO facilities in Europe are used by GlaxoSmithKline (GSK) to safely dispose of pharmaceutical waste. The Pune Municipal Corporation (India) SCWO pilot plant treats 10 tons of pharmaceutical waste monthly.

Bioreactors use specific microbial strains to biologically degrade pharmaceutical waste. Pharmaceutical waste is treated in closed bioreactor chambers with controlled microbial activity. Microorganisms break down drug compounds into non-toxic by-products. The BioconPharma Plant in Bangalore, India, uses bioreactors to treat its pharmaceutical effluents [10].

### References

1. Pharmaceuticals in the environment: sources, fate, effects, and risks. DOI: 10.1007/978-3-540-74664-5 / Ed. K. Kümmerer. Heidelberg : Springer International Publishing, 2008. 521 p.
2. EPA final rule: hazardous waste pharmaceuticals [Internet resource]. – URL: <https://www.stericycle.com/en-us/solutions/regulated-waste-disposal/epa/hazardous-waste-pharmaceuticals> (assessed: 04.03.2025).
3. Medicinal waste in the EU: an in-depth analysis [Internet resource]. – URL: <https://ithy.com/article/medicinal-waste-eu-analysis-0004ppdb> (assessed: 04.03.2025).
4. Li X., Li G. A Review: Pharmaceutical Wastewater Treatment Technology and Research in China. DOI: 10.2991/ap3er-15.2015.81 // Advances in Engineering Research : proceedings of the 2015 Asia-Pacific Energy Equipment Engineering Research Conference. Atlantis Press, 2015. P. 345–348.
5. Das P. K. Present scenario of waste management in India DOI: 10.46281/aijssr.v5i1.481 // Am. Int. J. Soc. Sci. Res. 2020. Vol. 5. No. 1. P. 22–32.
6. Verlicchi P., Al Aukidy M., Zambello E. Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment – a review. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.04.028 // Sci. Total Environ. 2012. Vol. 429. P. 123–155.
7. Occurrence, fate and transformation of emerging contaminants in water: An overarching review of the field / J. Wilkinson, P. S. Hooda, J. Barker, et al. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.08.032 // Environ. Pollut. 2017. Vol. 231. Pt. 1. P. 954-970.
8. Upadhyay S., Sinha A. Waste management in Indian pharmaceutical industries. DOI: 10.1007/978-3-030-93897-0\_5 // Environmental management in India: waste to wealth / Eds. S. Yadav, A. M. Negm, R. N. Yadava. Cham : Springer, 2022. P. 89–100.
9. Nassiri Koopaei N., Abdollahi M. Health risks associated with the pharmaceuticals in wastewater. DOI: 10.1186/s40199-017-0176-y // Daru. 2017. Vol. 25. No. 1. Article No. 9.
10. Sapkota B., Pariatamby A. Pharmaceutical waste management system – Are the current techniques sustainable, eco-friendly and circular? A review. DOI: 10.1016/j.wasman.2023.05.052 // Waste Manage. 2023. Vol. 168. P. 83–97.

## **ECO FRIENDLY PACKAGING SOLUTION FOR PHARMACEUTICAL PRODUCT: A SUSTAINABLE APPROACH**

***Komal Padme***

*Dr. C. V. Raman University, Khandwa (M. P.), India,  
Komalpadme20@gmail.com*

Pharmaceutical packaging plays a crucial role in product safety, stability, and compliance. However, conventional packaging solutions contribute significantly to environmental pollution due to their non biodegradable nature. This research explores eco friendly packaging solutions in the pharmaceutical industry, analysis recent trends, challenges, and advancement in sustainable packaging. A detailed analysis of last five-year case studies, statistical data, and innovative strategies is presented. The study also proposes effective solutions and strategies to enhance sustainability while maintaining product integrity. The goal of this paper is to explore eco-friendly packaging solutions within the pharmaceutical industry, focusing on reducing environmental impact, carbon footprints, and waste. The paper will also discuss potential solutions, strategies for adopting these solutions, and the benefits of sustainable packaging for both the environment and businesses.

**Keywords:** biodegradable, carbon footprints, sustainable packaging, eco-friendly packaging, pharmaceutical.

Pharmaceutical packaging materials are the collection of different components which surrounded the pharmaceutical product since the time of production till its use. Thus pharmaceutical packaging, as a collective term, may be defined as the science, art and technology of enclosing or protecting products for distribution, storage, sale and seven usage including printed materials, employed in the finishing of a pharmaceutical product [1].

In recent years, environmental sustainability has gained significant importance across industries, and the pharmaceutical industry is no exception. The increasing concern over plastic pollution, waste management, and carbon footprints has pushed pharmaceutical companies to seek more sustainable packaging solutions. Packaging is crucial in pharmaceuticals as it ensures product safety, preserves quality, and provides essential information to consumers. However, traditional packaging materials like plastic, glass, and aluminium contribute heavily to environmental degradation due to their non-biodegradable nature and high energy consumption during production [1, 2].

The environmental impact of these materials spans from raw material extraction to disposal, with packaging designs often prioritizing convenience over sustainability. To fully understand the environmental footprint, factors like water and energy consumption, greenhouse gas emissions, and ecological toxicity must be considered.

Current pharmaceutical packaging and environmental impact. Traditional packaging materials serve the primary purpose of protecting the product, they have substantial environmental impacts.

Plastic: high consumption of petroleum-based materials, non-biodegradable, and responsible for large amounts of waste.

Glass: heavy and energy-intensive in production.

Aluminum: recyclable but still requires energy-intensive extraction and processing.

The traditional pharmaceutical packaging industry contributes significantly to the following:

1) production of these materials requires a considerable amount of energy, contributing to high levels of carbon emissions;

2) pharmaceutical packaging is often single-use, leading to a large amount of waste that doesn't decompose or get recycled efficiently;

3) pharmaceutical packaging waste often ends up in landfills, contributing to pollution [3–5].

Eco-friendly packaging solutions.

Biodegradable plastics. Materials like Polylactic Acid (PLA) and Polyhydroxyalkanoates (PHA), derived from renewable resources, are being used as biodegradable alternatives to conventional plastics. These materials decompose naturally over time, reducing landfill waste. They decompose much faster than traditional plastics, reducing long-term environmental damage.

Post-consumer recycled (PCR) materials. Using recycled plastics and glass as packaging materials significantly reduces the need for virgin materials and the environmental impact associated with producing new packaging by using this we Reduces carbon emissions, lowers energy consumption, and encourages recycling practices.

Edible and dissolvable packaging. Innovations in edible packaging made from seaweed, rice, and wheat are increasingly being explored for pharmaceutical products, especially for oral medications like tablets and capsules. Completely biodegradable and compostable, reducing waste and landfill burden [6].

Glass and Aluminum. While energy-intensive in production, glass is 100% recyclable, making it a more sustainable choice for certain pharmaceutical products, especially where sterility and product integrity are crucial.

Aluminum often used in blister packs; aluminum is recyclable and can be re-used multiple times with minimal environmental impact [1, 3].

Real world case study. In Japan, Astellas Pharma replaced traditional plastic blister packs with PLA packaging, significantly reducing their carbon footprint. This success story highlights the potential of biodegradable materials in pharmaceutical packaging.

In the U.S., pharmaceutical companies have partnered with biopolymer manufacturers to develop environmentally responsible packaging, such as compostable pill bottles, while meeting FDA standards. Similarly, in Europe, companies like Gerresheimer AG (Germany) introduced eco-friendly packaging, including sugar-

cane-based containers and innovative tablet packaging with compartments for patient information. DS Smith PLC also earned recognition for its recyclable paper and plastic packaging solutions. These real-world examples demonstrate the growing potential of biodegradable materials in mainstream pharmaceutical packaging.

In Asia, especially in India and China, local manufacturers are exploring plant-based polymers for sustainable packaging. These materials have proven to be both cost-effective and performance-driven, reflecting a broader shift toward sustainability aligned with global environmental goals.

#### Government schemes and regulations on pharmaceutical packaging

Introduced by the Ministry of Environment, Forest and Climate Change (MoEFCC) of India Plastic Waste Management Rules mandate extended producer responsibility (EPR), encouraging companies to take responsibility for the packaging waste they generate. Pharmaceutical companies are increasingly required to manage the collection and recycling of their packaging waste.

Extended Producer Responsibility (EPR) encourages companies to design products with lifecycle considerations in mind and provides incentives to adopt packaging that is more environmentally friendly. In India, pharmaceutical companies are expected to ensure that packaging is recyclable or biodegradable.

Global Government Initiatives. The European Union's Circular Economy Action Plan encourages pharmaceutical companies to adopt sustainable packaging solutions, providing incentives to reduce plastic waste and improve recycling rates [7, 8].

#### Corporate Responsibility and Sustainable Practices.

Novartis implemented sustainable packaging practices by using recyclable plastic for its products and promoting a reduction in packaging material use.

GSK focused on incorporating biodegradable materials in their packaging while ensuring the same level of safety and efficacy of their pharmaceutical products.

Pharmaceutical companies can also reduce their carbon footprint by optimizing manufacturing processes, reducing transportation emissions (through local sourcing of materials), and adopting energy-efficient technologies [8].

#### Challenges and barriers to implementation.

Cost vs. Sustainability. While eco-friendly materials are often more expensive than traditional packaging, the long-term environmental and financial benefits justify the initial investment.

Material availability. The adoption of sustainable materials like biodegradable plastics or edible packaging may be limited due to supply chain constraints and lack of widespread production.

Regulatory hurdles. Adhering to pharmaceutical regulations while ensuring sustainability in packaging can be challenging due to the need for packaging to meet stringent safety and quality standards.

Differences between pharmaceutical, food, and cosmetic industries are summarized in the Table.



Table

**Differentiate between pharmaceutical, food, and cosmetic industries**

| No. | Category                | Pharmaceutical industry [1, 3, 4]                                                                             | Food industry [9, 10]                                                                                              | Cosmetic industry [11]                                                                                                            |
|-----|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Plastic Waste           | Produce around 2.2 million tons of plastic packaging waste annually (mainly from blister packs & containers). | Contribute 8 million tons of plastic waste annually, largely from single use packaging like bottles & wrappers.    | Generate 1.7 million tons of plastic waste annually, mostly from bottles, tubes, & jars.                                          |
| 2   | Energy consumption      | Estimated 2.5 GJ/kg of plastic produced.                                                                      | 3.2 GJ/kg for plastic packaging production.                                                                        | 2.8 GJ/kg of plastic produced.                                                                                                    |
| 3   | Carbon Emissions        | Plastic: 4.5–6 tons CO <sub>2</sub> per ton of plastic produced.                                              | Plastic: 6–7 tons CO <sub>2</sub> per ton of plastic produced.                                                     | Plastic: 5.5–6.5 tons CO <sub>2</sub> per ton of plastic produced.                                                                |
| 4   | Sustainability Benefits | Biodegradable materials (PLA, PHA) reduce carbon emissions by approximately 50% compared to plastic.          | Replacing plastics with biodegradable or recyclable materials reduces emissions by 30–40% and conserves resources. | Using biodegradable and recyclable materials reduces emissions by approximately 40–50% compared to traditional plastic packaging. |

Software/tools for eco-friendly packaging development.

- SolidWorks & AutoCAD for designing efficient, sustainable packaging with less material waste.
- EcoDesign Tools help companies to design eco-friendly packaging, considering material choices, energy consumption, and environmental impact.
- SimaPro. A Life Cycle Assessment (LCA) software that helps to analyze the environmental impact of various packaging materials.
- Carbon Footprint Tracker. Software that allows companies to calculate the carbon footprint of their packaging process.
- Recycling & Waste Management Software. Tools like Waste Not or Recy Systems that help in managing packaging waste and improving recycling efforts.

The pharmaceutical industry plays a critical role in environmental sustainability through its packaging decisions. By adopting eco-friendly packaging solutions, pharmaceutical companies can significantly reduce their environmental impact, improve waste management, and enhance brand reputation. Pharmaceutical companies must continue to innovate in packaging design and production, collaborate with stakeholders, and integrate sustainable practices across the supply chain to meet environmental goals. Governments and industries should work together to create regulations and policies that foster the widespread adoption of eco-friendly packaging solutions.

## References

1. Features, functions and selection of pharmaceutical packing materials / A. Sabah, I. Ahmed, A. Arsalan, et al. // Int. J. Pharma. and Neutra. Res. 2014. Vol. 1. No. 1. P. 1–12.
2. Pharmaceutical packaging technology / Eds. D. A. Dean, E. R. Evans, I. H. Hall. London, New York : Taylor & Francis, 2000. 449 p.
3. Life cycle assessment of pharmaceutical packaging / F. Bassani, C. Rodrigues, P. Marques, et al. DOI: 10.1007/s11367-022-02062-9 // Int. J. Life Cycle Assess. 2022. Vol. 27. P. 978–992.
4. Life cycle assessment of pharmaceutical and clinical packaging required for medication administration practices / J. Baehr, L. Göllner-Völker, M. Baehr, et al. DOI: 10.1007/s11367-023-02270-x // Int. J. Life Cycle Assess. 2024. Vol. 29. P. 416–432.
5. Geyer R., Jambeck J. R., Law K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. DOI: 10.1126/sciadv.1700782 // Sci. Adv. 2022. Vol. 3. No. 7. Article No. e1700782.
6. Biopolymers for Biomedical and Pharmaceutical Applications: Recent Advances and Overview of Alginate Electrospinning / J. Wróblewska-Krepsztul, T. Rydzkowski, I. Michalska-Požoga, V. K. Thakur. DOI: 10.3390/nano9030404 // Nanomaterials. 2019. Vol. 9. No. 3. Article No. 404.
7. Defruyt S. Towards a new plastic economy // Field action science reports. 2019. Sp. No. 19. P. 78–81.
8. UNEP (2018). Single-use plastics: a roadmap for sustainability [Internet resource]. – URL: <https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability> (assessed: 01.03.2025)
9. Pal M., Devrani M., Hadush A. A recent developments in food packaging technologies // Beverage & Food World. 2019. Vol. 46. No. 1. P. 21–25.
10. Food packaging and sustainability – consumer perception vs. correlated scientific facts: A review / S. Otto, M. Strenger, A. Maier-Nöth, M. Schmid. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126733 // J. Clean. Prod. 2021. Vol. 298. Article No. 126733.
11. Green face of packaging – sustainability issues of the cosmetic industry packaging / J. Drobac, V. Alivojvodić, P. Maksić, M. Stamenovic. DOI: 10.1051/mateconf/202031801022 // MATEC Web Conf. 2020. Vol. 318. Article No. 01022.

## КОМБИНИРОВАННАЯ ЭКСТРАКЦИОННО- ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННОГО СЫРЬЯ

*И. С. Максимов, А. А. Беляев, В. А. Бродский*

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
г. Москва, Россия, vanyamaks@mail.ru*

В работе исследована экстракционно-электрохимическая технология извлечения редкоземельных элементов ( $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+/4+}$ ,  $\text{Pr}^{3+}$ ) из промышленного сырья. Установлено, что кислотное выщелачивание азотной кислотой позволяет перевести в раствор до 60 г/л  $\text{Ce}^{3+}$ , 35 г/л  $\text{La}^{3+}$  и 5 г/л  $\text{Pr}^{3+}$ . Показано, что для последующего разделения элементов наиболее эффективно комбинированное использование экстрагентов: Д2ЭГФК (ди-2-этилгексилфосфорная кислота) и ТБФ (трибутилфосфат). Полученные результаты представляют практический интерес для создания ресурсосберегающих технологий переработки редкоземельного сырья.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, экстракция, электрохимическое окисление, Д2ЭГФК, трибутилфосфат, разделение лантаноидов.

Редкоземельные металлы (РЗМ) имеют критическое значение для современных высокотехнологичных отраслей, включая электронику, возобновляемую энергетику, аэрокосмическую и оборонную промышленность. Однако их добыча и переработка связаны с рядом проблем, таких как истощение природных запасов, сложный состав руд и высокая себестоимость традиционных методов извлечения. Кроме того, существующие технологии часто оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду, что актуализирует поиск более эффективных и экологически безопасных способов получения РЗМ [1, 2].

Перспективным направлением является экстракционно-электрохимический метод, позволяющий выделять РЗМ из многокомпонентных кислотных растворов после выщелачивания. Данный подход сочетает жидкостную экстракцию и электрохимическое осаждение, что обеспечивает высокую степень извлечения целевых элементов и возможность их разделения [3–5].

Целью данной работы является оптимизация технологии извлечения РЗМ из смесей с использованием методов жидкостной экстракции и электролиза.

Предложена схема извлечения и разделения РЗМ из сырья, произведенного в соответствии с ТУ 1767-009-00545484-2000 на ОАО «Соликамский магниевый завод».

Сырье представляет собой порошок, состав которого был получен методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и представлен в таблице.

*Таблица*

**Состав сырья, содержащего редкоземельные металлы**

| Элементный состав, ат. % |        |        |       |       |       |       |
|--------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Ce                       | La     | Pr     | Cu    | Ca    | Sr    | S     |
| 59,251                   | 29,780 | 10,380 | 0,137 | 0,103 | 0,101 | 0,087 |

*Примечание:* Прибор EDX-7000; Атмосфера: Воздух; Коллиматор: 10 мм.

Первым этапом обработки является проведение кислотного выщелачивания. На данном этапе проведен выбор концентрации кислоты, а также времени проведения выщелачивания. Для проведения выщелачивания использовалось 10 г твердой фазы и 50 мл кислоты ( $\text{HNO}_3$ ), соотношение тв:ж = 1:5, температура выщелачивания 50 °С. Результаты проведения выщелачивания представлены на рисунке 1.

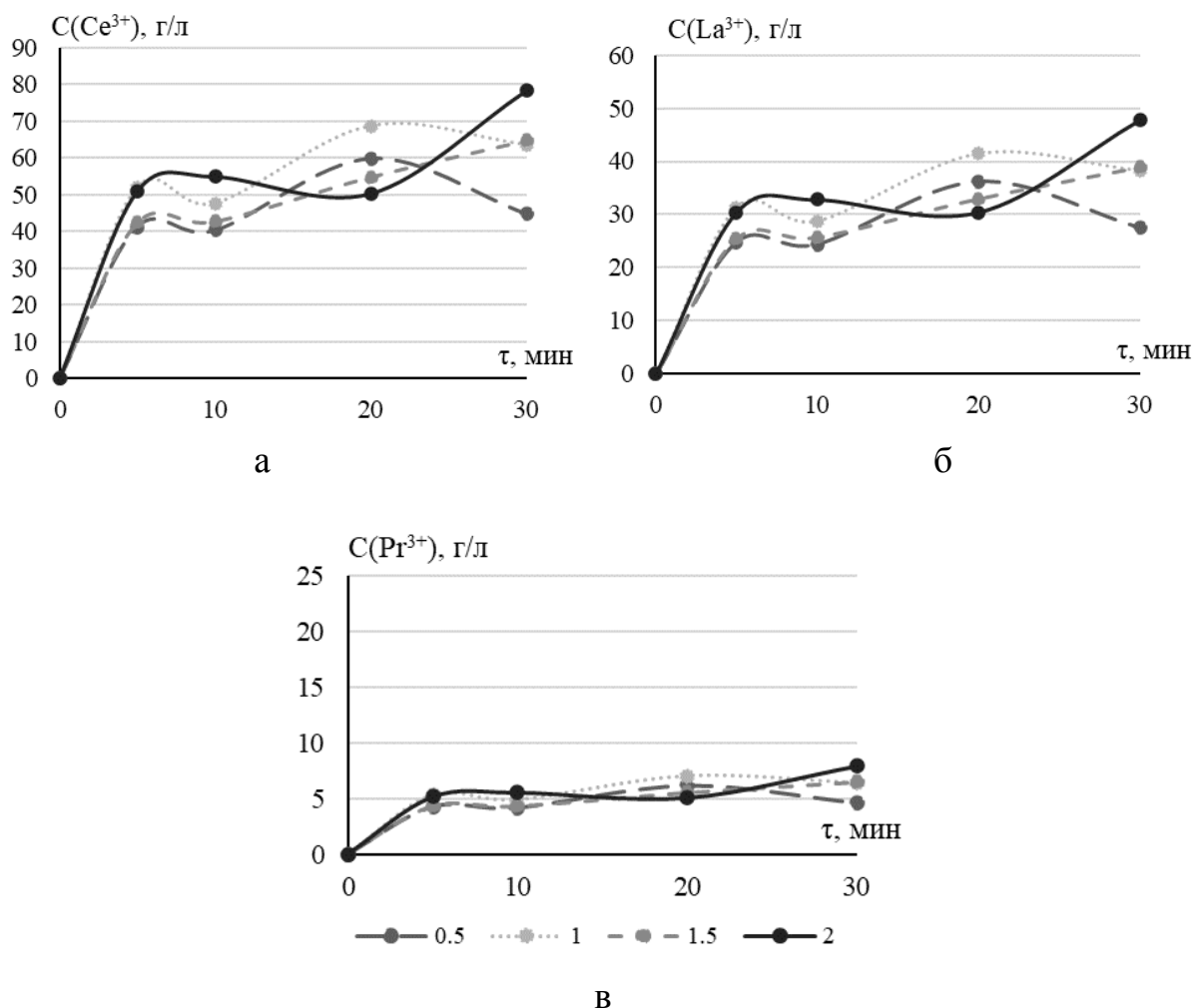


Рис. 1. Эффективность выщелачивания  $\text{Ce}^{3+}$  (а),  $\text{La}^{3+}$  (б),  $\text{Pr}^{3+}$  (в) в растворе азотной кислоты различных концентраций. Температура выщелачивания 50 °С

В результате, после выщелачивания образуется раствор, содержащий ионы  $\text{Ce}^{3+}$  в количестве, порядка 60 г/л,  $\text{La}^{3+}$  в количестве, порядка 35 г/л и  $\text{Pr}^{3+}$  в количестве, порядка 5 г/л. Для дальнейшей работы был выбран азотно-кислый раствор, концентрацией 1 моль/л.

Параллельно проведено изучение экстракционного поведения отдельных РЗМ из азотнокислых растворов. Эти исследования позволили определить оптимальные условия для работы с продукционными растворами. Результаты экстракционных испытаний представлены на рисунках 2 и 3.

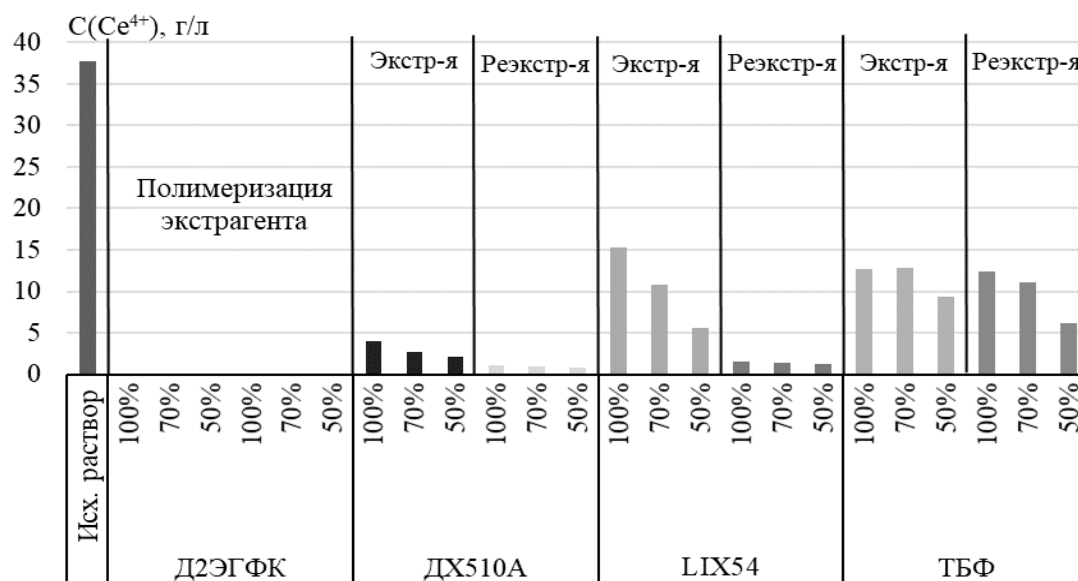


Рис. 2. Эффективность извлечения  $\text{Ce}^{4+}$  из модельного азотнокислого раствора при различных концентрациях экстрагента.  
Резкстрагент –  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (2М), время проведения – 20 мин

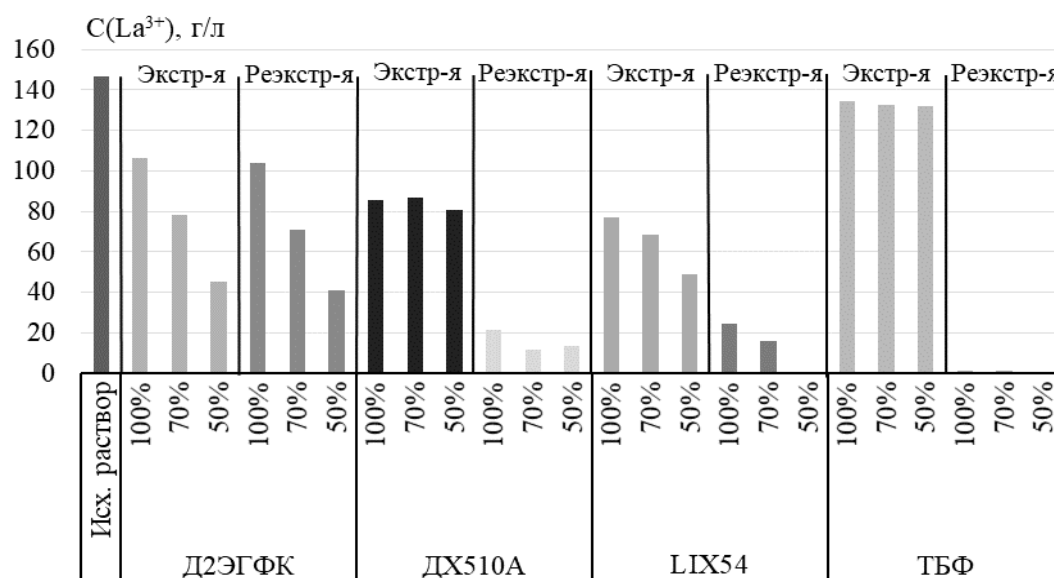


Рис. 3. Эффективность извлечения  $\text{La}^{3+}$  из модельного азотнокислого раствора при различных концентрациях экстрагента.  
Резкстрагент –  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (2М), время проведения – 20 мин

Анализ экспериментальных данных позволил установить следующие закономерности в экстракционном поведении редкоземельных элементов:

- для извлечения ионов лантана ( $\text{La}^{3+}$ ) наиболее эффективным оказался экстрагент Д2ЭГФК (ди-2-этилгексилфосфорная кислота), продемонстрировавший максимальные показатели извлечения.

- в случае церия оптимальные результаты были достигнуты при использовании трибутилфосфата (ТБФ), который эффективно экстрагирует ионы  $\text{Ce}^{4+}$ .

Полученные результаты согласуются с известными литературными данными о селективности данных экстрагентов по отношению к различным редкоземельным элементам. Особенно следует отметить выраженную специфичность ТБФ к четырехвалентной форме церия, что может быть использовано для его отделения от других РЗМ.

Предлагаемая последовательность извлечения РЗМ из сырья имеет следующие стадии:

- I. Кислотное выщелачивание;
- II. Окисление  $\text{Ce}^{3+}$  до  $\text{Ce}^{4+}$  в мембранном электролизере;
- III. Экстракция  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Pr}^{3+}$ ;
- IV. Электрохимическое выделение РЗМ.

#### Библиографический список

1. Массари С., Руберти М. Редкоземельные элементы как важнейшее сырье: акцент на международных рынках и будущих стратегиях // *Resources Policy*. 2013. Т. 38. № 1. С. 36–43.
2. Binnemans K., Jones P. T., Blanpain B. Recycling of Rare Earths: A Critical Review // *Journal of Cleaner Production*. 2013. Vol. 51. P. 1–22.
3. Химия и технология редких и рассеянных элементов / И. В. Шахно, З. Н. Шевцова, П. И. Федоров, С. С. Коровин. М.: Высшая школа, 1976. 360 с.
4. Биннеманс К., Джонс П. Т., Бланпейн Б. Переработка редкоземельных металлов: критический обзор // *Чистое производство*. 2013. Т. 51. С. 1–22.
5. Исследование процесса выщелачивания редких и редкоземельных металлов из черносланцевых руд Большого Каратау / О. С. Байгенженов, О. Б. Юлусов, А. Т. Хабиев и др. // *КИМС*. 2019. № 3. С. 76–80.

### ПРЯМОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕДИ ИЗ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

**Ф. Ф. Чаусов, Н. В. Ломова, Н. Н. Пастухова,  
М. А. Шумилова, И. С. Казанцева, И. К. Аверкиев**  
*ФГБУН «Удмуртский федеральный научный центр УрО РАН»,  
г. Ижевск, Россия, [chaus@udman.ru](mailto:chaus@udman.ru)*

В работе представлены результаты прямого восстановления меди из отработанного кислотного электролита меднения различными восстановителями. Описаны состав, дисперсность и морфология полученных медьсодержащих концентратов. Показано, что применение в качестве восстановителя формальдегида позволяет получить наноразмерные частицы металлической меди, пригодные для дальнейшего использования.

Ключевые слова: отходы гальванических производств, утилизация меди, восстановление, наночастицы металлической меди.

Извлечение цветных металлов из отходов электрохимических производств является актуальной задачей из-за значительного объема таких отхо-

дов, их высокой экологической опасности и высокой стоимости содержащихся в них цветных металлов [1, 2]. Ранее в литературе неоднократно рассматривались методы реагентного осаждения цветных металлов в виде труднорастворимых солей [3, 4], пригодных для последующей химической и металлургической переработки с получением востребованных продуктов.

Вместе с тем представляет интерес возможность переработки отходов гальванических производств с получением металлической меди или частично восстановленных медьсодержащих продуктов, пригодных для последующего использования в металлургической, химической, электронной и других отраслях промышленности. В настоящей работе описаны результаты восстановления меди из отработанного сернокислого электролита меднения такими восстановителями, как дитионит  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  и гипофосфит  $\text{NaPH}_2\text{O}_2$  натрия и щелочной раствор формальдегида  $\text{CH}_2\text{O}$ .

Полученные осадки подвергали исследованию методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) с микрозондовым анализом, рентгеновской дифрактометрии, инфракрасной (ИК) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и синхронного термического анализа (СТА).

Микрофотографии осадков, полученных при действии  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NaPH}_2\text{O}_2$  и  $\text{CH}_2\text{O}$  на отработанный электролит, показаны на рисунке 1. Можно сделать вывод, что продукты реакций с  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  и  $\text{NaPH}_2\text{O}_2$  представлены, как минимум, двумя основными фазами, а продукт реакции с  $\text{CH}_2\text{O}$  практически однофазный.

На рисунке 2 представлены ИК-спектры осадков, полученных при действии  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NaPH}_2\text{O}_2$  и  $\text{CH}_2\text{O}$  на отработанный электролит. В спектре осадка, полученного при осаждении  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ , наблюдаются полосы поглощения куприта  $\text{Cu}_2\text{O}$  ( $650, 872, 1170 \text{ см}^{-1}$ ) и познякита  $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ( $740, 790, 1630 \text{ см}^{-1}$ ).

В спектре осадка, полученного при воздействии на электролит  $\text{NaPH}_2\text{O}_2$ , наблюдаются полосы поглощения  $\text{Cu}_2\text{O}$ . В спектре продукта, осаждённого при восстановлении формалином, наблюдаются слабые полосы поглощения  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

На рисунке 3 показаны рентгеновские дифрактограммы осадков, полученных при действии  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NaPH}_2\text{O}_2$  и  $\text{CH}_2\text{O}$  на отработанный электролит. Видно, что при восстановлении электролита дитионитом натрия в осадке обнаруживаются кристаллические фазы познякита  $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и куприта  $\text{Cu}_2\text{O}$ . При использовании в качестве осадителя гипофосфита натрия осадок содержит куприт и металлическую медь в близких количествах. При действии формальдегида на отработанный электролит образуется практически чистый осадок металлической меди с небольшой примесью куприта.

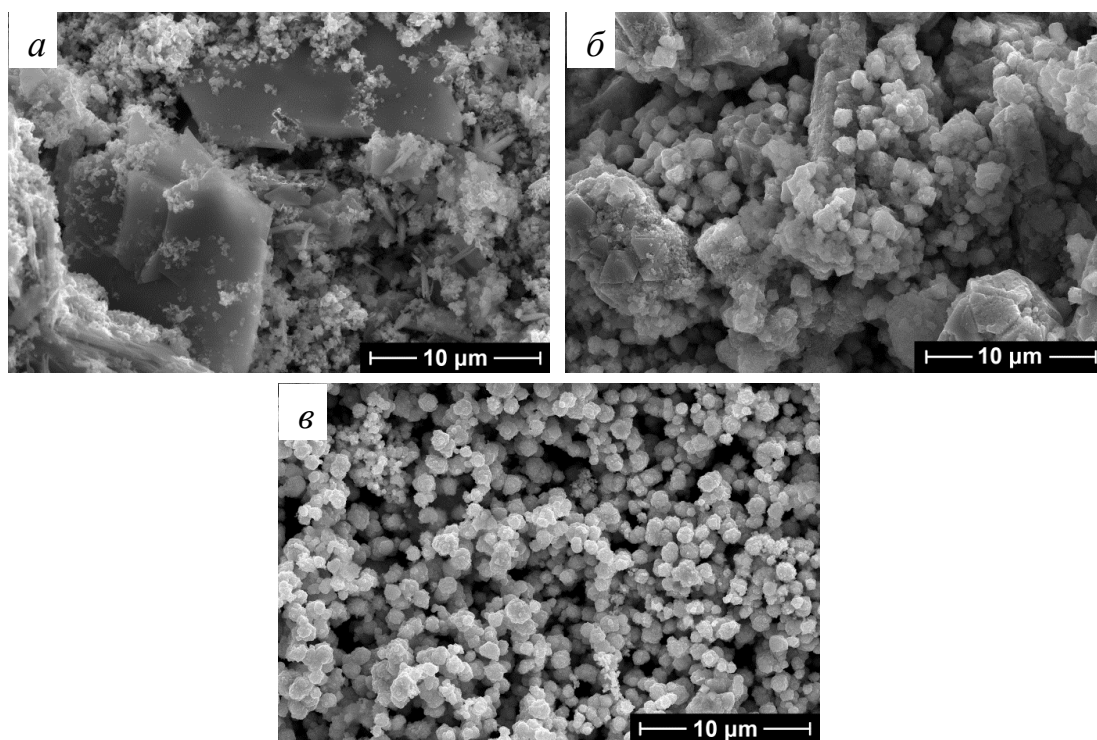


Рис. 1. Микрофотографии осадков, полученных при восстановлении отработанного электролита меднения  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  (а),  $\text{NaPH}_2\text{O}_2$  (б) и  $\text{CH}_2\text{O}$  (в)

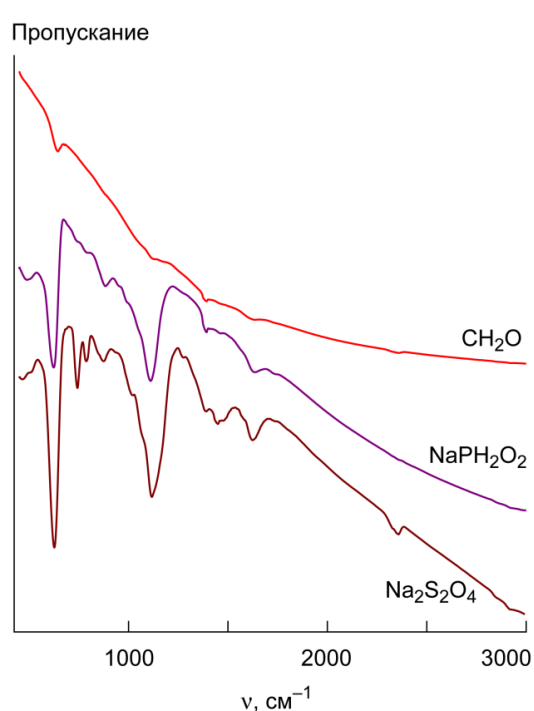


Рис. 2. ИК-спектры осадков, полученных при восстановлении отработанного электролита меднения  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NaPH}_2\text{O}_2$  и  $\text{CH}_2\text{O}$

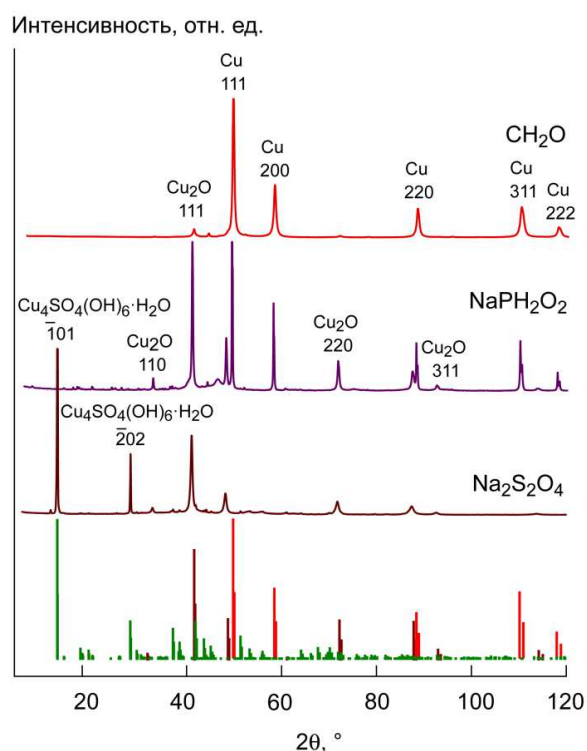


Рис. 3. Рентгеновские дифрактограммы осадков, полученных при восстановлении отработанного электролита меднения  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NaPH}_2\text{O}_2$  и  $\text{CH}_2\text{O}$

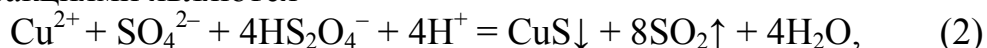


Анализ осадков методами СТА и РФЭС подтвердили сделанные выводы о составе и структуре осадков, а также позволили обнаружить в осадках, полученных при восстановлении электролита  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  и  $\text{NaPH}_2\text{O}_2$ , примеси сульфидов с различным составом, фосфитов и фосфатов.

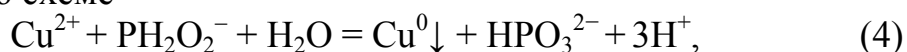
Можно сделать вывод, что при обработке отработанного электролита дитионитом натрия восстановление меди происходит, главным образом, следующим путём:



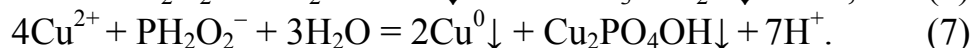
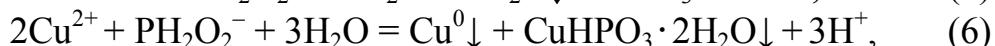
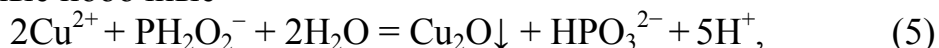
а побочными реакциями являются



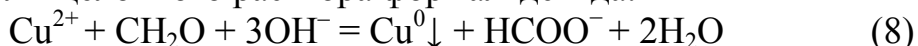
При использовании в качестве восстановителя гипофосфита натрия основная реакция протекает по схеме



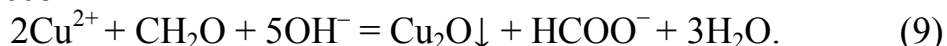
а наиболее вероятные побочные –



Наиболее полное восстановление меди происходит при использовании в качестве восстановителя щелочного раствора формальдегида:



с побочным процессом



Концентрация ионов меди в исходном отработанном электролите и в фильтрате, полученном после обработки электролита различными восстановителями, приведена в таблице.

Таблица

**Концентрация  $\text{Cu}^{2+}$  в отработанном электролите до и после обработки восстановителями, г/дм<sup>3</sup>**

| Образец                                                      | Содержание $\text{Cu}^{2+}$ | Полнота осаждения меди, % |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Исходный отработанный электролит                             | 59,5±0,1                    | —                         |
| Электролит после обработки $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ | 0,48±0,01                   | 99,2                      |
| Электролит после обработки $\text{NaPH}_2\text{O}_2$         | 0,21±0,01                   | 99,6                      |
| Электролит после обработки $\text{CH}_2\text{O}$             | 0,05±0,01                   | 99,9                      |

*Примечание:* прочерк означает, что понятие «полнота осаждения» к этому образцу неприменимо.

Таким образом, все рассмотренные восстановители могут быть использованы для извлечения меди из отработанного сернокислотного электролита меднения.

Однако осадки, получаемые при обработке отработанного электролита дитионитом и гипофосфитом натрия, содержат не полностью восстановленные соединения меди, что затрудняет их дальнейшее использование. Кроме того, эти реагенты являются достаточно дорогостоящими.

Наиболее эффективное извлечение меди из отработанного электролита достигается при его обработке щелочным раствором формальдегида, который является достаточно дешёвым и доступным реагентом. Чистота металлической меди в полученном мелкокристаллическом осадке составляет не менее 95%, что достаточно для использования полученного порошка в составе электропроводных и экранирующих покрытий для защиты от электромагнитного излучения и других целей.

#### **Библиографический список**

1. Румянцева Е. И., Румянцева А. В. Экологические аспекты модернизации гальванических производств: проблемы и решение // Система управления экологической безопасностью : сб. трудов XII заочной междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург : УрФУ, 2018. С. 107–112.
2. Зингер Е. Ю., Нор П. Е. Воздействие гальванопроизводства на окружающую среду // Экологические проблемы региона и пути их разрешения : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. Омск : ОмГТУ, 2021. С. 96–98.
3. Исследование возможности регенерационной утилизации отработанных электролитов меднения / М. А. Шумилова, Ф. Ф. Чаусов, Д. К. Жиров и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-4-049-055 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 4. С. 49–55.
4. Физико-химические закономерности осаждения гидроксосоединений меди из отработанных кислых электролитов меднения / Н. Н. Пастухова, М. А. Шумилова, Ф. Ф. Чаусов и др. DOI: 10.62669/17270227.2024.4.48 // Химическая физика и мезоскопия. 2024. Т. 26. № 4. С. 557–566.

### **СОЛИ ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ КАК РЕАГЕНТЫ-ОСАДИТЕЛИ МЕДИ ИЗ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ**

**Ф. Ф. Чаусов, М. А. Шумилова**

*ФГБУН «Удмуртский федеральный научный центр УрО РАН»,  
г. Ижевск, Россия, [chaus@udman.ru](mailto:chaus@udman.ru)*

В работе представлены результаты лабораторного исследования по извлечению ионов меди из отработанного электролита меднения с применением в качестве реагентов-осадителей солей щавелевой и винной кислот для получения новых продуктов. Определены оптимальные условия реакции; методом ИК-спектроскопии изучен состав получаемых осадков.

Ключевые слова: отработанный раствор меднения, щавелевокислый натрий, калий-натрий виннокислый, ИК-спектроскопия, оксалат меди(II), тартрат меди(II).

Отработанные электролиты гальванического производства, будучи высококонцентрированными растворами, представляют значительную угрозу для окружающей среды при их несанкционированном сливе [1]. Одновременно с этим они являются вторичными источниками получения многих цветных металлов, высокая стоимость и дефицитность которых делают задачу утилиза-

ции отработанных электролитов из отходов производства чрезвычайно актуальной [2]. Одним из современных методов решения данной проблемы является разработка и внедрение высокоэффективной и малоотходной (без образования шламов) технологии регенерационной утилизации гальванических стоков.

Цель представленной работы заключалась в изучении физико-химических закономерностей образования оксалатов и тартратов меди(II) при осаждении отработанного кислого электролита меднения солями дикарбоновых кислот с получением легко отделяемых осадков, которые могут быть легко и полно переработаны в востребованные продукты.

Оксалат- и тартрат-ионы были исследованы в качестве реагентов-осадителей, поскольку оксалат и тартрат меди плохо растворяются в воде и хорошо отделяются от жидкой фазы фильтрованием. Выделяемые оксалат и тартрат меди могут быть использованы в качестве катализатора органических реакций, для стабилизации ацетилизированного полиформальдегида, для получения высокотемпературных сверхпроводников, как голубой пигмент, для улучшения физико-химических характеристик полимеров, а также в медицине при изготовлении биологических сенсоров, как новый анодный материал для литий-ионных аккумуляторов, в качестве фунгицидов и медных микроудобрений в сельском хозяйстве, лекарственных средств в ветеринарии, для антибактериальной обработки воды и др. [3–5].

Объектом исследования был отработанный раствор кислого меднения (ОРМ), в состав рабочего раствора которого входили медный купорос (120–240 г/дм<sup>3</sup>) и серная кислота (50–100 г/дм<sup>3</sup>).

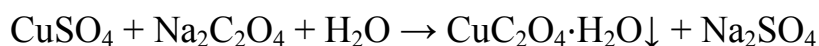
Концентрацию ионов меди в виде аммиакатов в надосадочной жидкости определяли спектрофотометрически на КФК-3 (ЗОМЗ, Сергиев Посад, Россия) [6]. Степень извлечения (СИ) ионов металла рассчитывали по формуле:

$$СИ = \frac{C_{нач} - C_{ост}}{C_{нач}} \cdot 100\%$$

где  $C_{нач}$  и  $C_{ост}$  – начальная и остаточная концентрации меди (II) в пробе, г/дм<sup>3</sup>. Полученные концентрации являются средними величинами для трёх аналитических повторностей, значение относительного стандартного отклонения находится в пределах 4,5%.

ИК-Фурье спектры образцов были сняты на ИК – спектрометре с Фурье – преобразованием ФСМ 1202 (ООО «Инфраспек», Россия) в виде кривых пропускания в области 400–4000 см<sup>-1</sup> относительно воздуха с применением таблеток KBr.

Синтез оксалата натрия проводили сливанием растворов 100 мл ОРМ, в котором концентрация меди равнялась 0,0069 М, и 415 мл 0,0025 М оксалата натрия, которое обеспечивало в реакционном сосуде молярное соотношение оксалат:медь(II)  $\approx 1,5:1,0$ , при интенсивном перемешивании магнитной мешалкой. Протекающую реакцию можно представить в виде следующего химического уравнения:



В осадок выпадали зеленовато-голубые кристаллы через 5–10 мин после сливания растворов, систему оставляли для «старения» на сутки. Осадок отфильтровывали через фильтр марки «синяя лента» и промывали дистиллированной водой до отрицательной реакции на сульфат-ионы (проба с хлоридом бария), затем сушили при комнатной температуре.

Для наиболее полного осаждения меди из отработанного электролита было исследовано влияние pH, результаты которого представлены в таблице.

Таблица

**Степень извлечения меди из ОРМ в зависимости от pH**

| Реагент               | Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>   |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| pH                    | 1,0                                             | 1,5   | 2,0   | 2,5   | 3,2   | 4,2   | 4,9   |
| Степень извлечения, % | 75,58                                           | 76,37 | 76,85 | 80,94 | 85,01 | 80,94 | 61,84 |
| Реагент               | NaKC <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> |       |       |       |       |       |       |
| pH                    | 2,0                                             | 3,0   | 3,5   | 4,0   | 4,5   | 5,0   |       |
| Степень извлечения, % | 71,29                                           | 94,60 | 98,72 | 98,11 | 97,53 | 94,66 |       |

Как следует из экспериментальных данных, при pH < 2,0 выход оксалата меди(II) снижается из-за повышения его растворимости [5], а при pH > 5 в осадок начинают выпадать гидросульфаты меди. Таким образом, оптимальной величиной pH осаждения оксалата меди следует считать область в 3,0±0,2 единицы. При сливании 100 мл ОРМ (0,69 М Cu<sup>2+</sup>) и 150 мл 0,7 М раствора калий-натрий виннокислого при непрерывном перемешивании в течение 30–40 с образуется голубовато-зеленый мелкодисперсный осадок тартрата меди. Процесс описывается уравнением реакции:



Реакционную смесь оставляли на сутки для «старения», после чего тартрат переносили на фильтр «синяя лента» и промывали дистиллированной водой до отрицательной реакции на сульфат-ионы. Выделенный осадок сушили при комнатной температуре.

Экспериментальным путем было установлено, что при соотношении реагентов 1,0:1,0 в соответствии с химическим уравнением тартрат меди не образуется, поэтому для наиболее полного извлечения меди из отработанного электролита использовалось мольное соотношение тартрат:медь(II) ≈ 1,5:1,0, при котором образуется хорошо фильтрующийся осадок.

Также было изучено влияние pH реакционной смеси на степень извлечения меди из ОРМ, результаты которого представлены в таблице.

Как следует из проведенного эксперимента, оптимальная величина pH образования соли находится в диапазоне 3,7–4,1 единиц pH, при которой степень извлечения меди превышает 98%.

Полученный осадок оксалата меди был исследован методом ИК-спектроскопии (рис. 1); отнесение полос осуществляли согласно данным [7–9]: 504 ν(Cu–O), 821 δ(O–C=O), 1610–1660 ν(C=O), 3395–3440 (H<sub>2</sub>O) см<sup>–1</sup>. ИК-спектр полученного тартрата меди(II) (рис. 2) хорошо согласуется с имеющимися литературными данными [7, 8, 10]: 486 ν(Cu–O), 641, 743 δ(OH),

822  $\delta(\text{O}=\text{C}=\text{O})$ , 1073  $\delta(\text{C}-\text{O})$ , 1105  $\delta(\text{O}-\text{H})$ , 1324–1365  $\nu(\text{C}-\text{O})$ , 1608  $\nu(\text{C}=\text{O})$ , 2974  $\nu(\text{OH})$ , 3405 ( $\text{H}_2\text{O}$ )  $\text{cm}^{-1}$ .

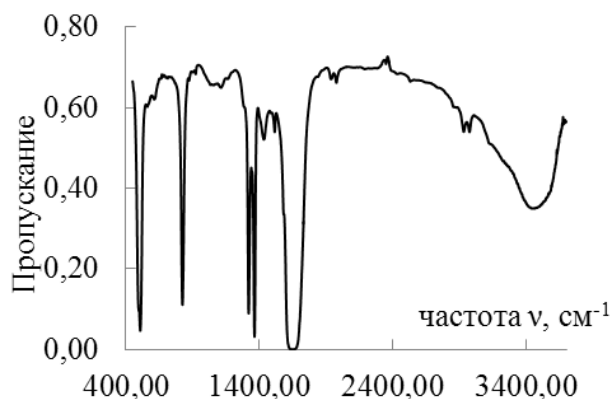


Рис. 1. ИК-спектр оксалата меди

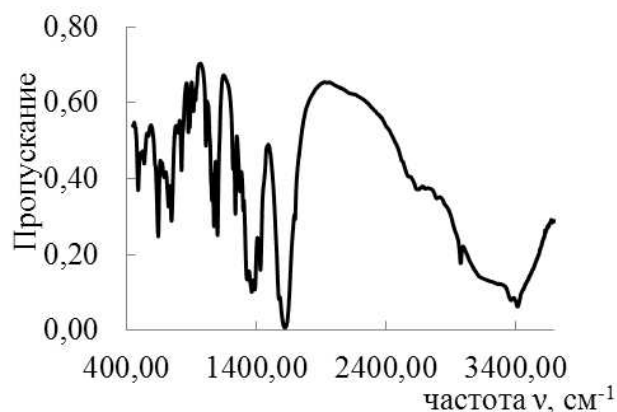


Рис. 2. ИК-спектр тартрата меди

На основе проведенных экспериментальных исследований установлено, что осаждение ионов меди из ОРМ щавелевокислым натрием и калий-натрий виннокислым позволяет выделять металл из отработанного электролита в виде новых востребованных продуктов, без образования гальваношлама. Оптимальным мольным соотношением медь:реагент является 1:1,5. Осаждение меди(II) раствором оксалата натрия следует проводить при  $\text{pH} \approx 3,0$ , степень извлечения металла составляет около 85% и в осадок выпадает оксалат меди(II). При осаждении ионов меди раствором тартрата калия-натрия в осадок выпадает тартрат меди(II), при этом необходимо придерживаться  $\text{pH}$  в диапазоне 3,7–4,1, тогда степень извлечения превышает 98%.

#### Библиографический список

1. Модернизация электрохимических производств с целью снижения экологической опасности / В. А. Казаков, О. С. Виноградов, Н. А. Виноградова, Б. Л. Таранцева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. Т. 21. № 5. С. 195–198.
2. Техногенные отходы I–II классов опасности – ресурс для получения вторичных продуктов / А. Г. Мажуга, В. А. Колесников, Д. А. Сахаров, М. В. Корольков. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-061-067 // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 34–42.
3. Применение метода электрохимического синтеза для получения пористых микрочастиц оксида меди(II) с морфологией прямоугольных шестигранников / Е. О. Андрийченко, В. И. Зеленов, В. Е. Бовыка, Н. Н. Буков. DOI: 10.31857/S0044460X2104020X // Журнал общей химии. 2021. Т. 91. № 4. С. 638–642.
4. Пат. 2 234 494. РФ, МПК C07C 55/07, 51/41 (2002.11) Способ получения оксалата меди (II) : № 2002132172/04 : заявл. 28.11.2002 : опубл. 20.08.2004 / Афонин Е. Г., Львовский В. М. 7 с.
5. Пат. 2 256 648. РФ, МПК C07C 51/41, 55/02 Способ получения меди(II) с дикарбоновыми кислотами : № 2004105920/04 : заявл. 27.02.2004 : опубл. 20.07.2005 / Афонин Е. Г. 11 с.

6. Кусенков А. Н., Макаренко Т. В. Лабораторный практикум по аналитическим методам в экологии. Для студентов специальности Н.06.01 «Экология». Гомель : Гомельский государственный университет, 2000. 90 с.
7. Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М. : МГУ, 2012. 55 с.
8. Казицына Л. А., Куплетская Н. Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии : учеб. пособие для вузов. М. : Высш. школа, 1971. 264 с.
9. Synthesis and characterization of copper oxalate and copper oxide nanoparticles by statistically optimized controlled precipitation and calcinations of precursor / M. Rahimi-Nasrabadi, S. M. Pourmortazavi, A. A. Davoudi-Dehaghani, et al. DOI: 10.1039/c3ce26930b // CrystEngComm. 2013. Vol. 15. No. 20. P. 4077–4086.
10. Binitha M. P., Pradyumnan P. P. Thermal degradation, dielectric and magnetic studies on copper tartrate trihydrate crystals. DOI: 10.1007/s10973-013-2998-2 // J. Therm. Anal. Calorim. 2013. Vol. 114. No. 2. P. 665–669.

## **АВТОКЛАВНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ БОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

***С. Б. Ярусова<sup>1,2</sup>, П. С. Гордиенко<sup>1</sup>, Э. Н. Андрющенко<sup>2</sup>,  
Д. Х. Шлык<sup>1</sup>, Ю. В. Сушков<sup>1</sup>, А. В. Замараева<sup>3</sup>***

<sup>1</sup> *Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия, yarusova\_10@mail.ru,*

<sup>2</sup> *Владивостокский государственный университет,  
г. Владивосток, Россия, yarusova\_10@mail.ru,*

<sup>3</sup> *Дальневосточный геологический институт ДВО РАН,  
г. Владивосток, Россия, iyf.x0.00@gmail.com*

В статье проведено исследование процесса и продуктов гидротермальной переработки отходов борного производства (борогипса) при температуре 120 °С и временных интервалах 1–24 ч. Приведены данные по фазовому составу и термическому поведению продуктов автоклавной щелочной обработки отходов. Определена плотность полученных материалов и проанализированы ИК спектры.

Ключевые слова: отходы борного производства, автоклавная переработка, фазовый состав, термическое поведение, плотность.

Отходы производства борной кислоты (борогипс) являются перспективным сырьевым материалом для получения силикатов кальция  $n\text{CaO} \cdot m\text{SiO}_2$  [1, 2]. Изучение процесса щелочной обработки борогипса в гидротермальных условиях остается актуальным, поскольку детально данный процесс в интервале температур 120–220 °С не исследован. В данной работе приведены результаты исследований фазового состава и термического поведения продуктов автоклавной щелочной обработки отходов при температуре 120 °С и временных интервалах 1–24 ч. Определена плотность полученных материалов и проанализированы ИК спектры.

Автоклавную обработку борогипса раствором гидроксида калия проводили в лабораторном автоклаве при соотношении твердой и жидкой фаз 1:5, температуре 120 °С в течение 1–24 ч. Степень прохождения реакции контролировали по остаточной концентрации гидроксида калия в растворе.

Фазовый состав осадков изучали с помощью рентгеновского дифрактометра Rigaku MiniFlex II (Rigaku, Япония) с использованием  $\text{Cu-K}\alpha$ -излучения, генерируемого при 30 кВ и 15 мА, с использованием монохроматора на дифрагированном пучке и непрерывной скоростью сканирования 1° 2 $\Theta$  /мин (1 с/0,02 ° 2  $\Theta$ ).

Плотность образца определяли с помощью пикнометра.

Термическое поведение осадков изучали на дериватографе Q-1500 D системы Ф. Паулик, П. Паулик, Л. Эрдеи фирмы «МОМ» (Венгрия) (точность определения температуры  $\pm 5$  °С).

ИК-спектры поглощения образцов регистрировали в области 400–4000  $\text{см}^{-1}$  в вазелиновом масле с использованием Фурье-спектрометра Shimadzu FTIR Prestige-21 (Япония) при комнатной температуре.

Установлено, что в результате автоклавной обработки реакционной смеси при указанных режимах степень превращения  $\text{KOH } \alpha_t$  достигает 87,0%. При этом продолжительность автоклавной обработки не влияет существенным образом на  $\alpha_t$ .

Фазовый состав продуктов автоклавного синтеза в течение 24 ч (рис. 1) характеризуется наличием кристаллической фазы тоберморита  $\text{Ca}_{2,25}\text{Si}_3\text{O}_{7,5}(\text{OH})_{1,5} \cdot \text{H}_2\text{O}$  (PDF-2, 01-083-1520) и фазы кальцита  $\text{CaCO}_3$ . После обжига осадка при 1000°С фазовый состав характеризуется наличием кристаллической фазы волластонита  $\text{CaSiO}_3$  триклинной модификации (PDF-2, 01-076-0186). Плотность исходного образца – 2,22  $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$ , после обжига – 2,97  $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$ .

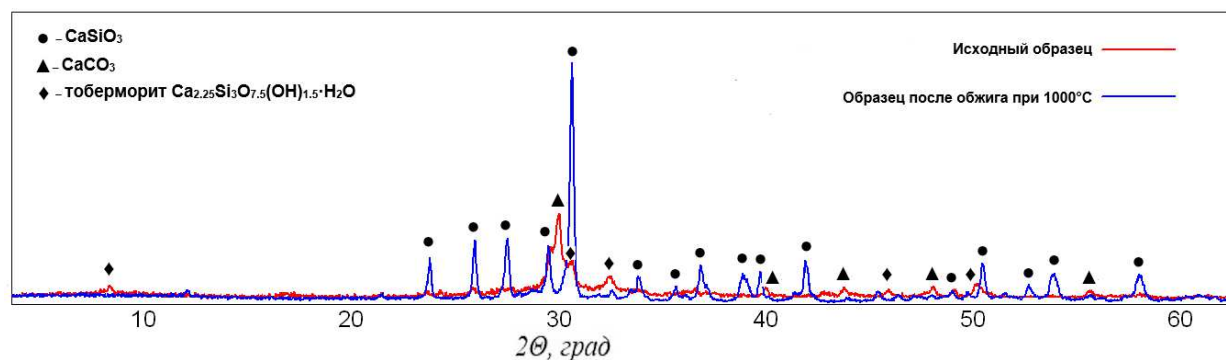


Рис. 1. Дифрактограммы осадков-продуктов автоклавной обработки борогипса в течение 24 ч до и после обжига при 1000 °С в течение 2 ч

На рисунке 2 приведена термограмма продукта щелочной обработки борогипса после 24 ч.

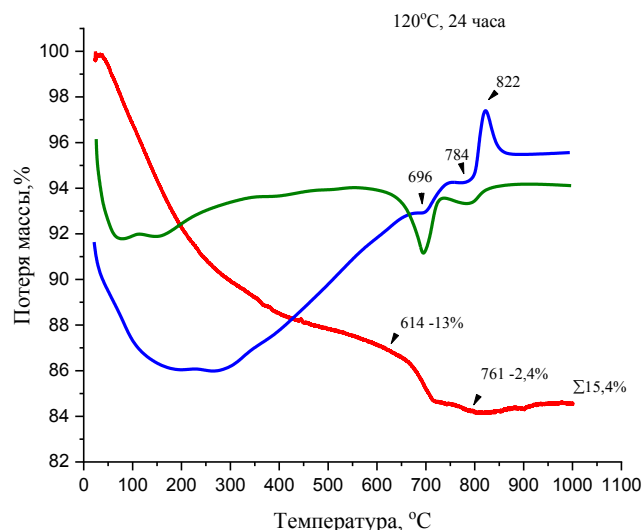


Рис. 2. Термограмма продукта автоклавной обработки борогипса в течение 24 ч

Термогравиметрический анализ показал, что синтезированный продукт содержит до 15,4% воды, выделяющейся в интервале температур от 20 до 700 °С. При температуре 822 °С на термограмме зарегистрирован экзоэффект, который относится к переходу тоберморита в кристаллическую фазу волластонита, что было подтверждено данными рентгенофазового анализа осадков после обжига при 1000 °С. Эндотермический эффект при 696 °С можно отнести к началу разложения карбоната кальция, поскольку на термограмме карбоната кальция марки «х.ч.» регистрируется эндотермический эффект в интервале температур 700–900 °С.

Данные ИК спектроскопического анализа образца, синтезированного при температуре 120 °С в течение 24 ч, как до обжига, так и после обжига при 1000 °С, представлены на рисунке 3.

Из приведенных ИК спектров видно, что продукты реакции характеризуются интенсивной полосой поглощения в области 850–1100 см<sup>-1</sup>, связанной с асимметричными колебаниями мостиковых связей Si–O–Si, а также с асимметричными и симметричными колебаниями концевых связей Si–O. При увеличении температуры обжига до 1000 °С наблюдается переход тоберморита в кристаллическую фазу волластонита. Группа полос в области 550–750 см<sup>-1</sup> отнесена к симметричным колебаниям мостиковых связей Si–O–Si в [SiO<sub>4</sub>]-тетраэдрах. Полосы поглощения в низкочастотной области 400–550 см<sup>-1</sup> связаны с деформационными колебаниями концевых связей O–Si–O и колебаниями связей кальция с кислородом в [CaO<sub>6</sub>]-октаэдрах. Полосы поглощения в области 1600 и 3400 см<sup>-1</sup> в образце до обжига (рис. 3, 1) обусловлены деформационными и валентными колебаниями кристаллизационной воды [3, 4].



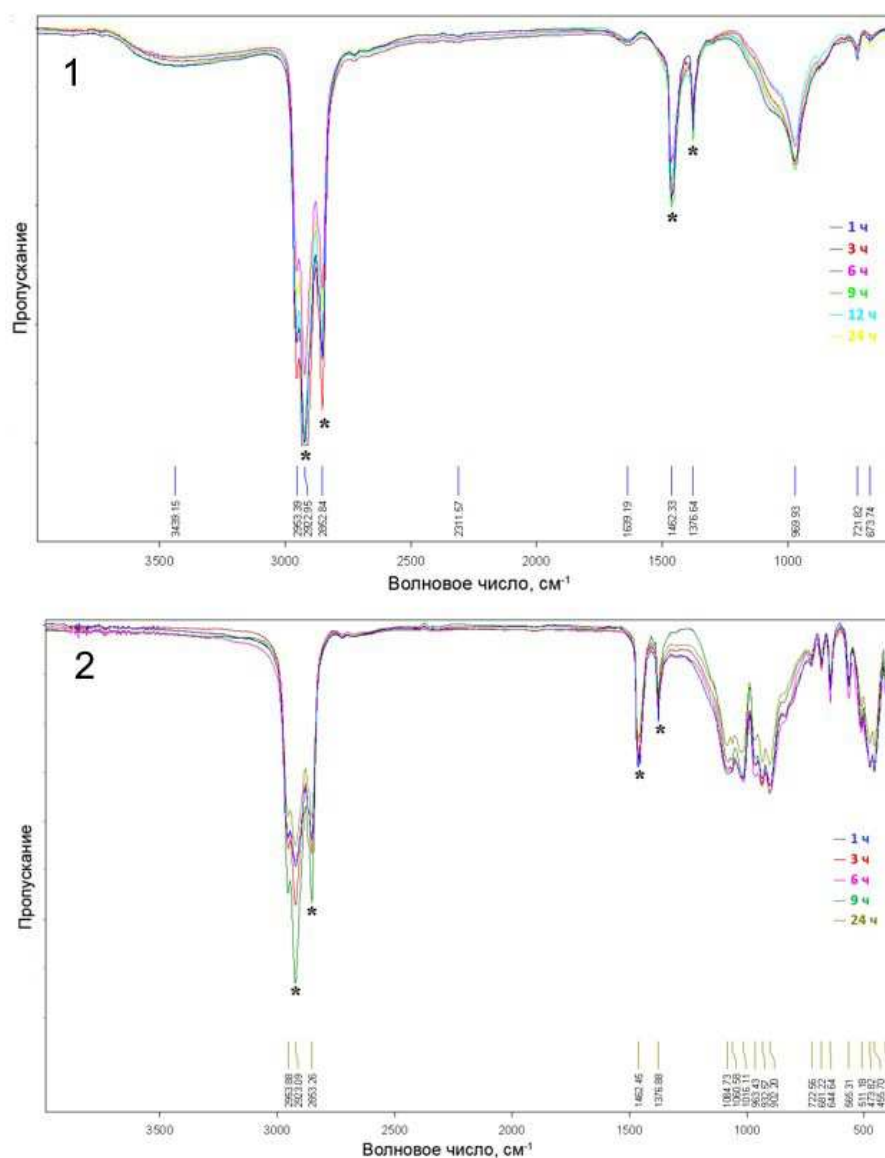


Рис. 3. ИК спектры образца, синтезированного при 120 °С в течение 24 ч: 1 – исходный продукт синтеза; 2 – продукт синтеза после обжига при 1000 °С в течение 1 ч; \* – пики вазелина

Продолжаются исследования по установлению влияния температуры автоклавной обработки на кинетику формирования, состав, морфологию и термическое поведение продуктов синтеза.

*Работа выполнена в рамках гос. задания Института химии ДВО РАН FWFN(0205)-2022-0002. Исследования проведены с использованием оборудования ЦКП Дальневосточный центр структурных исследований ИХ ДВО РАН и на оборудовании ЦКП Приморский центр локального, элементного и изотопного анализа ДВГИ ДВО РАН.*

#### Библиографический список

1. Функциональные керамические и композитные материалы практического назначения: синтез, свойства, применение : монография. DOI: <https://doi.org/10.12466/0677-0-2022>

/ под науч. ред. акад. РАН В. И. Сергиенко; отв. ред.: Е. К. Папынов, С. Б. Ярусова. Владивосток : Изд-во ВВГУ, 2022. 240 с.

2. Пат. 2595682. РФ, МПК C01B 33/24; C30B 7/10; C30B 29/34; C30B 29/62; B82B 3/00; B82Y 40/00. Способ получения волластонита № 2015141614/05; заявл. 30.09.2015 ; опубл. 27.08.16, Бюл. № 24. / Гордиенко П. С., Ярусова С. Б., Козин А. В., Степанова В. А., Шабалин И. А., Жевтун И. Г.

3. Majdinasab A., Yuan Q. Synthesis of Al-substituted 11Å tobermorite using waste glass cullet: A study on the microstructure. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2020.123069 // Materials Chemistry and Physics. 2020. Vol. 250. Article No. 123069.

4. Structure and *in vitro* bioactivity of synthetic wollastonite derived from waste materials / A. Fares, S. Zouai, H. Moualkia, et al. DOI: 10.1016/j.ceramint.2025.02.349 // Ceram. Int. 2025. In Press.

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ В РЕЦЕПТУРЕ КОМПАУНДА НА ОСНОВЕ СТИРОЛЬНОГО ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА**

**С. А. Чулков<sup>1</sup>, Е. С. Широкова<sup>1</sup>, Е. А. Земцова<sup>1</sup>, А. Н. Торонов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,*

<sup>2</sup> *ООО «7219», г. Кирово-Чепецк, Россия, stud161307@vyatsu.ru*

В статье рассмотрена возможность использования отработанных масел в рецептуре компаунда на основе стирольного термоэластопласта. Описаны типы замедлителей подвулканизации (антискорчингов), имеющие наибольшую эффективность, и определены технологические свойства полученных композиций.

Ключевые слова: отработанные масла, полимерный компаунд, вторичные материальные ресурсы, замедлители подвулканизации.

В настоящее время загрязнение окружающей среды отработанными маслами является серьёзной экологической проблемой, связанной с неправильной утилизацией или неосторожным обращением с маслами, используемыми в промышленности, транспорте и сельском хозяйстве. Между тем, отработанные масла обладают значительной ценностью как вторичный ресурс, поскольку, несмотря на утрату первоначальных характеристик, их можно переработать и повторно использовать. Это не только снижает негативное воздействие на окружающую среду, но и приносит экономическую выгоду. Также повторное использование отработанных масел помогает уменьшить экологическую нагрузку за счёт снижения потребности в производстве нового масла.

Актуальной задачей является внедрение вторичных отработанных масел в производственные циклы компаундов на основе стирольных термоэластопластов (ТЭП), т.к. технология получения данного материала предполагает использование большого количества масел, а сами компаунды предполагают возможность многократной переработки без потери первоначальных свойств.

Компаунды на основе стирольных ТЭП – это многокомпонентные композиции на основе стирольных ТЭП, полиолефина, наполнителя и масел-пластификаторов. Стирольные термоэластопласты включают в себя материалы на основе стирольных блок-сополимеров, таких как SBS (стирол-бутадиен-стирол), SEBS (стирол-этилен-бутадиен-стирол), SIS (стирол-изопрен-стирол) и их производные. Эти материалы обладают свойствами как резины (эластичность), так и термопластов (возможность переработки при нагревании).

При производстве стандартных рецептур стирольных ТЭП компаундов в качестве мягчителя и пластификатора в основном используется базовое масло с низким содержанием серы (менее 0,01%). Это связано с тем, что, элементарная сера, содержащаяся в масле, вступает в реакцию вулканизации с молекулами SBS каучука, то есть происходит сшивание макромолекул каучука сульфидными мостиками. Существуют исследования, подтверждающие протекание химического взаимодействия серы с функциональными группами SBS каучука по двойной связи. Отмечено, что наиболее ярко данные эффекты проявляются при содержании серы 1 мас. ч. на 100 мас. ч. термоэластопласта [1].

Точные значения содержания серы в отработанных маслах могут варьироваться в зависимости от региона, типа топлива и условий эксплуатации, но ряд источников, таких как экологические агентства и исследования в области регенерации отработанных масел, указывают на диапазон содержания серы от 0,2% до 1,0%. В дизельных двигателях, использующих топливо с высоким содержанием серы, этот показатель может быть ближе к верхней границе. Основным источником серы в отработанном масле является использование масел, произведенных на основе минерального сырья, а также серосодержащие присадки, добавляемые для улучшения характеристик масел [2].

Поэтому в стандартных рецептурах ТЭП компаундов отработанное масло не может использоваться в исходном виде, т. к., из-за наличия в его составе серы, может вызывать подвулканизацию. В результате материал принимает некондиционный вид и теряет свои технологические и потребительские свойства. Предполагается, что введение в состав ТЭП компаунда веществ, способных замедлять и контролировать начало процесса подвулканизации, позволит безопасно использовать отработанное масло в указанных рецептурах.

В данной работе проведена оценка возможности применимости отработанных масел в производстве компаундов на основе стирольных термоэластопластов в комбинации с веществами, замедляющими процесс подвулканизации.

В качестве объектов исследования были выбраны отработанные масла (моторное, трансмиссионное), первичное масло (МГ-8) и антикорчинги (бензойная кислота и N-циклогексилтиофталимид (Сантогард PVI)).

Для оценки эффективности использования замедлителей подвулканизации в комбинации с отработанными маслами в рецептурах стирольных ТЭП

компаундов были приготовлены смеси следующего состава (табл. 1). Антискорчинг вводился в композиции из расчета 0,1–1 м. ч. на 100 м. ч. полимера СБС Л 30-01.

Таблица 1

**Рецептура ТЭП компаунда**

| Наименование                               | Содержание на 100 м.ч. полимера, м. ч. |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| Термоэластопласт СБС Л 30-01               | 100                                    |
| Полипропилен Бален 01030                   | 40                                     |
| Наполнитель Микрокальцит МК 2              | 160                                    |
| Масло                                      | 100                                    |
| Замедлитель подвулканизации (антискорчинг) | 0,1–1                                  |

Исследуемые композиции ТЭП компаундов были изготовлены с помощью роторного смесителя типа Brabender объемом 0,1 л при частоте вращения 60 об/мин. и температуре 180 °С. Время смешения 15 мин.

Для оценки технологических свойств использовали показатель текучести расплава (ПТР) и показатель термостабильности расплавов (изменение ПТР до и после прогрева в течение 20 мин при температуре 190 °С). Определение показателя текучести расплава термопластов проводили по ГОСТ 11645-2021 на пластометре «XNR-500» при температуре 190 °С и нагрузке 5 кг.

Показатель текучести расплава характеризует скорость истечения расплавленного термопласта через капилляр стандартных размеров при заданных температуре и давлении.

Чем выше ПТР, тем меньше вязкость расплава, тем легче его перерабатывать. Величина ПТР является параметром, определяющим рациональный выбор способа переработки термопласта.

При сшивании SBS серой будет отмечаться снижение данного показателя, что нежелательно. Поэтому чем ближе ПТР композиции на отработанном масле к ПТР композиции на первичном масле, тем эффективнее действие антискорчинга.

Об эффективности действия антискорчинга также судили по показателю термостабильности, за который принимали изменение ПТР до и после прогрева при 190 °С в течение 20 мин, рассчитываемое по формуле (1):

$$K = \frac{\text{ПТР}_{\text{до прогрева}} - \text{ПТР}_{\text{после прогрева}}}{\text{ПТР}_{\text{до прогрева}}} 100\%, \quad (1)$$

чем меньше  $K$ , тем более эффективен антискорчинг.

Результаты оценки технологических свойств разработанных ТЭП компаундов представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Технологические свойства разработанных ТЭП компаундов**

| Показатель                                                    | Значение показателя |            |                      |     |    |                  |     |    |                 |                      |     |    |               |     |    |
|---------------------------------------------------------------|---------------------|------------|----------------------|-----|----|------------------|-----|----|-----------------|----------------------|-----|----|---------------|-----|----|
| тип масла                                                     | ба-<br>зо-<br>вое   | моторное   |                      |     |    |                  |     |    | трансмиссионное |                      |     |    |               |     |    |
| Тип ан-<br>тискор-<br>чинга                                   | нет<br>а/с          | нет<br>а/с | бензойная<br>кислота |     |    | Сантогард<br>PVI |     |    | нет<br>а/с      | бензойная<br>кислота |     |    | Сантогард PVI |     |    |
| Дозировка<br>антискор-<br>чинга, м.ч.                         | 0                   | 0          | 0,1                  | 0,5 | 1  | 0,1              | 0,5 | 1  | 0               | 0,1                  | 0,5 | 1  | 0,1           | 0,5 | 1  |
| ПТР, г/10<br>мин. (190°, 5 кг)                                | 97                  | 50         | 51                   | 62  | 58 | 70               | 72  | 68 | 78              | 66                   | 65  | 76 | 74            | 68  | 69 |
| ПТР после<br>прогрева<br>20 мин,<br>г/10 мин.<br>(190°, 5 кг) | 95                  | 39         | 40                   | 47  | 47 | 62               | 64  | 63 | 54              | 52                   | 44  | 50 | 52            | 51  | 66 |
| К, %                                                          | 2                   | 22         | 22                   | 24  | 19 | 11               | 11  | 7  | 31              | 21                   | 32  | 34 | 30            | 25  | 4  |

На основании исследования технологических свойств разработанных компаундов выявлено, что бензойная кислота менее эффективна в качестве антискорчинга: при ее использовании ПТР и показатель термостабильности для всех вариантов эксперимента находятся на уровне композиций без антискорчинга. Наиболее эффективен в качестве антискорчинга Сантогард PVI: с ростом дозировок Сантограда PVI ПТР композиций повышается (становиться ближе к ПТР композиции, приготовленной с использованием базового масла), изменение ПТР после прогрева уменьшается (повышается термостабильность).

Таким образом, использование отработанных масел в комбинации с замедлителем подвулканизации (антискорчингом) позволяет получить компаунд на основе стирольного ТЭП с характеристиками, сопоставимыми с характеристиками компаунда, изготовленного с применением первичных масел. Данный подход не только снижает сырьевую себестоимость компаунда за счёт частичной или полной замены дорогостоящих первичных нефтяных компонентов, но и способствует решению экологических проблем, связанных с утилизацией отработанных масел.

Экологические преимущества данного метода заключаются не только в снижении количества отходов, подлежащих утилизации, но и в уменьшении углеродного следа за счёт сокращения потребления первичных ресурсов. Таким образом, рациональное использование отработанных масел в производстве полимерных компаундов представляет собой перспективное направление для развития устойчивых технологий в области переработки термопластичных материалов.

### Библиографический список

1. Исследование методами ДСК и ИК-спектроскопии системы сбс+сера, применяемой для модификации битума / М. Д. Шляпцева, Е. Е. Хайбуллина, Н. Н. Комова, Ю. А. Наумова // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения : материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. Нальчик, 2023. С. 465.
2. Purification of used lubricating oils using vacuum distillation / D. J. Ahmed, M. R. Al-Nidawi, M. Chali, A. Bahjat. DOI: 10.52716/jprs.v14i1.766 // Journal of Petroleum Research and Studies. 2024. Vol. 14. P. 111–130.

## PREPARATION, CHARACTERIZATION, AND EXPERIMENTAL STUDY ON THE PROPERTIES OF PALLADIUM COPPER NANOCATALYSTS

**Liu Tong**

*Liaoning Institute of Science and Technology,  
School of Biomedical and Chemical Engineering, Benxi, P. R. China,  
ltong\_78@163.com*

In recent years, the rapid development of China's textile industry has led to an increasing amount of wastewater discharge, posing great harm to the ecological environment and human health. Advanced oxidation processes (AOPs) are used for advanced treatment of dye wastewater. We synthesized spherical PdCu nanocatalysts through disproportionation reaction using spherical Cu<sub>2</sub>O templates. SEM, TEM and other methods were used to analyze the surface morphology of the catalyst. The structure was characterized by XRD and FT-IR; XPS was used to characterize the valence state and composition of the catalyst.

**Keywords:** palladium catalyst, persulfate, advanced oxidation technology, methylene blue, rhodamine B.

The wastewater generated by the printing and dyeing industry accounts for 20% of the global wastewater discharge [1, 2]. According to reports, the discharge of printing and dyeing wastewater in China accounts for more than one-third of industrial wastewater [3]. In order to produce brightly colored clothing, printing and dyeing factories use a large amount of compounds such as dyes, colorants, surfactants, and silk finishing agents [4], and up to 10000 types of dyes are used annually [5]. Currently, about 40% of the coloring chemicals used globally are organically bound chlorine, which is known to have potential carcinogenic properties [6]. Anthraquinone and azo dyes are the most consumed dyes in the global textile industry, accounting for 70–90%. After PDW enters the water body, it will cause great harm to the environmental ecosystem and human health [7]. However, the characteristics of printing and dyeing wastewater vary depending on the type and quantity of chemicals used, the type of fabric processed, the industrial process, and the type of machinery used [8]. Printing and dyeing wastewater is composed of complex chemical substances such as dyes, acids, alkalis, salts, heavy metals, surfactants, oils, etc. It has complex characteristics such as high total organic carbon, total dissolved sol-

ids, heavy metals, suspended solids content, strong chromaticity, high temperature, and wide pH range, which bring great difficulties to traditional wastewater treatment processes [9]. The presence of colloidal substances, colors, and oils can increase turbidity, resist sunlight penetration, and have special colors and odors, leading to poor oxygen transfer at the air-water interface, and hindering the self purification mechanism of surface water [6]. The wastewater generated from printing and dyeing has become a major problem due to its toxicity, color, and low biodegradation index ( $BI=BOD/COD$ ). Dyes are the main organic pollutants emitted during the production processes of printing and dyeing, precision processing, and printing and dyeing. There are over 100000 synthetic dyes on the market, and it is estimated that more than  $7 \times 10^5$  tons of dyes are produced annually. However, the low efficiency of the dyeing process resulted in 10–15% of the dye being released with the wastewater, equivalent to 2% of the total dye production [10, 11]. Most synthetic dyes are carcinogenic or mutagenic, and have significant effects on aquatic animals and plants. Therefore, it is essential to treat textile wastewater before discharging it into the environment.

Many hydrophilic groups in dye molecules enable dyes to have good solubility in water, making synthetic dyes one of the most common pollutants in water [16]. Due to different production processes producing wastewater with different characteristics, the water quality of dye wastewater is very complex. Benzene series, naphthalene series, anthraquinone series, aniline series, and benzidine are important dye raw materials. During the manufacturing process, they will form chelates with metals, salts, etc. The resulting dye wastewater contains salts, chlorides or bromides, microacids or bases, metal ions, sulfur-containing high chemical oxygen demand (COD), high color rendering, and toxic and difficult to degrade organic wastewater [12].

Metal nanoparticles, as a new type of catalytic material, have attracted much attention due to their advantages of environmental protection, low cost, and easy preparation. Bimetallic nanocatalysts exhibit excellent catalytic activity and efficiency, as they can initiate catalytic reactions at lower temperatures and effectively degrade dye wastewater, thereby reducing the energy consumption required for high-temperature processes. This provides a new solution for the treatment of printing and dyeing wastewater, and opens up a new path for the purification of industrial wastewater.

This study used spherical  $Cu_2O$  as a template to prepare PdCu spherical nanocatalysts through disproportionation reaction. Then, methylene blue and rhodamine B were used as target pollutants, and advanced oxidation technology was employed to treat printing and dyeing wastewater by activating persulfate with PdCu spherical nanocatalysts. In this paper, glucose is used as reducing agent, polyvinyl pyrrolidone (PVP) is used as surfactant, and copper acetate is reduced in the system of N, N-dimethylformamide (DMF) to obtain spherical  $Cu_2O$  nanoparticles, and then adjust the ratio of  $Na_2PdCl_4$  to spherical  $Cu_2O$ , and spherical PdCu nanoparticles are synthesized through disproportionation reaction. Then, the prepared catalyst was characterized and analyzed using methods such as transmission elec-

tron microscopy, X-ray powder diffraction spectroscopy, and X-ray photoelectron spectroscopy. Fully understand the elemental composition, particle size range, lattice distribution, and other related properties of the prepared PdCu nanoparticles. The degradation of methylene blue and rhodamine B was catalyzed by PdCu/PMS system, and the effects of pH value, PMS concentration, catalyst dosage, initial concentration, inorganic ions and natural organic matter in water on the removal of target pollutants were studied. The cycling stability of PdCu nanocatalyst was also investigated, demonstrating its excellent cycling performance, providing strong theoretical support and practical guidance for future applications in environmental pollution control.

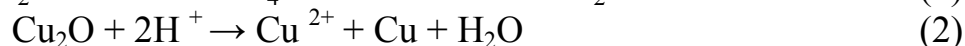
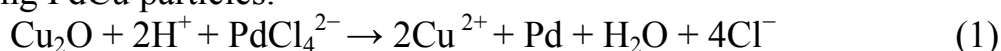
Experimental drugs: Copper acetate, N,N-dimethylformamide, polyvinyl pyrrolidone, glucose, Sodium tetrachloropalladate, Anhydrous ethanol. The above drugs are all from China National Pharmaceutical Group Chemical Reagent Co., Ltd

### Experimental methods

1. Synthesis of spherical Cu<sub>2</sub>O particles. Dissolve 1.3 g of copper acetate, 0.5 g of polyvinylpyrrolidone (K=30), and 1.27 g of glucose in 100 mL of DMF in the middle. After constant temperature magnetic stirring for about 1.5 h, the temperature reaches 85 °C. Continue stirring for 10 min, and the color of the mixture turns red brown Color. The final product was washed three times with alcohol and water, and then freeze-dried.

2. Preparation of PdCu Nanocatalyst. Dissolve 0.0882g Na<sub>2</sub>PdCl<sub>4</sub> completely in 30 mL of 20 mM HCl and sonicate for 30 min to obtain 10 mM Na<sub>2</sub>PdCl<sub>4</sub> solution. 7.2 mg of spherical Cu<sub>2</sub>O powder and 0.3 g of PVP were dispersed by ultrasound in 20 mL of H<sub>2</sub>O, add 0.5 mL of 10 mM Na<sub>2</sub>PdCl<sub>4</sub> and stir magnetically at room temperature and pressure for 20 min. Then add 0.1 mL to 18 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. After a 40 minute reaction at room temperature, the product was collected by centrifugation at 10000 rpm for 5 minutes and washed with deionized water and ethanol. Multiple times, freeze-drying of PdCu hollow particles with spherical mesoporous nanoshells.

Firstly, spherical Cu<sub>2</sub>O particle templates were synthesized using liquid-phase method. Secondly, PdCu/Cu<sub>2</sub>O particles were obtained through the reaction between Cu<sub>2</sub>O and metal ions in Na<sub>2</sub>PdCl<sub>4</sub> hydrochloric acid solution. After adding Na<sub>2</sub>PdCl<sub>4</sub> hydrochloric acid solution, the color of the solution changed from brown to dark green, indicating that Pd<sup>2+</sup> were rapidly reduced. In this reaction, a disproportionation reaction occurs at the interface region between Na<sub>2</sub>PdCl<sub>4</sub> hydrochloric acid solution and Cu<sub>2</sub>O, forming Cu on the surface of the Cu<sub>2</sub>O template. In the dismutation reaction, Cu(I) and PdCl<sub>4</sub><sup>2-</sup> can react simultaneously with H<sup>+</sup> to form Cu and Pd, forming PdCu particles.



### Characterization methods for catalysts

1. Scanning electron microscopy analysis. This article uses the SIGMA 300 (Zeiss GmbH, Germany) scanning electron microscope (SEM). According to the



principle of secondary electronic signal imaging, obtain SEM images of  $\text{Cu}_2\text{O}$  under different magnification conditions.

2. Transmission electron microscopy analysis. Transmission electron microscope (TEM) can observe the microstructure of materials and the distance between crystals. This article uses JEOL JEM-F200 (JEOL Co., Japan) ultrafast transmission electron microscopy to analyze the grain size of the catalyst

Before testing, we prepared ultra-thin copper mesh samples and use ethanol as a dispersant to test the morphology of the catalyst in the sample. High resolution spectral scanning and energy spectrum mapping testing are used to analyze the distribution of Pd and Cu elements in the sample.

3. X-ray diffraction spectroscopy analysis. The crystal structure and phase of the product were analyzed using X-ray diffraction (XRD). Using a Rigaku Ultima IV X-ray diffractometer (Nippon Science & Technology Co. Ltd, Japan), with a tube pressure of 40 kV, scanning speed of 0.02 °/s, and scanning angle X-ray diffraction spectrum at 10–80° and tube current of 40 mA. On this basis, by comparing with corresponding standard samples, determine the structure of PdCu nanocatalyst.

4. Fourier transform infrared spectroscopy analysis. Fourier transform infrared (FT-IR) technology can achieve the detection of organic and inorganic compounds by introducing functional groups and chemical bond types. We use Fourier transform red Tensor 27 (Bruker GmbH, Germany). The external spectroscopy method measured the infrared absorption spectrum of the sample, thereby determining the chemical bonds and chemical structures of the sample.

Structure. Before the experiment, it was crushed with dry KBr in a certain ratio and kept at room temperature (500–4000  $\text{cm}^{-1}$ )

#### Results and Discussion

The effect of different ratios of  $\text{Na}_2\text{PdCl}_4$  to spherical  $\text{Cu}_2\text{O}$  on the catalytic performance of PdCu was investigated. During the process,  $\text{Na}_2\text{PdCl}_4$  and spherical  $\text{Cu}_2\text{O}$  were studied while keeping the PVP concentration and  $\text{H}_2\text{SO}_4$  constant.

The effect of changes in the proportion of MB on the catalytic degradation efficiency of MB and RhB is shown in Fig. 1,  $\text{M}(\text{Cu}_2\text{O}):\text{M}(\text{Na}_2\text{PdCl}_4)$  10:1, 5:1, and 5:3 are respectively referred to as PdCu-1, PdCu-2, and PdCu-3. It was found that the catalytic rate of the catalyst did not significantly improve, which may be due to the aggregation of PdCu nanoparticles causing the catalyst to accelerate.

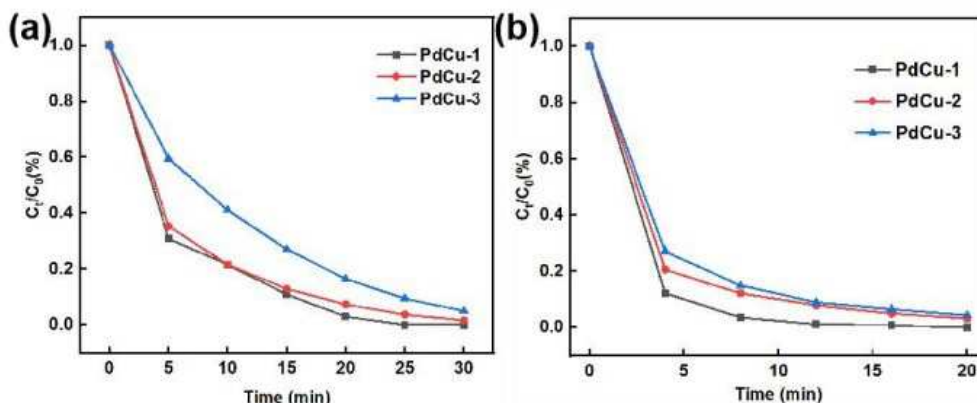


Fig. 1. Catalytic degradation of MB and RhB by PdCu prepared under different M(Cu<sub>2</sub>O):M(Na<sub>2</sub>PdCl<sub>4</sub>) conditions

The catalytic activity of the chemical agent decreases. Considering the cost of the catalyst, this study chose a ratio of M (Cu<sub>2</sub>O): M (Na<sub>2</sub>PdCl<sub>4</sub>) of 10:1. The PdCu nanocatalyst prepared at the time was used for subsequent degradation experiments.

In order to investigate the microstructure characteristics of Cu<sub>2</sub>O in depth, this study used scanning electron microscopy (SEM) to conduct detailed analysis and observation, and studied the morphology and microstructure of Cu<sub>2</sub>O at different magnifications. As shown in Fig. 2, the morphology of Cu<sub>2</sub>O presents a typical spherical structure without obvious edges or irregular shapes, indicating that it is composed of the same component uniformly and tightly packed.

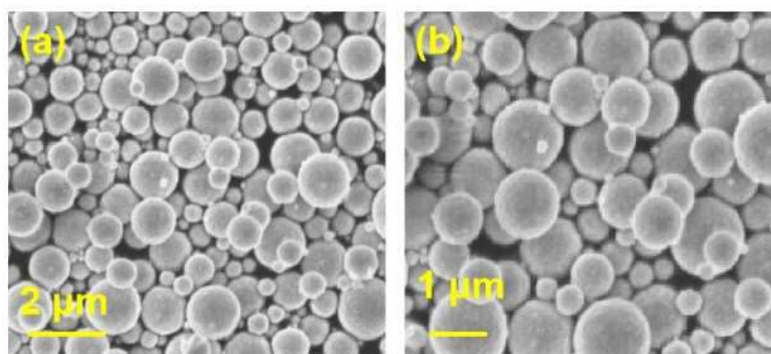


Fig. 2. SEM image of Cu<sub>2</sub>O

During the detailed study of PdCu nanoparticles, transmission electron microscopy (TEM) revealed their unique microstructure, as shown in Fig. 3a and 3b. It can be clearly seen that PdCu nanoparticles exist in a dispersed form, which means they have extremely small sizes. From Fig. 3c, it can be observed that the lattice space of PdCu is 0.21 and 0.19 nm, respectively, as analyzed by HR-TEM calculations. The lattice size of PdCu is significantly smaller than that of pure Pd (111) plane (0.227 nm) and Pd (100) plane (0.194 nm).

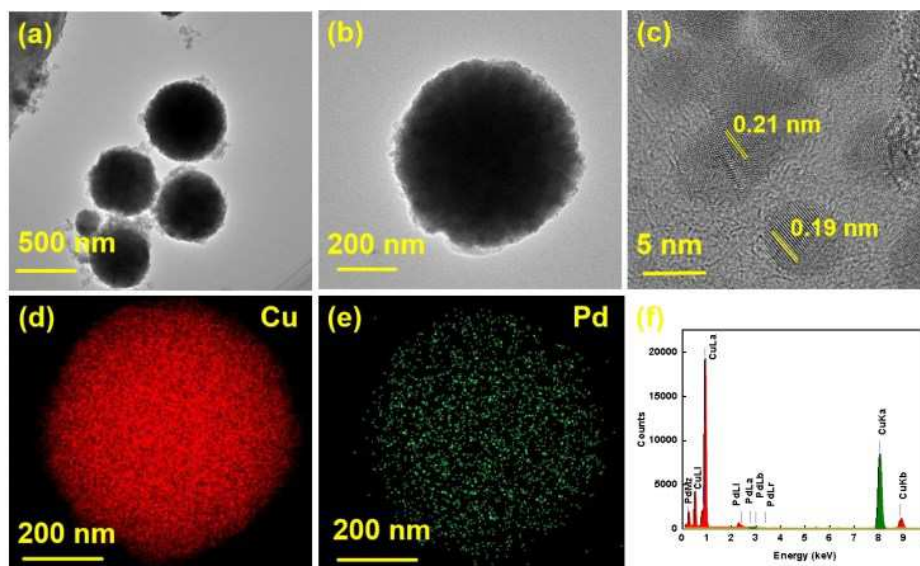


Fig. 3. TEM and EDS images of PdCu

In order to comprehensively understand the elemental composition of PdCu, EDS energy spectrum analysis was conducted. From Fig. 3f, it can be observed that PdCu contains both Pd and Cu elements, indicating that it is a bimetallic compound. The weight percentage of palladium element is 0.79%, which reflects the relative proportion of palladium to other elements in PdCu.

In order to accurately reveal the crystal structure of the synthesized PdCu nanomaterials, detailed analysis was conducted using X-ray diffraction (XRD) technology. From Fig. 4, it can be seen that the prepared PdCu exhibits characteristic peaks at  $2\theta$  diffraction angles of  $43.0^\circ$ ,  $53.3^\circ$ , and  $68.6^\circ$ , which are generated by the diffraction of the (220), (113), and (116) crystal planes of PdCu oxide, respectively. The diffraction peaks of the (111), (200), and (220) crystal planes are located between the pure Pd (JCPDS No. 46-1043) and Cu (JCPDS No. 04-0836) crystal phases, and no characteristic peaks of Cu and its oxides were detected, confirming the synthesis of PdCu nanocatalysts.

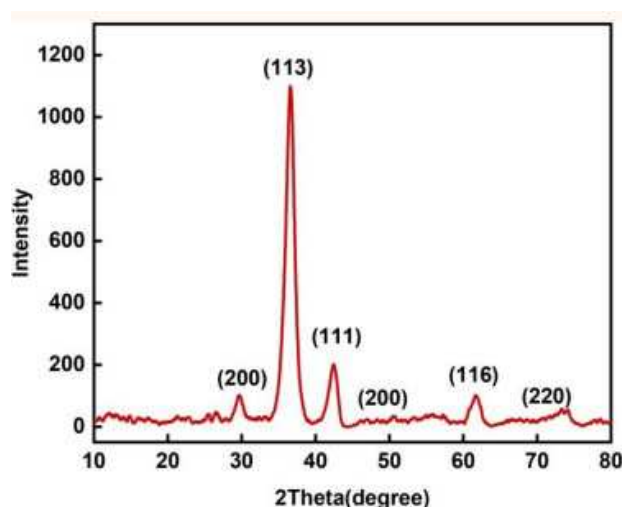


Fig. 4. XRD pattern of PdCu

In order to identify the functional groups on the surface of the prepared catalyst, Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) analysis was performed. As shown in Fig. 5, there is an absorption peak between 500–750  $\text{cm}^{-1}$ , and the absorption peak at 630  $\text{cm}^{-1}$  corresponds to the Cu-O stretching vibration. The characteristic peak of  $\text{Cu}_2\text{O}$  appears at around 1571  $\text{cm}^{-1}$  and 3410  $\text{cm}^{-1}$ . After introducing Pd metal species, we observed a slight decrease in the absorption peak intensity of  $\text{Cu}_2\text{O}$ , indicating that some Cu-O bonds may have been replaced by other metal elements. Due to the absence of specific characteristic peaks in the infrared spectrum of palladium itself, the corresponding absorption peak of PdCu remains basically unchanged.

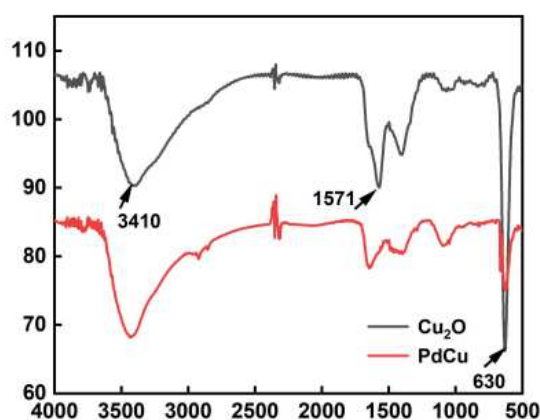


Fig. 5. FT-IR spectrum of PdCu

In this study, spherical  $\text{Cu}_2\text{O}$  nanoparticles were prepared by reducing copper acetate in N, N-dimethylformamide (DMF) system with glucose as reducing agent and polyvinylpyrrolidone (PVP) as surfactant, and then adjusting the ratio of  $\text{Na}_2\text{PdCl}_4$  to  $\text{Cu}_2\text{O}$ , spherical PdCu nanoparticles were synthesized through disproportionation reaction, and their surface morphology and chemical composition were analyzed. The specific conclusion is as follows:

(1) By optimizing the preparation conditions of PdCu, it was found that when  $\text{Cu}_2\text{O}$ : M ( $\text{Na}_2\text{PdCl}_4$ ) ratio was 10:1, the removal rates of MB and RhB reached 99.9%, and the catalytic performance of the prepared PdCu was the best.

(2) The microstructure of the catalyst was analyzed by SEM, TEM, and EDS, and the structure and elemental composition of the material were verified. The analysis results of XRD, XPS, and FT-IR indicate that the synthesized catalyst has a good structure and crystal morphology.

Overall, this article confirms through a series of characterization methods that the required PdCu nanoparticles have been prepared, validating their potential as activators for PMS and laying the foundation for future research.

*Fund Project: basic scientific research project of colleges and universities of Liaoning Provincial Department of Education (2024jytkytd-13, lj222411430018, lj232411430002, 2023j0927) Doctoral startup project of Liaoning Institute of science and technology (2307B13,2307B15,2407B04) Liaoning Provincial Department of Education research team project (2024JYTKYTD-13, LJ222411430018, LJ232411430002, 2023J0927) Liaoning Institute of Science and Technology*

### References

1. Li X., Shi J., Luo X. Enhanced adsorption of rhodamine B from water by Fe-N co-modified biochar: Preparation, performance, mechanism and reusability. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126103 // *Bioresour. Technol.* 2022. Vol. 343. Article No. 126103.
2. Research on the treatment mechanism of anthraquinone dye wastewater by algal-bacterial symbiotic system / Y. Li, P. Cao, S. Wang, X. Xu. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.126691 // *Bioresour. Technol.* 2022. Vol. 347. Article No. 126691.
3. A review on treatment technologies for printing and dyeing wastewater (PDW) / U. Ewuzie, O. D. Saliu, K. Dulta, et al. DOI: 10.1016/j.jwpe.2022.103273 // *J. Water Proc. Eng.* 2022. Vol. 50. Article No. 103273.
4. A new biosource for synthesis of activated carbon and its potential use for removal of methylene blue and eriochrome black T from aqueous solutions / J. Ali, E. M. Bakhsh, N. Hussain, et al. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.114676 // *Industrial Crops and Products.* 2022. Vol. 179. Article No. 114676.
5. Quan X., Zhang X., Xu H. In-situ formation and immobilization of biogenic nanopalladium into anaerobic granular sludge enhances azo dyes degradation. DOI: 10.1016/j.watres.2015.03.024 // *Water Res.* 2015. Vol. 78. P. 74–83.
6. Paździor K., Bilińska L., Ledakowicz S. A review of the existing and emerging technologies in the combination of AOPs and biological processes in industrial textile wastewater treatment. DOI: 10.1016/j.cej.2018.12.057 // *Chem. Eng. J.* 2019. Vol. 376 Article No. 120597.
7. Hossain L., Sarker S. K., Khan M. S. Evaluation of present and future wastewater impacts of textile dyeing industries in Bangladesh. DOI: 10.1016/j.envdev.2018.03.005 // *Environ. Dev.* 2018. Vol. 26. P. 23–33.
8. Crini G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.05.001 // *Bioresour. Technol.* 2006. Vol. 97. No. 9. P. 1061–1085.
9. Singh K., Arora S. Removal of synthetic textile dyes from wastewaters: a critical review on present treatment technologies. DOI: 10.1080/10643380903218376 // *Crit. Rev. Env. Sci. Technol.* 2011. Vol. 41. No. 9. P. 807–878.
10. Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: a review / S. de Gisi, G. Lofrano, M. Grassi, M. Notarnicola. DOI: 10.1016/J.SUSMAT.2016.06.002 // *Sustain. Mater. Technol.* 2016. Vol. 9. P. 10–40.
11. Dyeing and finishing wastewater treatment in China: state of the art and perspective / H. Chen, X. Yu, X. Wang, et al. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129353 // *J. Cleaner Prod.* 2021. Vol. 326. Article No. 129353.
12. Novel electrospun ZIF/PcH nanofibrous membranes for enhanced performance of membrane distillation for salty and dyeing wastewater treatment / M. Huang, J. Song, Q. Deng, et al. DOI: 10.1016/j.desal.2022.115563 // *Desalination.* 2022. Vol. 527. Article No. 115563.

# CONTROLLABLE HYDROTHERMAL SYNTHESIS OF NICKEL PHOSPHIDE MICRO-NANO MATERIALS AND THEIR PHOTOCATALYTIC DEGRADATION PERFORMANCE

**J. Yan<sup>1</sup>, Z. Wang<sup>1</sup>, Y. Chen<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China, yanjs910@163.com,*

<sup>2</sup> *Vyatka State University, Kirov, Russia, stud183012@vyatsu.ru*

The controllable synthesis of nickel phosphide ( $\text{Ni}_2\text{P}$ ) micro-nano materials were successfully synthesized by the hydrothermal synthesis method. The effects of the molar ratio of phosphorus to nickel and reaction temperature were investigated. X-ray diffraction (XRD) and Transmission electron microscopy (TEM) were used to characterize the crystalline phase structure and morphology of the synthesized products. The results showed that pure  $\text{Ni}_2\text{P}$  could be obtained when the hydrothermal temperature is 120 °C and the initial phosphorus-to-nickel molar ratio of the raw materials is 6. After 210 minutes of ultraviolet light irradiation, the photocatalytic degradation rates of  $\text{Ni}_2\text{P}$  and  $\text{Ni}_{12}\text{P}_5$  for the methylene blue are 91.6% and 79.7%, respectively.

**Keywords:** nickel phosphide, hydrothermal synthesis, photocatalytic degradation.

Dye wastewater has become an important source of water pollution. In recent years, transition metal phosphides, especially nickel phosphide, have exhibited excellent catalytic performance in fields such as hydrodesulfurization of fuel oil, heavy metal adsorption, and degradation of organic dyes, and are considered as new catalysts with broad application prospects [1–3]. Among the numerous methods for preparing metal phosphides, the hydrothermal synthesis method has the advantages of good crystal form, high yield, and controllable morphology and size of the products. Moreover, the stoichiometric ratios of nickel phosphide are very diverse, and  $\text{P}^{3-}$  ions are unstable in an aqueous system. Therefore, nickel phosphide products with different crystal phase compositions or morphologies can be obtained by changing reaction parameters such as the reaction temperature, the molar ratio of precursors, the reaction time or the type of solvent [4]. In this paper, non-toxic red phosphorus will be used instead of white phosphorus as the phosphorus source and nickel nitrate as the nickel source to prepare nickel phosphide materials by the hydrothermal synthesis method. The effects of different hydrothermal synthesis conditions on the crystal phase and morphology of the products was investigated. The photocatalytic degradation performance of the synthesized nickel phosphide was studied, using methylene blue solution as a model of dye wastewater.

Take a typical example to illustrate the hydrothermal preparation process of nickel phosphide. Take 0.025 mol of nickel nitrate and 50 mL of distilled water in a 100 mL beaker, and stir thoroughly until the solution becomes clear. Then add 0.15



mol of well-ground red phosphorus. Put it into a water bath with electromagnetic stirring at 60 °C for ripening for 2 h. Then transfer this suspension into a 100 mL autoclave lined with polytetrafluoroethylene, seal it, and place it into an oven at 120 °C for 12 h. After the reaction is completed, take out the autoclave and let it cool naturally to room temperature. Collect the black solid substance in the autoclave, and successively centrifuge and wash it with hot ethanol and distilled water, and then dry it in vacuum at 60 °C for 12 h. The operation processes for preparing nickel phosphide with different molar ratios of phosphorus:nickel (1:1, 2:1, 4:1, 8:1) are the same as described above.

Photocatalytic degradation experiment of organic dyes by Ni<sub>2</sub>P was carried out as follows: A certain amount of Ni<sub>2</sub>P nanoparticles was added into 50 mL of 10 mg/L methylene blue solution. The pollution was magnetically stirred it in a dark box for 30 min to achieve the adsorption-desorption equilibrium. Then put it into a photocatalytic device for photocatalytic degradation, and take samples every 30 min. The sample was centrifuged and poured out the upper clear liquid. The absorbance of each sample was measured at 665 nm under different reaction time by using ultraviolet-visible spectrophotometer. The degradation rate (R) of methylene blue solution is calculated according to the formula 1, where A<sub>0</sub> and A<sub>1</sub> represent the absorbance of the solution before and after the photocatalytic reaction, respectively.

$$R = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

Figure 1 shows the XRD patterns of the synthesized products and the influences of P/Ni molar ratios on the phase composition of products. The characteristic diffraction peaks of the product can be attributed to Ni<sub>11</sub>(HPO<sub>3</sub>)<sub>8</sub>(OH)<sub>6</sub> (PDF44-1327) when the initial molar ratio of phosphorus to nickel is 1:1 or 2:1. When the initial molar ratio of phosphorus to nickel is 4:1, a series of diffraction peaks appearing at 32.7°, 35.8°, 38.4°, 41.7°, 44.4°, 47.0°, and 49.0° are attributed to Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> (PDF22-1190). When the initial molar ratio of phosphorus to nickel reaches 6:1 or 8:1, the characteristic diffraction peaks appearing at 40.8°, 44.6°, 47.3°, and 54.4° can be attributed to the Ni<sub>2</sub>P phase (PDF03-0953).

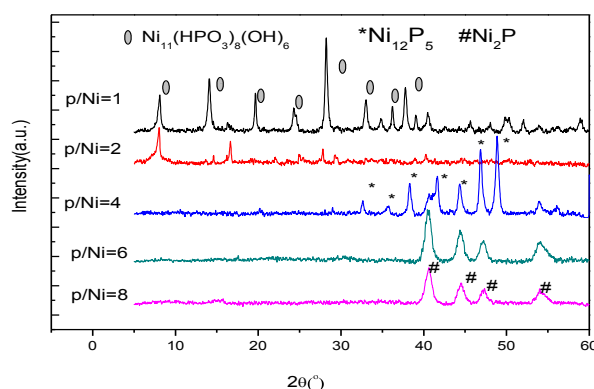


Fig. 1. XRD patterns of synthesized products at different molar ratios of phosphorus to nickel

Fig. 2 shows the XRD patterns of the synthesized products under different hydrothermal temperatures and the influence of different temperatures. When the reaction temperature is 90 °C, the characteristic diffraction peaks appearing at 40.8°, 44.6°, 47.3°, and 54.4° can be attributed to Ni<sub>2</sub>P (PDF03-0953). Meanwhile, there are also weak peaks of Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> at 38.4° and 49.0°, indicating that the main product of the hydrothermal reaction is Ni<sub>2</sub>P, but there is also a small amount of Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> present. When the temperature is 120 °C, the characteristic diffraction peaks at 40.8°, 44.6°, 47.3°, and 54.4° prove hexagonal Ni<sub>2</sub>P phase. The peaks are sharp and there are no impurity peaks, indicating that the synthesized Ni<sub>2</sub>P phase has high crystallinity and purity. When the temperature is 150 °C, the characteristic diffraction peaks of Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> appear, but there is still a trace amount of Ni<sub>2</sub>P peak at 40.8°, indicating that in addition to the phase of Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub>, there is also a trace amount of Ni<sub>2</sub>P in the obtained product. When the temperature reaches 180 °C, the peak positions prove that the product is Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub>, and the purity of the Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> product seems high. Obviously, the temperature has a significant influence on the phase composition of the products, and an increase in temperature is conducive to the transformation of the Ni<sub>2</sub>P phase to the Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> phase.

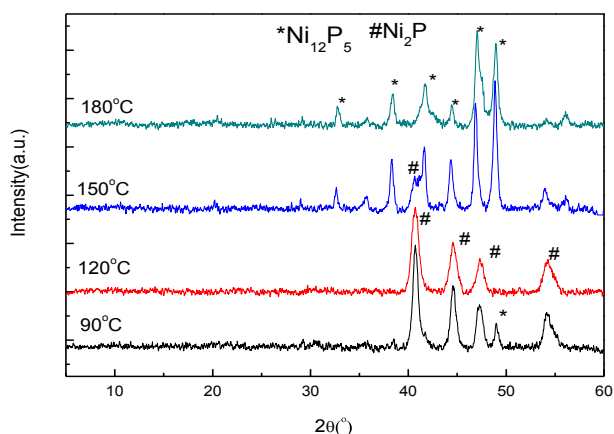


Fig. 2. XRD patterns of synthesized products at different temperatures

Fig. 3 shows the TEM characterization results of Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> and Ni<sub>2</sub>P. Fig. 3a shows the synthesized Ni<sub>12</sub>P<sub>5</sub> products which are an aggregate of a large number of spherical particles and nearly in the micron scale. Fig. 4b shows the synthesized Ni<sub>2</sub>P particles which are more uniformly dispersed and about 20 nm.



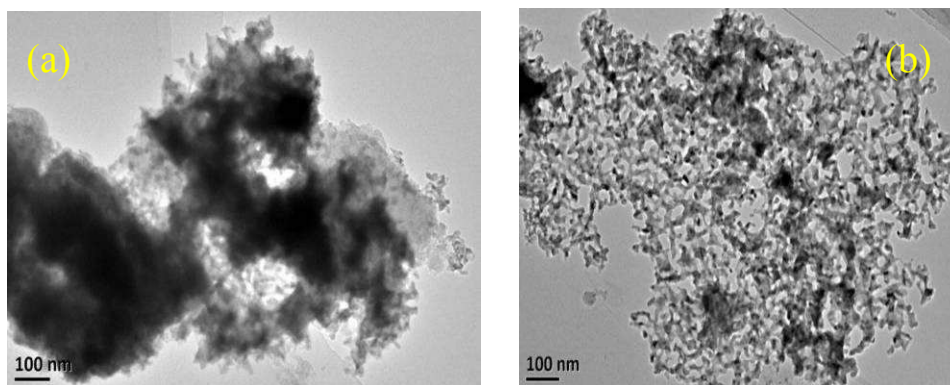


Fig. 3. TEM images of synthesized  $\text{Ni}_{12}\text{P}_5$  (a) and  $\text{Ni}_2\text{P}$  (b)

Fig. 4 shows the variation of the degradation rate of methylene blue solution with the reaction time under  $\text{Ni}_{12}\text{P}_5$  and  $\text{Ni}_2\text{P}$  catalysts. It can be seen that the degradation rate of methylene blue is less than 7.1% in the absence of a catalyst. However, in the presence of a catalyst, the degradation rate of methylene blue gradually increases as the reaction time increases. When the reaction reaches 210 min, the photocatalytic degradation of methylene blue by  $\text{Ni}_{12}\text{P}_5$  and  $\text{Ni}_2\text{P}$  reaches a constant value, and the photocatalytic degradation rates by  $\text{Ni}_{12}\text{P}_5$  and  $\text{Ni}_2\text{P}$  are 79.7% and 91.6%, respectively.

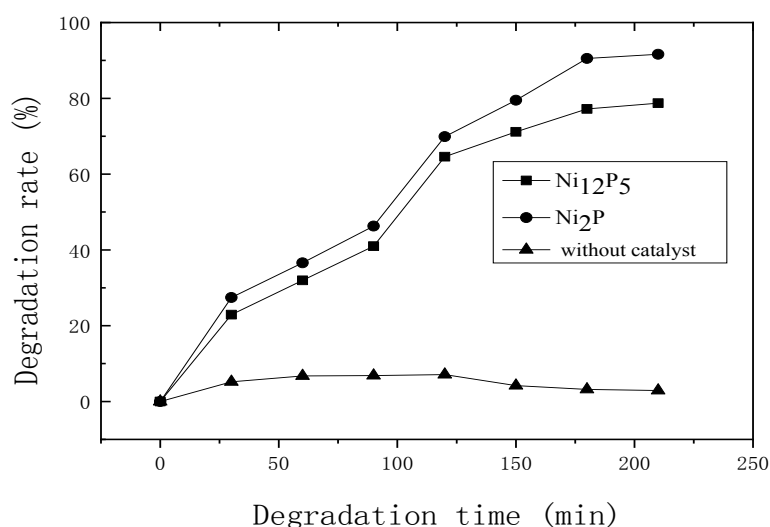


Fig. 4. Degradation rate of methylene blue by  $\text{Ni}_{12}\text{P}_5$  and  $\text{Ni}_2\text{P}$  catalysts

The photocatalytic degradation activity is related to the surface composition of the catalyst and the properties of the reactants. According to [5], dyes can absorb ultraviolet or visible light photons, thereby electrons are excited to higher electronic energy levels to form the excited state of molecule. These molecules often have a strong ability to donate electrons and can bring electrons into the conduction band of the semiconductor. At the same time, the dye itself becomes a dye cation radical. The electrons in the conduction band are captured by  $\text{O}_2$  and other substances on the surface of the catalyst to generate free radicals such as  $\text{O}_2^{\bullet-}$ ,  $\bullet\text{OH}$  and  $\bullet\text{OOH}$ , as well as  $\text{H}_2\text{O}_2$ . These reactive oxygen species have strong oxidizing properties, causing the dye cation radicals to be further decomposed. Through a series of complex

redox reactions, the dye molecules are gradually degraded and even mineralized into  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$ . In addition, the different size and specific surface area of the catalysts also have an impact on the photocatalytic degradation activity of dyes. For  $\text{Ni}_2\text{P}$  particles, the surface of the particles is composed of some uniformly dispersed small spherical particles, while  $\text{Ni}_{12}\text{P}_5$  is more of an aggregate of spherical particles. Therefore, the reason why  $\text{Ni}_2\text{P}$  has better adsorption capacity and photocatalytic activity than  $\text{Ni}_{12}\text{P}_5$  may be due to the surface composition and the quantum size effect of catalyst.

In summary, the controllable hydrothermal synthesis of  $\text{Ni}_2\text{P}$  can be achieved by adjusting the initial phosphorus-to-nickel ratio of the raw materials and the hydrothermal temperature. When the hydrothermal reaction time is 12 h, the optimal hydrothermal temperature is  $120^\circ\text{C}$ , and the molar ratio of phosphorus to nickel is 6:1. Compared with  $\text{Ni}_{12}\text{P}_5$ ,  $\text{Ni}_2\text{P}$  exhibits better photocatalytic degradation performance.

### References

1. Transition metal phosphide hydroprocessing catalysts: A review / S. T. Oyama, T. Gott, H. Zhao, Y.-K. Lee. DOI: 10.1016/j.cattod.2008.09.019 // Catal. Today. 2009. Vol. 143. No. 1–2. P. 94–107.
2. Ni Y., Jin L., Hong J. Phase-controllable synthesis of nanosized nickel phosphides and comparison of photocatalytic degradation ability. DOI: 10.1039/c0nr00727g // Nanoscale. 2011. Vol. 3. No. 1. P. 196–200.
3. Urchin-like Ni-P microstructures: facile synthesis, properties, properties and application in the fast removal of heavy-metal ions / Y. Ni, K. Mi, C. Cheng, et al. DOI: 10.1039/c1cc11640a // Chem. Commun. 2011. Vol. 47. No. 20. P. 5891–5893.
4. Hydrothermal synthesis method of nickel phosphide nanoparticles / B. Wang, X. Huang, Z. B. Zhu, et al. DOI: 10.1007/s13204-012-0057-0 // Appl. Nanosci. Vol. 2012. No. 2. P. 423–427.
5. Recent advances in the elimination of persistent organic pollutants by photocatalysis / N. Gaur, D. Dutta, A. Singh, et al. DOI: 10.3389/fenvs.2022.872514 // Front. Environ. Sci. 2022. Vol. 10. Article No. 872514.

## RESEARCH ON THE TREATMENT OF HIGH-CONCENTRATION ORGANIC WASTEWATER FROM BREWERIES USING THE SEQUENTIAL BATCH REACTOR (SBR) PROCESS

***T. Wang, H. Y. Yu, T. Liu***

*Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China,  
wt414441794@163.com*

Addressing the issue of treating high-concentration organic wastewater in breweries, this paper establishes the process conditions for the intermittent activated sludge system, aiming to enhance wastewater treatment efficiency, mitigate environmental pollution, and facilitate the reuse of wastewater resources. This research holds positive implications for advancing and enhancing brewery wastewater treatment technology.

Keywords: beer brewery wastewater, high-strength organic wastewater, Sequential Batch Reactor (SBR) process.

With the ongoing development of the beer industry, the scale of equipment has been expanding, leading to increasingly severe pollution from beer wastewater, making its treatment a pressing concern [1]. Wastewater generated during the beer brewing process primarily comprises substantial volumes of cooling water (encompassing saccharification, malt cooling, fermentation, and other processes) and cleaning or flushing water (utilized for washing various containers and equipment) [2]. The water quality characteristics indicate its excellent biodegradability, rendering it suitable for biochemical treatment [3, 4]. The SBR (Sequencing Batch Reactor) process, an activated sludge process operating on the principle of intermittent aeration, is also known as the sequencing batch activated sludge process. It boasts flexible operation, effective nitrogen and phosphorus removal, a straightforward process, cost efficiency, robust reaction capabilities, resilience to shock loads, and strong purification abilities, making it commonly used for treating organic wastewater [5-8]. This paper delved into the establishment of process conditions for the batch activated sludge process, comparing the impact of different influent methods – limited aeration influent, unrestricted aeration influent, instantaneous influent, and limited aeration continuous influent – on the treatment efficacy of the SBR process. Multi-cycle stability operation tests were conducted to ascertain the optimal operating parameters for the SBR process.

Experimental sample. The wastewater utilized in the experiment originates from the effluent of a brewery located in Liaoning Province, China.

Construction of the reactor. The SBR reactor has a main body that is 75 cm in height and 15 cm in diameter, with a total volume of 14 L and an effective volume of 12 L. The system comprises an air pump, aerator, circulating water pump, hot water tank, and constant-temperature water bath. Aeration is achieved through air compression, with the airflow regulated by a gas flow meter. A heating plate is integrated within the reactor to maintain a stable temperature, supported by auxiliary instruments such as a temperature controller and thermometer. Dissolved oxygen concentration is monitored online using the JPB-607 portable dissolved oxygen analyzer.

The treatment effect of SBR process under the conditions of restricted aeration and non-restricted aeration was compared and investigated. The result was shown in Fig. 1. Under the condition of restricted aeration, the COD decline curve during the reaction period of influent was faster than that under the condition of non-restricted aeration, and the COD value of effluent was lower. This is because under the condition of restricted aeration, the accumulation of substrates in influent and mixed liquor was more, and the concentration gradient was larger, which enables the reaction to proceed in an ideal plug-flow manner, thus the reaction speed was faster and the COD removal rate was higher.

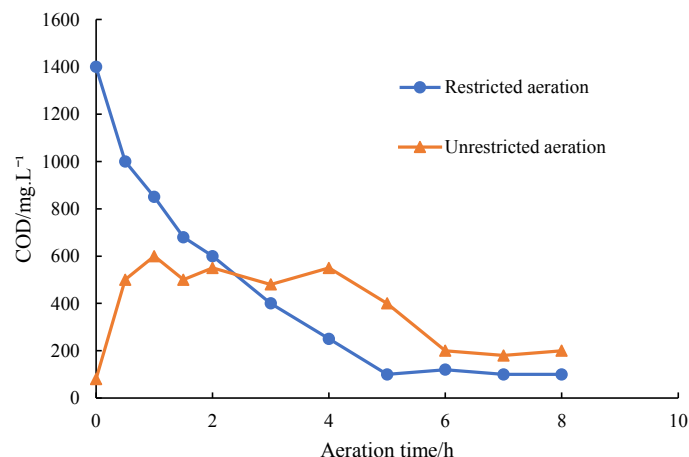


Fig. 1. The effects of restricted and unrestricted inflow on the treatment by Sequencing Batch Reactor (SBR)

The treatment effects of SBR process under the conditions of instantaneous influent and continuous influent with limited aeration were compared and investigated. The results are shown in Fig. 2. From Fig. 2, it can be observed that when the influent time of limited aeration was 1 hour, the removal rate of COD reaches the fastest, and after 4 hours of aeration, the COD concentration could be reduced to 100 mg/L or below. This indicates that when treating brewery wastewater, using limited influent with 1-hour duration of aeration was the best choice.

Based on the aforementioned experimental study, we found that the technology of restricting the influent of aeration was particularly outstanding in treating brewery wastewater. To determine the optimal operating time, the following sequence was set: influent (aeration restricted) for 1 h, reaction for 5 h, sedimentation for 2 h, drainage for 1 hour, and standby for 3 h. The experiments were conducted in two cycles each day, and lasted for a total of two weeks. The trend of COD change in the effluent was shown in Fig. 3. From Fig. 3, we can clearly see that, according to the above scheme, the removal efficiency of COD remained stable at 95% or higher, and there was no occurrence of sludge bulking.

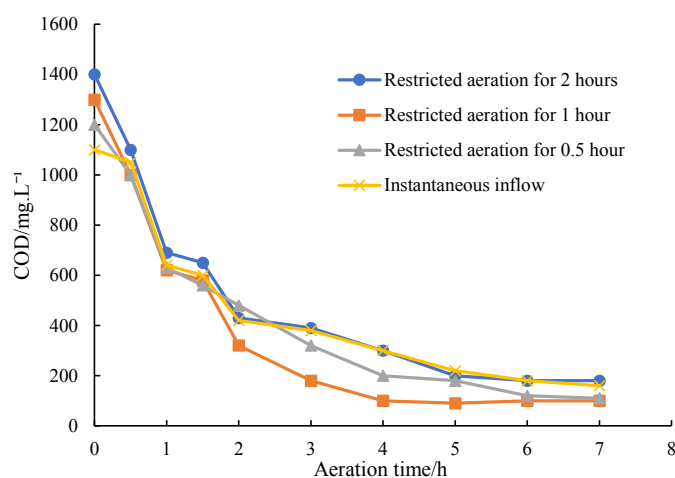


Fig. 2 Effects of restricted and unrestricted inflow on SBR process treatment

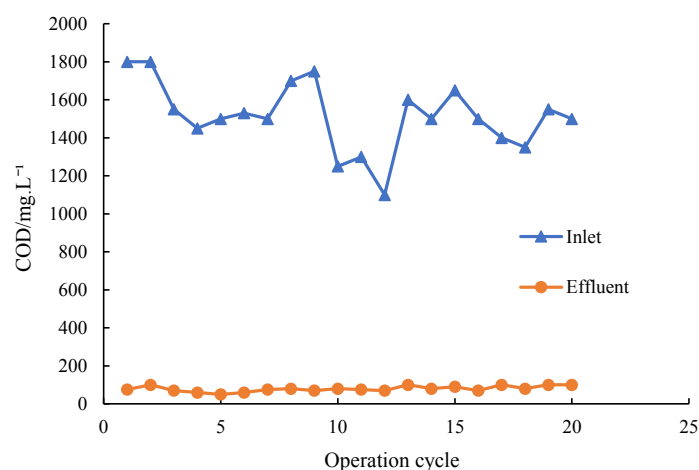


Fig. 3 Multi-period stable operation test

This paper started from practical application and combined the actual situation of brewery wastewater to conduct in-depth research on the construction of intermittent activated sludge process conditions. The optimal operating parameters of SBR process for treating high-concentration organic wastewater from breweries were obtained, providing new ideas and methods for the improvement of brewery wastewater treatment technology and offering reference and inspiration for practical engineering applications.

*This research was funded by Basic scientific research project of colleges and universities of Liaoning Provincial Department of education in 2024 (scientific and technological innovation team project)(2024JYTKYTD-13), and the 2023 Doctoral Research Startup Fund Project of Liaoning Institute of Science and Technology (2307B15).*

### References

1. Brewery wastewater as an alternative external carbon source for full-scale municipal wastewater treatment plants: A performance, cost, and environmental assessment / J. Li, Z. Xiao, J. Gu, et al. DOI: 10.1016/j.jwpe.2025.107483 // J. Water Process Eng. 2025. Vol. 72. Article No. 107483.
2. Indigenous bio-coagulant assisted electrocoagulation process for the removal of contaminants from brewery wastewater: performance evaluation and response surface methodology optimization / F. S. Garomsa, Y. M. Berhanu, W. M. Desta, F. Bidira. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e40394 // Heliyon. 2024. Vol. 10. No. 22. Article No. e40394.
3. Rapid granulation of aerobic sludge for treatment of brewery wastewater: aeration strategy and nitrogen removal mechanism / S. Deng, L. Liu, X. Li, W. Xue. DOI: 10.1016/j.jece.2024.115108 // J. Environ. Chem. Eng. 2025. Vol. 13. No. 1. Article No. 115108.
4. Soliman R., Hamza R. A., Iorhemen O. T. Biofilm-based hybrid systems for enhanced brewery wastewater treatment – a review. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.104763 // J. Water Process Eng. 2024. Vol. 58. Article No. 104763.
5. Advancements of sequencing batch reactor for industrial wastewater treatment: major focus on modifications, critical operational parameters, and future perspectives / A. Singh, A. Srivastava, D. Saidulu, A. K. Gupta. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115305 // J. Environ. Manage. 2022. Vol. 317. No. 1. Article No. 115305.

6. Exploring nutrient removal mechanisms in column-type SBR with simultaneous nitrification and denitrification / N. A. Khan, S. Singh, P. C. Ramamurthy, I. H. Aljundi. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119485 // J. Environ. Manage. 2023. Vol. 349. Article No. 119485.

7. Efficient treatment of leather wastewater using a combination of CEPT and SBR with a novel flocculant / Z. Yu, Z. Jiang, X. Xu, et al. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.104575 // J. Water Process Eng. 2024. Vol. 57. Article No. 104575.

8. Effective sludge activation in a sequencing batch reactor (SBR) towards aerobic granular sludge (AGS) technology / N. I. Setianingsih, H. Hadiyanto, M. Budihardjo, et al. DOI: 10.1016/j.dwt.2024.100774 // Desalin. Water Treat. 2024. Vol. 320. Article No. 100774.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПСТИРОВАНИЯ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОЙ ФРАКЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

*А. В. Штин, Е. А. Логинова, А. Д. Шрейдер  
Вятский государственный университет,  
г. Киров, Россия, kirov@ecosociety.ru*

В статье рассматривается влияние экспозиции, влажности, температуры, объема отходов, аэрации и морфологического состава на процесс компостирования отсева органической фракции твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) и полученный конечный продукт.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, компостирование, биотестирование, утилизация отходов.

С увеличением объемов образуемых ТКО, вызванных ростом населения и потребительской активности, необходимость эффективного управления отходами становится критической. В настоящее время все образованные отходы направляются на захоронение на полигонах. Для улучшения ситуации в Кировской области создают участки компостирования отходов, входящие в состав объектов инфраструктуры по обращению с ТКО.

Целью работы является исследование факторов, влияющих на эффективность компостирования при утилизации органической фракции ТКО. Данная работа позволит изучить возможности полезного использования образующегося компоста и сократить объем захораниваемых отходов.

На территории региона развивается система обращения с отходами. В соответствии с территориальной схемой обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, на территории Кировской области [1] до 2030 года появятся следующие объекты в сфере обращения с отходами (табл. 1).

Таблица 1

**Перспективные объекты утилизации отходов в Кировской области**

| № п/п | Наименование объекта                                                                  | Год создания |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1     | Объект утилизации ТКО в составе КПО «Центральный»                                     | 2025         |
| 2     | Участок компостирования в составе комплексного объекта в Вятско-полянском районе      | 2027         |
| 3     | Участок компостирования в составе комплексного объекта в Яранском районе              | 2028         |
| 4     | Объект утилизации (компостирования) в составе комплексного объекта в Нолинском районе | 2029         |

Основным методом утилизации ТКО в Кировской области выбрано компостирование. В соответствии с проектной документацией ведущего объекта по обращению с отходами – КПО «Центральный» в Слободском районе, компостирование будет производиться буртовым методом с экспозицией 21+14 дней в аэробных условиях.

Для оценки влияния морфологического состава на процесс компостирования использовались виды компоста, представленные в таблице 2.

Таблица 2

**Морфологический состав полученных видов компоста**

| № субстрата | Компоненты компоста              | Содержание компонентов, % |
|-------------|----------------------------------|---------------------------|
| 1           | Растительные остатки             | 91                        |
|             | Вода дистиллированная            | 9                         |
| 2           | Растительные остатки             | 45,5                      |
|             | Древесная щепа                   | 45,5                      |
|             | Вода дистиллированная            | 9                         |
| 3           | Растительные остатки             | 91                        |
|             | Микробиологический препарат      | 9                         |
| 4           | Растительные остатки             | 45,5                      |
|             | Древесная щепа                   | 45,5                      |
|             | Микробиологический препарат      | 9                         |
| 5           | Растительные остатки             | 45,5                      |
|             | ТКО                              | 45,5                      |
|             | Раствор нитрата ртути (0,43 г/л) | 0,01                      |
|             | Микробиологический препарат      | 8,99                      |
| 6           | Растительные остатки             | 30,3                      |
|             | ТКО                              | 30,3                      |
|             | Раствор нитрата ртути (0,43 г/л) | 0,01                      |
|             | Древесная щепа                   | 30,3                      |
|             | Микробиологический препарат      | 8,99                      |

В качестве отсева органической фракции из общего объема ТКО были использованы растительные остатки, полиэтиленовые пакеты, полиэтилен высокого и низкого давления, полипропиленовая пленка, полипропилен 3д пластик, фольга алюминиевая, фольгированная упаковка, пищевые отходы. В качестве опасных отходов использовался раствор нитрата ртути концентрацией 0,43 г/л. Использовался микробиологический препарат для компостиро-

вания. Препарат развели в соответствии с инструкцией: 1 мл препарата на 1 л воды.

Компоненты каждой фракции измельчались до размера 60 мм. Полученную массу поместили в контейнер, отметили начальную температуру – 22 °С. Для обогащения массы кислородом через каждые 2 дня производилось перемешивание. В процессе компостирования температура повысилась до 34 °С. Через 21 день после начала опыта отбирались пробы для проведения биотестирования. Далее компостируемую массу оставляли еще на 14 дней, продолжая перемешивание. По прошествии 14 дней вновь отбирались пробы для проведения биотестирования.

В ходе эксперимента температура не достигала требуемых значений (60–80 °С), но повышалась на 10–12 °С относительно комнатной температуры. По закону оптимума температура 60–80 °С является оптимальной для необходимой деструкции органической фракции ТКО и выживаемости микроорганизмов в добавляемом микробиологическом препарате.

Для компостирования отходов брали одинаковый общий объем растительных остатков и ТКО – 10 л. На указанный объем вносился 1 л жидкости (дистиллированная вода, раствор микробиологического препарата, раствор нитрата ртути) для поддержания одинаковой влажности.

Степень деструкции во всех видах полученного компоста отличалась. Добавление микробиологического препарата способствовало разложению растительных остатков. Добавление древесной щепы усиливало кислотность компоста, что также способствовало деструкции растительной массы. Степень деструкции оценивается в таблице 1 в пятибалльной системе, где: 1 – деструкция отсутствует, 5 – органическая фракция полностью разложилась (табл. 3).

Проведен эксперимент по биотестированию полученных видов компоста для определения острой и летальной токсичности по гибели ракообразных *Daphnia magna* Straus (далее – дафнии).

Для проведения биотестирования отбирались пробы компоста и готовили водную вытяжку. Приготовление водной вытяжки: 10 г компоста развести в 100 мл дистиллированной воды, поставить на 20 минут на перемешивание.

Из полученной вытяжки приготовить разведения в 10, 100 и 500 раз: 10 мл, 1 мл и 0,2 мл водной вытяжки на 100 мл дистиллированной воды соответственно.

В приготовленные растворы вносили по 10 дафний с помощью стеклянной трубочки. За 2–3 ч до проведения опыта дафний кормили. Растворы с дафниями оставляли на 96 ч для проведения биотестирования.

По прошествии времени биотестирования производился подсчет выживших дафний. Рассчитывались средние арифметические значения количества выживших особей, количество погибших дафний. Полученные результаты представлены в таблице 3.



Таблица 3

**Результаты проведенных экспериментов**

| № субстрата                              | Разведе-<br>ние | Средние арифме-<br>тические количе-<br>ства живых осо-<br>бей, $X_{k(on)}$ | Доля<br>погибших<br>дафний, % | Класс<br>опасности | Степень<br>деструк-<br>ции |
|------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Холостая про-<br>ба (дист. вода)         | 0               | 10                                                                         | 0                             | –                  | –                          |
| Субстрат № 1<br>(21 день<br>выдержки)    | 1/500           | 7,67                                                                       | 23,3                          | IV                 | 2                          |
|                                          | 1/100           | 9,33                                                                       | 6,7                           | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 9,67                                                                       | 3,3                           | IV                 |                            |
| Субстрат № 1<br>(21+14 дней<br>выдержки) | 1/500           | 8,67                                                                       | 13,3                          | IV                 | 3                          |
|                                          | 1/100           | 9,67                                                                       | 3,3                           | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 10                                                                         | 0                             | IV                 |                            |
| Субстрат № 2<br>(21 день<br>выдержки)    | 1/500           | 9,33                                                                       | 6,7                           | IV                 | 3                          |
|                                          | 1/100           | 9,67                                                                       | 3,3                           | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 10                                                                         | 0                             | IV                 |                            |
| Субстрат № 2<br>(21+14 дней<br>выдержки) | 1/500           | 9                                                                          | 10                            | IV                 | 3                          |
|                                          | 1/100           | 9,67                                                                       | 3,3                           | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 10                                                                         | 0                             | IV                 |                            |
| Субстрат № 3<br>(21 день вы-<br>держки)  | 1/500           | 9                                                                          | 10                            | IV                 | 3                          |
|                                          | 1/100           | 9,33                                                                       | 6,7                           | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 10                                                                         | 0                             | IV                 |                            |
| Субстрат № 3<br>(21+14 дней<br>выдержки) | 1/500           | 6,67                                                                       | 33,3                          | IV                 | 4                          |
|                                          | 1/100           | 8,67                                                                       | 13,3                          | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 9,67                                                                       | 3,3                           | IV                 |                            |
| Субстрат № 4<br>(21 день<br>выдержки)    | 1/500           | 6,67                                                                       | 33,3                          | IV                 | 4                          |
|                                          | 1/100           | 6,67                                                                       | 33,3                          | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 9,33                                                                       | 6,7                           | IV                 |                            |
| Субстрат № 4<br>(21+14 дней<br>выдержки) | 1/500           | 9,67                                                                       | 3,3                           | IV                 | 5                          |
|                                          | 1/100           | 9,67                                                                       | 3,3                           | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 10                                                                         | 0                             | IV                 |                            |
| Субстрат № 5<br>(21 день<br>выдержки)    | 1/500           | 9,67                                                                       | 3,3                           | IV                 | 3                          |
|                                          | 1/100           | 9                                                                          | 10                            | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 7,33                                                                       | 26,7                          | IV                 |                            |
| Субстрат № 5<br>(21+14 дней<br>выдержки) | 1/500           | 9,67                                                                       | 3,3                           | IV                 | 4                          |
|                                          | 1/100           | 9,33                                                                       | 6,7                           | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 7                                                                          | 30                            | IV                 |                            |
| Субстрат № 6<br>(21 день<br>выдержки)    | 1/500           | 9,67                                                                       | 3,3                           | IV                 | 3                          |
|                                          | 1/100           | 8,67                                                                       | 13,3                          | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 6,67                                                                       | 33,3                          | IV                 |                            |
| Субстрат № 6<br>(21+14 дней<br>выдержки) | 1/500           | 9,67                                                                       | 3,3                           | IV                 | 4                          |
|                                          | 1/100           | 8,33                                                                       | 16,7                          | IV                 |                            |
|                                          | 1/10            | 6,33                                                                       | 36,7                          | IV                 |                            |

Характеристики и состав полученного компоста напрямую зависят от исходного сырья, санитарные показатели и степень загрязнения отходов. Организация раздельного сбора отходов позволяет существенно уменьшить загрязненность твердых коммунальных отходов.

Компост, полученный в ходе экспериментальных исследований, классифицируется как отход IV класса опасности согласно Федеральному классификационному каталогу отходов [2], что открывает возможности для его применения в сельском хозяйстве и строительной отрасли при формировании техногрунтов. Такое использование способствует рециклингу органических отходов и снижению нагрузки на полигоны ТКО.

#### **Библиографический список**

1. Распоряжение от 29.01.2025 № 1 «Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, на территории Кировской области» от 14.12.2021 №23». Доступ из норматив.-техн. системы КонсультантПлюс.
2. Приказ Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 22 мая 2017г. «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов». Доступ из норматив.-техн. системы КонсультантПлюс.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДА ПРОИЗВОДСТВА САХАРА В КОМПОСТ**

*Л. А. Шибека, И. В. Доминиковская*

*Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь, Shibekal@mail.ru*

Статья направлена на поиск решения одной из экологических проблем современности – совершенствование системы обращения с определенными отходами производства. Для решения указанной проблемы предложено отходы производства сахара и деревообработки использовать для производства компоста. Представлены результаты исследований, позволяющие определить оптимальные условия проведения процесса компостирования.

Ключевые слова: отход, транспортно-мочный осадок, сахар, производство, компост.

Повсеместное увеличение масштабов химического загрязнения и деградации почв на планете перевело указанную экологическую проблему в разряд глобальных. Для успешного ее решения требуются усилия со стороны мирового сообщества.

Республика Беларусь является активным участником различных международных конференций и проектов, направленных на решение глобальных экологических проблем современности. В стране совершенствуется законодательная база в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, разрабатываются мероприятия, направленные на смягчения последствий изменения климата.

В соответствии с «Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года» для

решения проблемы деградации земель предусмотрено внедрение «эколого-безопасных систем земледелия, бережного и эффективного использования продуктивных земель, исключающих деградацию, снижение плодородия и загрязнение почв» [1].

Для снижения антропогенной нагрузки на земельные ресурсы предложены меры, предусматривающих реализацию мероприятий [2] по предотвращению и снижению деградации и загрязнения почв, а также сохранение и повышение плодородия почв сельскохозяйственных земель путем сбалансированного применения органических и минеральных удобрений и др.

Для получения органических удобрений в настоящее время используются различные материалы. В основном это отходы, образующиеся в сельском хозяйстве, деревообрабатывающей и пищевой промышленности.

В работе представлены результаты исследований по применению отходов производства сахара и деревообработки в качестве сырьевых материалов для получения компоста.

В качестве объектов исследований в работе выступали:

- транспортно-мочный осадок (отход производства сахара, образующийся при очистке сточных вод, отводимых со стадии мойки сахарной свеклы);
- свекловичный жом (отход производства сахара, представляющий обессахаренную свекловичную стружку);
- древесные опилки (отход лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств, образующийся при распиловке древесины).

Указанные отходы были отобраны на промышленных объектах Республики Беларусь. Из представленных отходов в отношении свекловичного жома и древесных опилок в литературе предложено и на практике реализовано достаточно большое количество направлений переработки. Наибольшую проблему вызывает транспортно-мочный осадок, который в настоящее время, зачастую, после подсушивания в естественных условиях на территории предприятия по производству сахара вывозится на сельскохозяйственные и иные земли. Учитывая, что в составе данного отхода содержатся органические включения (компоненты сахарной свеклы – части ботвы и плодов, а также сорные растения), он может рассматриваться в качестве потенциального сырьевого материала для получения органического удобрения (компоста).

Цель работы – установление возможности переработки транспортно-мочного осадка и других отходов производства в компост.

Необходимость введения в состав сырьевой смеси, содержащей транспортно-мочный осадок, иных материалов обусловлена высоким содержанием почвы в отходе производства сахара, что не обеспечивает оптимальные условия протекания процессов его компостирования. Для создания указанных условий в сырьевую смесь вводились свекловичный жом или древесные опилки, которые выступали в роли добавок-наполнителей.

Компостируемую смесь готовили при следующем массовом соотношении отходов производства: одна часть транспортно-моечного осадка и две части свекловичного жома или древесных опилок. Длительность процесса компостирования отходов составляла 60 суток, в течение которых осуществляли периодическое перемешивание и увлажнение массы. Из созревшего компоста готовили водную вытяжку и определяли в ней содержание основных питательных элементов (азота, калия в пересчете на  $K_2O$  и фосфора в пересчете на  $P_2O_5$ ). Концентрацию ионов калия и азота определяли потенциометрическим методом, фосфатов – фотометрическим [3]. Результаты исследований представлены на рисунке.

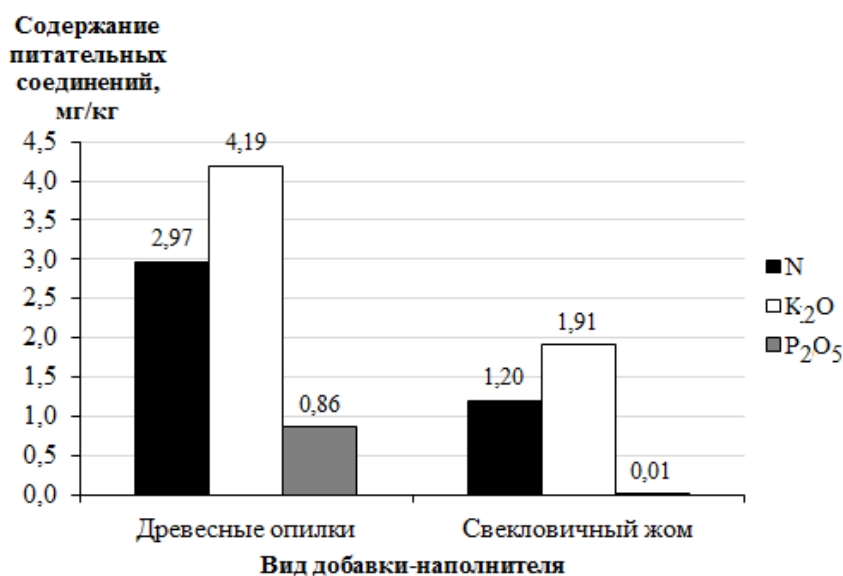


Рис. Содержание питательных элементов в вытяжке из компоста

Результаты исследований свидетельствуют о том, что компост, полученный на основе транспортно-моечного осадка и свекловичного жома, имеет плохие товарные характеристики по суммарному содержанию питательных элементов, чем компост с древесными опилками. Это, вероятно, обусловлено тем, что при введении свекловичного жома в состав сырьевой смеси, подлежащей компостированию, формируется менее рыхлая масса, чем при использовании древесных опилок. В этом случае кислород воздуха не может проникнуть внутрь компостируемой массы, что негативно влияет на микробиологические процессы, протекающие при компостировании.

Следует отметить, что в полученных компостах из определяемых питательных элементов в наибольшем количестве фиксируется содержание ионов калия, а в наименьшем количестве содержатся фосфаты. Существенная разница в количестве фиксируемых питательных элементов в готовых компостах, вероятно, обусловлена исходным содержанием азота, калия и фосфора в транспортно-моечном осадке, свекловичном жоме и древесных опилках. Содержание в указанных отходах питательных элементов зависит от количества азота, калия и фосфора в почве, где произрастает сахарная свекла и древесина.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что отходы производства сахара (транспортно-мочный осадок) и деревообработки (древесные опилки) могут выступать в качестве вторичных сырьевых материалов для получения органического удобрения (компоста). Производство компоста на основе указанных отходов может быть налажено в непосредственной близости от предприятий, осуществляющих переработку сахарной свеклы.

Установлено, что для получения компоста необходимо готовить сырьевую смесь со следующим массовым соотношением компонентов: одна часть транспортно-мочного осадка и две части древесных опилок. Оптимальные условия процесса компостирования отходов: влажность смеси – 60%, периодическое перемешивание смеси, продолжительность процесса – не менее 60 суток.

Полученный из отходов производства компост может найти применение в благоустройстве и озеленении населенных пунктов, рекультивации нарушенных земель и других сферах народного хозяйства.

#### **Библиографический список**

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс] – URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf> (дата обращения: 03.03.2025).
2. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е. И. Громадская, Д. В. Цубленок, М. В. Водейко и др. Минск : РУП «ЦНИИКИВР», 2024. 196 с.
3. Лихачева А. В., Шибeka Л. А. Химия окружающей среды. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие для студ. Минск : БГТУ, 2011. 204 с.

## **ОТХОДЫ ТАБАЧНЫХ ФАБРИК БЕЛАРУСИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

***Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова***

*Институт природопользования НАН Беларуси,  
г. Минск, Беларусь, zhmakova@mail.ru*

Проведен сравнительный анализ физико-химических свойств и компонентного состава отходов трех белорусских табачных фабрик. Показана возможность использования отходов табачного производства этих фабрик в растениеводстве в качестве органических удобрений, а также как сырья для получения жидких регуляторов роста и средств защиты растений от вредителей.

Ключевые слова: табачная пыль, химический состав, органические удобрения, регуляторы роста, инсектицидные препараты.

Табачная отрасль в Республике Беларусь представлена тремя предприятиями, производящими табачные изделия, одно из которых – ОАО «Гроднен-

ская табачная фабрика «Неман» входит в состав концерна «Белгоспищепром», а две фабрики относятся к обществам с ограниченной ответственностью ООО «Табак-инвест» и ООО «Интер Табакко». Ежегодно табачные фабрики Беларуси перерабатывает около 16 тыс. т табачного сырья, более 5% которого уходит в отходы в виде табачной пыли (около 800 т), то есть республика располагает значительными вторичными ресурсами табачного сырья, и разработка эффективных способов их экологобезопасной бесполигонной утилизации является важной практической задачей [1].

Целью работы являлось сравнительное исследование табачных отходов (табачной пыли) трех белорусских предприятий по основным технологическим параметрам с целью определения их пригодности для практического использования в сельском хозяйстве как органических удобрений, регуляторов роста и средств защиты растений от вредителей.

Для создания товарных продуктов, необходимых современному растениеводству, на основе табачной пыли, нужно исходить из ее химического состава.

Табак – однолетние и многолетние травянистые или кустарниковые растения семейства пасленовых. Свойства табака и его химический состав зависят от сорта, почвенно-климатических условий выращивания, применяемых технологий возделывания и переработки в табачные изделия.

К основным органическим соединениям табака относятся углеводы, азотистые соединения, в том числе белки и алкалоиды, органические кислоты, эфирные масла, смолы и др. [2–4]. Химический состав отхода табачного производства – табачной пыли аналогичен составу табачных листьев.

Комплекс химических соединений табака характеризуется высоким содержанием соединений углеводного характера, массовая доля которых составляет 2,0–15,0%, но в отдельных случаях и выше. Углеводы представлены различными классами – от моносахаров (преимущественно глюкозы), ди-, три-, тетрасахаров, до гемицеллюлоз, пектинов и целлюлозы.

В составе табака присутствуют азотсодержащие соединения разных классов. Это соединения белкового характера, в отдельных сортах содержание белка может достигать до 20%, но в среднем их доля в табачном сырье составляет 5,0–13,0%, амины, на долю которых приходится 0,15–1,36% общего азота и свободные аминокислоты, содержание которых сильно варьирует.

К азотсодержащим соединениям табака относятся алкалоиды, основными из которых являются никотин, анабазин и норникотин. При этом на долю никотина приходится 95–97% всех алкалоидов табака. Содержание никотина в табачных листьях находится в широких пределах – от 0,3 до 6,0% по массе.

В составе табака присутствуют кислоты разных классов: летучие жирные, высшие жирные, ди- и трикарбоновые кислоты, альдегидо- и кетокислоты, фенолкарбоновые кислоты, их общее содержание составляет 5,0–17,0% [2].

Табак содержит также эфирные масла (0,09–1,37%), смолы (2,0–17,0%) и некоторые другие вещества в небольших количествах.

В составе табака и табачных отходов в значительном количестве присутствуют минеральные соединения (7–24%), как макроэлементы, необходимые для питания растений, так и биогенные микроэлементы. Содержание общего азота составляет 2–5%, фосфора – 1–2%, калия 2–6%.

Таким образом, химический состав табака и табачных отходов представлен широким спектром органических соединений разных классов, многие из которых обладают выраженной биологической активностью, а также минеральными элементами.

Исходя из этого, можно заключить, что наиболее простым способом беспологонной утилизации является использование табачной пыли в качестве органического удобрения для повышения плодородия почвы. Применение таких удобрений позволяет значительно увеличить содержание в почве органических веществ, основных форм подвижных элементов питания и микроэлементов, повысить биологическую активность почвы, оздоровить ее за счет снижения патогенных микроорганизмов, защитить растения от целого ряда насекомых-вредителей. Высокое содержание органических веществ табачной пыли способствует обогащению почвы микроорганизмами, что дополнительно увеличивает плодородие почвы, улучшает ее структуру и облегчает проникновение кислорода.

Еще одним перспективным направлением применения этого ценного природного продукта, содержащего в своем составе широкий спектр биологически активных соединений разных классов, является использование в качестве сырья для химической переработки с получением жидких инсектицидных препаратов и регуляторов роста растений.

Одним из показателей качества табачных отходов, как технологического сырья, является массовая доля влаги, поскольку излишняя влага может приводить к порче и заплесневению. С массовой долей влаги напрямую связано содержание сухих веществ. Этот показатель, при использовании табачной пыли в качестве органического удобрения, характеризует содержание действующих веществ – сумму органических и минеральных составляющих.

Табак является высокзольным растением и, в случае получения из табачной пыли жидких препаратов, минеральная часть является балластом, затрудняющим перевод в раствор основных органических соединений табака. В этом случае содержание зольных элементов в сырье необходимо ограничить.

Основной характеристикой табачной пыли при получении органических удобрений и жидких регуляторов роста растений являются суммарное содержание органических веществ. Массовая доля органических веществ в составе табачной пыли в пересчете на сухое вещество должно регламентироваться техническими требованиями к отходу, как к сырью для этих целей.

Исследованы физико-химические свойства образцов табачной пыли белорусских фабрик ОАО «Гродненская табачная фабрика «Неман», ООО «Табак-инвест» и ООО «Интер Табакко» (табл.).

**Характеристики образцов табачной пыли табачных фабрик Беларуси**

| Показатель                                               |                                              | 1     | 2     | 3     |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Массовая доля влаги, %                                   |                                              | 12,0  | 9,6   | 10,4  |
| Массовая доля сухого вещества, %                         |                                              | 88,0  | 90,4  | 89,6  |
| Массовая доля золы,<br>% на сухое вещество               |                                              | 16,3  | 12,7  | 9,9   |
| Массовая доля органического вещества % на сухое вещество |                                              | 83,7  | 87,3  | 90,1  |
| Насыпная плотность, кг/ м <sup>3</sup>                   |                                              | 341,0 | 346,0 | 349,0 |
| рН                                                       |                                              | 5,7   | 5,8   | 5,7   |
| Компоненты, % в органической массе                       | ВР                                           | 32,3  | 32,6  | 31,1  |
|                                                          | ЛГ                                           | 43,7  | 42,9  | 44,0  |
|                                                          | ТГ                                           | 4,4   | 4,8   | 4,7   |
|                                                          | ЩР                                           | 10,1  | 10,6  | 11,5  |
|                                                          | Л                                            | 9,5   | 9,1   | 8,7   |
| Массовая доля, % на сухое вещество                       | общего азота                                 | 2,5±  | 2,4   | 2,3   |
|                                                          | общего фосфора Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> | 1,04  | 1,03  | 1,00  |
|                                                          | общего калия К <sub>2</sub> О                | 2,9   | 2,4   | 2,6   |
|                                                          | никотина                                     | 1,9   | 1,6   | 1,7   |

*Примечание:* табачные фабрики: 1 – ОАО «Гродненская табачная фабрика «Неман», 2 – ООО «Табак-инвест», 3 – ООО «Интер Табакко»; компоненты: ВР – водорастворимые, ЛГ и ТГ – легко- и трудногидролизуемые, ЩР – щелочерастворимые вещества, Л – лигнин.

Исследования показали, что массовая доля влаги во всех образцах табачной пыли достаточно низкая и составляет 9,6–12,0%, а сухого вещества – 88,0–90,4%.

Табачная пыль всех фабрик отличалась высоким содержанием органических веществ, при этом их массовые доли в сухом веществе табачной пыли разных фабрик отличались незначительно, наиболее высокие показатели – 90,1% у табачной пыли ООО «Интер Табакко», соответственно у отхода этой фабрики меньше зольных элементов (9,9%). У табачной пыли Гродненской табачной фабрики «Неман» и ООО «Табак-инвест» органических веществ меньше, а минеральных составляющих больше, чем у ООО «Интер Табакко» на 6,4 и 2,8% соответственно. При применении данного табачного отхода как органического удобрения это не так важно, поскольку этот отход вносится в почву, как таковой. При использовании табачной пыли для получения жидких продуктов ограничение зольности и высокое содержание органических веществ важно, в связи с тем, что действующими биологически активными веществами в этом случае являются переходящие в раствор природные органические соединения табака, а также вещества, образующиеся в результате вторичных реакций. При этом основным биологически активным компонентом жидких продуктов химической деструкции табачной пыли являются вещества меланоидиновой природы, образующиеся в результате реакций конденсации соединений, имеющих аминогруппу, в частности, аминокислот, с редуцирующими углеводами и карбонильными соединениями неуглеводного характера по реакции Майяра. Процесс имеет многоступенчатый характер и связан с



образованием значительного количества азотсодержащих продуктов различной степени конденсации и растворимости. В конечном итоге возможно получение меланоидинов – темноокрашенных пигментов большой молекулярной массы с различной степенью растворимости в воде и щелочах. Известно, что меланоидины обладают высокой биологической активностью. На основе отходов табачного производства могут быть получены регуляторы роста растений меланоидиновой природы. Реакции меланоидинообразования происходят при извлечении основных алкалоидов табака в щелочной среде с получением жидких инсектицидных препаратов. Эти препараты будут обладать сочетанным действием – инсектицидным и ростстимулирующим.

Для характеристики органической части образцов табачной пыли выполнен групповой химический анализ, предусматривающий определение таких компонентов углеводного характера как водорастворимые, легко- и трудногидролизуемые вещества, а также щелочерастворимых веществ и лигнина (табл.).

Табачная пыль всех фабрик характеризуется высоким содержанием водорастворимых компонентов и легкогидролизуемых углеводов при незначительном количестве трудногидролизуемых соединений (целлюлозы) и лигнина. Это позволяет расценивать ее как лабильное химико-технологическое сырье способное поддаваться деструкции при переработке, а компоненты табачной пыли легко переходят в растворимое состояние при водной экстракции, гидролизе растворами минеральных кислот и щелочей. Отличия между образцами табачной пыли по компонентам углеводного характера, количеству соединений, растворимых в щелочной среде, и содержанию лигнина несущественны.

В случае использования табачной пыли в качестве органического удобрения важным является содержание в ее составе азота, фосфора и калия, а при получении инсектицидных препаратов – никотина (табл.).

Исследования показали наличие в отходах табачного производства белорусских табачных фабрик значительных количеств питательных элементов.

Массовая доля общего азота составила 2,3–2,5%, общего фосфора – около 1,0%, а калия – 2,4–2,9%. Эти показатели свидетельствуют о возможности использования табачной пыли белорусских фабрик не только для обогащения почвы органикой, но и для частичного обеспечения растений элементами питания. Высокое содержание никотина в табачной пыли всех фабрик показывает возможность получения на ее основе средств защиты растений от вредителей.

Таким образом, сравнительное исследование физико-химических свойств и компонентного химического состава табачной пыли трех белорусских табачных фабрик показало незначительные отличия этих характеристик. Табачная пыль всех фабрик характеризовалась высоким содержанием органических веществ и питательных элементов – азота, фосфора и калия, что предполагает возможность использования ее в качестве органического удобрения в растениеводстве. Установлено, что отход табачного производства –

табачная пыль является лабильным химико-технологическим сырьем, органическое вещество которого при химической переработке способно в значительной степени переходить в раствор с получением жидких препаратов, содержащих биологически активные соединения ростстимулирующего действия. Присутствие значительных количеств никотина в образцах табачной пыли всех фабрик позволяет получать на ее основе жидкие препараты инсектицидного действия для защиты растений от вредителей.

#### Библиографический список

1. Миргородская А. Г., Шкидюк М. В., Матюхина Н. Н. Современные технологии использования табачных отходов // Вестник ВГЦИТ. 2018. Т. 80. С. 46–55.
2. Шмук А. А. Химия табака и махорки М. : Пищепромиздат, 1938. 544 с.
3. Писклов В. П., Кочеткова С. К., Дурунга Н. А. Сравнительный анализ химического состава табачного сырья // Известия Вузов. Пищевая технология. 2012. № 5–6. С. 20–24.
4. Дон Т. А., Миргородская А. Г., Шкидюк М. В. Исследование некурильной никотинсодержащей продукции // Новые технологии. 2019. Вып. 2 (48). С. 40–45.
5. Мохначев И. Г., Загоруйко М. Г. Химия и ферментация табака. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. 247 с.

### КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИЦЕЛИЯ ГРИБОВ *FLAMMULINA VELUTIPES* И *LENTINULA EDODES* НА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ С ДОБАВЛЕНИЕМ БАНАНОВЫХ ОТХОДОВ

**Г. В. Песцов, О. В. Прокудина, А. С. Мяжкова,  
А. В. Третьякова, В. С. Воронцов**

Тульский государственный педагогический  
университет имени Л. Н. Толстого», г. Тула, Россия, [info@tsput.ru](mailto:info@tsput.ru)

В статье представлены результаты изучения роста мицелия грибов *Flammulina velutipes* (эноки) и *Lentinula edodes* (шиитаке) на агаризованных питательных средах с добавлением некондиционных бананов. Такие бананы содержат большое количество углеводов, целлюлозу, гемицеллюлозу, крахмал, макро- и микроэлементы, витамины, которые необходимы для нормального роста и развития мицелия съедобных грибов.

Ключевые слова: съедобные грибы, мицелий, *Flammulina velutipes* (эноки), *Lentinula edodes* (шиитаке), некондиционные бананы, питательные среды.

Бананы – это одни из самых популярных и широко культивируемых растений в мире. Они являются четвёртой по объёму выращиваемой в мире культурой, уступая только рису, пшенице и кукурузе. Согласно прогнозам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) мировое производство бананов к 2029 г. должно увеличиться до 126 млн т [1]. В плодах бананов содержится 74% воды, 19% моно- и дисахаридов, 2%

крахмала, 0,8% клетчатки, 0,5% белков, 0,1% жиров, 0,9% зольных веществ. Также в бананах содержится большое количество макро- и микроэлементов (Na, K, Ca, Mg, P, Fe), витаминов (бета-каротин, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР, С) [2]. Однако, после сбора урожая до 60% плодов становятся некондиционными и подлежат утилизации. Это связано с тем, что бананы являются скоропортящейся продукцией и для их длительного хранения необходимо создавать специальные условия (влажность, пониженная температура). Также помимо плодов, отходом является и банановая кожура, которая содержит большое количество питательных элементов и может использоваться как вторичное сырье. Химический состав кожуры банана характеризуется следующим составом: пектин – 21%, гемицеллюлоза – 9,4%, целлюлоза – 7,6%, лигнин – 6%, белки – 1,2%, жиры – 0,3%, сахара – 0,5%, зола – 1,5%, дубильные и красящие вещества – 0,12% [3, 4]. Мякоть некондиционных бананов и банановая кожура являются перспективным сырьем для выращивания мицелия съедобных грибов *Flammulina velutipes* и *Lentinula edodes*, так как содержат большое количество необходимых для роста биологически активных веществ [5].

Вид *Flammulina velutipes* (эноки) относится к отделу *Basidiomycota*, классу *Agaricomycetes*, семейству *Physalacriaceae* [6]. В естественной среде обитания плодовые тела образуются группами на брёвнах, пнях, и корнях ослабленных лиственных пород деревьев в странах с субтропическим и умеренным климатом. Как и многие другие съедобные грибы эноки содержат большое количество различных питательных и биологически активных веществ: белков, полисахаридов, растворимых безазотистых веществ, ненасыщенных жирных кислот, клетчатки, витаминов, минералов, поэтому данный гриб можно использовать в пищевой и фармацевтической промышленности [7].

Вид *Lentinula edodes* (шииитаке) относится к отделу *Basidiomycota*, классу *Agaricomycetes*, семейству *Omphalotaceae* [6]. Широко распространён в странах с субтропическим и умеренным климатом. Благодаря содержанию большого количества биологически активных веществ (в т. ч. гемицеллюлозы, протеина, альбумина, аминокислот, эргостерина, фунгестерина, лентинана, лентина, лектина, эритаденина, витаминов, макро- и микроэлементов), востребован в пищевой и фармацевтической промышленности [8].

Исследование проводили в микробиологической лаборатории центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии» им. С. С. Гитиса Тульского государственного педагогического университета имени Л. Н. Толстого. Культивирование мицелия *F. velutipes* и *L. edodes* проводили на агаризованных питательных средах. В качестве питательных сред использовали картофельный агар (КА, эталон), голодный агар (ГА, контроль), банановый агар (БА), а также питательную среду на основе банановой кожуры (БК). Мякоть бананов и банановую кожуру добавляли в количестве 5 г на 100 г питательной среды. Стерилизацию питательных сред проводили в автоклаве ВК-75-1 при 1,2 атм. в течении 60-ти мин. Затем питательные среды в стерильных условиях разливали в чашки Петри и проводили инокуляцию ми-

целием чистых культур изучаемых грибов. Работу по инокуляции питательных сред чистыми культурами изучаемых грибов проводили в ламинарном боксе БАВнп-01-«Ламинар-С», затем чашки Петри помещали в суховоздушный термостат ТС-1/80 СПУ. Культивирование проводили в течение 7-ми сут при постоянной температуре 24 °С. Повторность опыта 8-ми кратная. Замеры производили на 7-е сутки (рис. 1, 2).

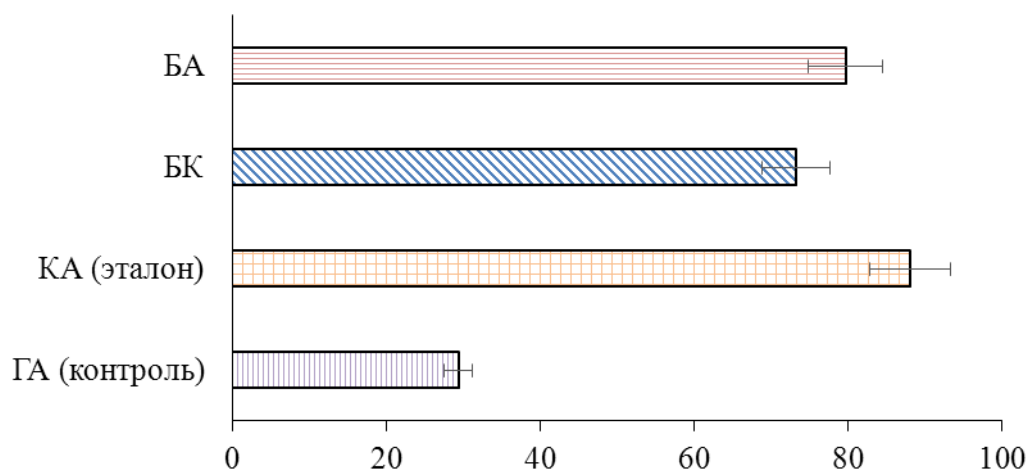


Рис. 1. Радиальный рост мицелия гриба *F. velutipes*

В результате проведенного исследования удалось установить, что для выращивания мицелия гриба *F. velutipes* подходят питательные среды как на основе некондиционной банановой мякоти, так и на основе банановой кожуры. Диаметры колоний, характеризующие радиальный рост мицелия составили 79,7 мм и 73,2 мм соответственно. При этом мицелий был пушистым, приподнятым над поверхностью питательной среды, состоял из длинных гиф, что говорит о высоком его качестве. Стоит отметить, что полученные результаты на питательных средах с использованием некондиционных бананов были близки к результатам, полученным при выращивании мицелия гриба *F. velutipes* на эталонной питательной среде – картофельном агаре.

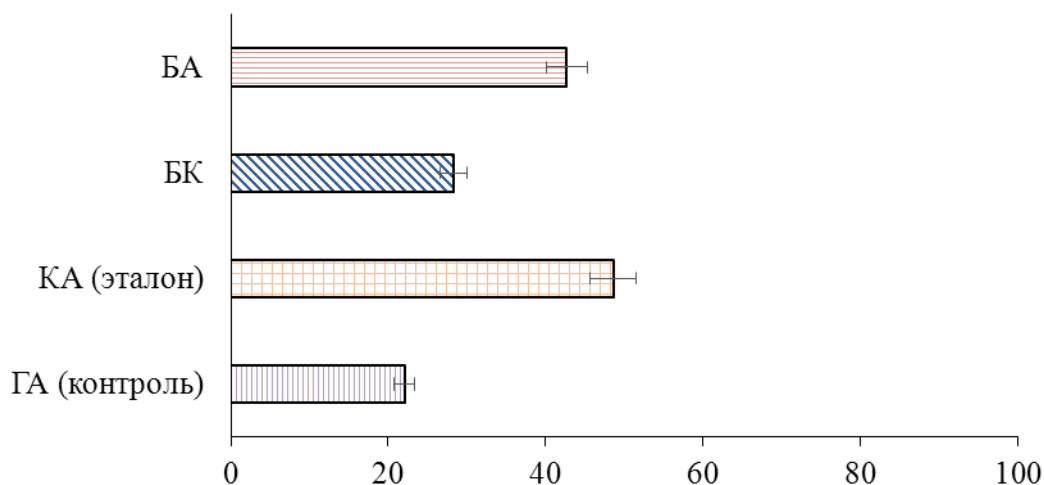


Рис. 2. Радиальный рост мицелия гриба *L. edodes*

Результаты работы, представленные на рисунке 2 показывают, что лучше всего мицелий рос на картофельном агаре (эталон), диаметр колонии на седьмые сут. составлял 48,6 мм, несколько медленнее рос мицелий на питательной среде с добавлением мякоти банана диаметр колонии был равен 42,7 мм, на питательной среде с добавлением кожуры банана был всего 28,3 мм, а на голодном агаре (контроль) – 22,1 мм. Установлена прямо пропорциональная зависимость содержанием необходимых питательных веществ в среде и радиальным ростом мицелия гриба *L. edodes*. Действительно банановая кожура имеет меньше питательных веществ в своем составе по сравнению с банановой мякотью. Также обращает на себя внимание тот факт, что шиитаке является медленнорастущим грибом по сравнению с эноки, возможно для активизации его роста и развития необходимо большее количество простых и сложных углеводов.

Таким образом установлено, что банановые отходы могут использоваться в качестве добавки к питательным средам для выращивания мицелия съедобных грибов видов *F. velutipes* и *L. edodes*, но состав питательных сред требует доработки. В дальнейшем некондиционные бананы можно будет использовать в составе субстратов для выращивания плодовых тел этих грибов.

*Работа выполнена в рамках внутреннего гранта ФГБОУ ВО «Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого» 2024 года «Разработка элементов технологии выращивания мицелия и плодовых тел гриба *Flammulina velutipes* (эноки)» по договору № 5 НИР/24/07 от 11.06.2024 г.*

#### Библиографический список

1. Ермолаев В. А. Анализ влияния параметров хранения и переработки на показатели качества бананов. DOI: 10.36107/ spfr.2022.328 // Хранение и переработка сельхозсырья. 2022. № 2. С. 30–40.
2. Скурихина И. М. Химический состав пищевых продуктов : Книга 1 : Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / под ред. И. М. Скурихина, М. Н. Волгарева. М. : ВО «Агропромиздат», 1987. С. 70–71.
3. Вишнякова Е. А., Чанов И. М. Рациональное использование банановой кожуры // Инновации и современные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции : сб. статей по материалам Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. / под общ. ред. И. Н. Миколайчика. Курган : Изд-во Курганской ГСХА, 2022. С. 35–38.
4. Фам Т. М., Цибизова М. Е. Химико-технологические свойства вторичных продуктов переработки плодового сырья Вьетнама // Известия вузов. Пищевая технология. 2012. № 1. С. 19–21.
5. Recovery of banana waste-loss from production and processing: a contribution to a circular economy // S. Alzate Acevedo, Á. J. Díaz Carrillo, E. Flórez-López, C. D. Grande-Tovar. DOI: 10.3390/molecules26175282 // Molecules. 2021. Vol. 26. No. 17. Article No. 5282.
6. NCBI [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения: 10.03.2025).
7. Enoki mushroom (*Flammulina velutipes* (Curtis) Singer) breeding / V. Sharma, A. Barh, R. K. Bairwa, et al. DOI: 10.1007/978-3-030-66969-0\_11 // Advances in plant breeding

strategies : vegetable crops / Eds. J. M. Al-Khayri, S. M. Jain, D. V. Johnson. Cham : Springer, 2021. P. 423–441.

8. Shiitake mushroom (*Lentinula edodes* (Berk.) Sing.) breeding in China // Q. Xiang, B. Adil, Q. Chen, et al. DOI: 10.1007/978-3-030-66969-0\_12 // Advances in plant breeding strategies : vegetable crops / Eds. J. M. Al-Khayri, S. M. Jain, D. V. Johnson. Cham : Springer, 2021. P. 443–476.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДОВ НА ПЕРЕРАБОТКУ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ЖИВОТНОВОДСТВА И ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ**

**И. А. Прохоров<sup>1</sup>, Н. В. Сырчина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ООО «ЭКОЦЕНТР УРАЛА», г. Екатеринбург, Россия,  
*ex-energy@mail.ru*,

<sup>2</sup> Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,  
*nvms1956@mail.ru*

Рассмотрены перспективы внедрения комплексного подхода к утилизации отходов и побочных продуктов производства, образующихся в разных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Показано, что создание замкнутых самодостаточных кластеров по переработке отходов и потреблению полученного продукта, позволяет оптимизировать расходы, внедрить новые энергосберегающие технологии, обеспечить рынок сбыта.

Ключевые слова: побочные продукты животноводства, металлургические шлаки, переработка отходов, удобрения, производственно-потребительские кластеры.

Важнейшим условием устойчивого развития и обеспечения экологически благоприятного будущего является максимальное сокращение количества отходов производства и потребления. Успешное решение соответствующей проблемы невозможно без внедрения эффективных технологий переработки отходов в практически значимые продукты. Технология считается эффективной в том случае, когда она соответствует критерию экономичности. Слишком высокие затраты на технологический процесс, не окупающиеся реализацией готового продукта, являются основным сдерживающим механизмом рециклинга тех или иных видов отходов или побочных продуктов производства. К числу продуктов, проблема рациональной утилизации которых до настоящего времени не получила экономически и экологически обоснованного решения, можно отнести побочные продукты животноводства (ППЖ), а также сходные с ними по составу и свойствам осадки сточных вод очистных сооружений коммунальных систем (ОСВ).

Для ППЖ и ОСВ характерно высокое содержание биогенных органических веществ, соединений азота, фосфора и калия, а также полный набор микроэлементов, необходимых для поддержания плодородия почв и нор-

мального развития растений. Соответствующие биогенные побочные продукты (БПП) после специальной обработки (обезвреживания, обеззараживания) могут найти применение в качестве удобрений, почвогрунтов или рекультивантов. Применение ППЖ в сельскохозяйственном производстве регулируется Федеральным законом № 248-ФЗ от 14.07.2022; использование ОСВ – государственным стандартом ГОСТ Р 59748-2021. Основная цель обработки – обеспечить нормативные санитарно-эпидемиологические, химические и физические характеристики, минимизирующие отрицательное воздействие БПП на окружающую среду (ОС). Возможные экологические риски для ОС обусловлены наличием в БПП широкого спектра несвойственных природным средам микроорганизмов (включая патогенные) и опасных химических соединений (тяжелых металлов, фармацевтических и ветеринарных препаратов, детергентов, дезинфицирующих средств и др.). Чаще всего для обеззараживания используют естественный биологический метод – длительное выдерживание БПП на специально оборудованных площадках или в лагунах. Продолжительность обработки, в зависимости от вида и исходных характеристик БПП, а также сезона может занимать от 3 до 12 месяцев. Складирование тысяч тонн ППЖ и ОСВ в местах обработки приводит к интенсивному химическому и биологическому загрязнению ОС [1].

Сократить время на обработку позволяют химические и физические методы. Химические методы базируются на применении реагентов [2–4]. Физическая обработка чаще всего предполагает использование высоких температур для снижения влажности и устранения нежелательной микробиоты [5]. Основным недостатком соответствующих методов являются высокие инвестиционные и эксплуатационные затраты (в том числе затраты на технологическое оборудование, реагенты, энергоресурсы и т.д.). Разработка перспективных подходов и технологических решений, позволяющих снизить соответствующие затраты, представляет актуальную и практически значимую задачу.

Цель работы – разработать принципы создания производственно-потребительских кластеров для оптимизации производства, снижения себестоимости переработки БПП в органоминеральные удобрения (ОМУ) и обеспечения потребительского спроса на готовый продукт.

В качестве информационной основы для подготовки настоящей работы использован многолетний опыт работы ООО «ЭКОЦЕНТР УРАЛА», а также результаты взаимодействия соответствующей организации с производителями сельскохозяйственной и промышленной продукции.

При переработке ППЖ и ОСВ в удобрения необходимо решить две основные задачи: обеззаразить сырье и обеспечить необходимый уровень стабильности, позволяющий хранить удобрения в складских помещениях и транспортировать их на значительные расстояния [6]. Обе задачи могут быть решены за счет высокотемпературной обработки БПП. К преимуществам соответствующего метода, по сравнению с методом естественного микробиологического обеззараживания (компостирования), можно отнести сокращение

потребности в площадях; снижение сроков обработки БПП; улучшение санитарных и товарных характеристик, расширение рынка сбыта, снижение потерь азота, сокращение затрат на транспортирование и внесение удобрений, непрерывный производственный процесс. Основные недостатки – значительные расходы на оборудование и энергоносители, а также отсутствие гарантированных рынков сбыта готовой продукции.

Высокотемпературная обработка (сушка) позволяет полностью уничтожить патогенную микробиоту, гельминты, яйца гельминтов, семена сорных растений, понизить влажность до 10–12% и получить стабильный сыпучий продукт без выраженного неприятного запаха, пригодный для хранения, транспортировки и механизированного внесения в почву, при этом практический расход природного газа на высушивание 1 тонны навоза или куриного помета естественной влажности достигает 200 м<sup>3</sup>. На птицефабрике средней мощности образуется около 300 тонн помета в сутки. Расходы на газ для термической обработки такого количества ППЖ составят около 130 млн руб. в год. Если газ для предприятия не доступен, то расходы на энергоносители увеличиваются в несколько раз. Совокупное действие таких факторов, как низкая рыночная стоимость органических удобрений, нецелесообразность транспортирования удобрений на основе БПП на значительные расстояния, высокие расходы на технологическое оборудование и энергоносители на фоне умеренных штрафов за загрязнение ОС в большинстве случаев делают переработку БПП в гранулированные формы ОМУ экономически не целесообразной.

Для снижения энергозатрат на обеззараживание БПП необходимо учитывать характерную для конкретных предприятий стратегию управления побочными продуктами, а именно:

- требуется ли длительное хранение образующихся БПП. Если БПП не предназначены для хранения, то перед использованием их можно только обеззаразить (на относительно короткое время нагреть до высокой температуры), что сокращает расходы на высушивание;

- требуется ли гранулирование продукта. Если продукт на основе БПП предназначен для хранения, но может быть использован в сыпучей негранулированной форме, то значительное снижение влажности может быть достигнуто за счет смешивания с другими экологически безопасными и агрохимически ценными материалами с низкой естественной влажностью (глауконитом, известняковой или доломитовой мукой, биоуглем, безвредными металлургическими шлаками и др.);

- возможно ли для переработки БПП использовать технологию влажного гранулирования.

Анализ соответствующих факторов позволяет определить наиболее эффективную и целесообразную стратегию обработки БПП.

Технически и экономически для обеззараживания и сушки весьма перспективным может стать использование пиролизных установок с соответствующей адаптацией их конструкции под перерабатываемый продукт. За



счет оптимизации технических решений и применения пиролизного газа можно снизить уровень потребления природного газа до 3–5 м<sup>3</sup> газа на тонну «сырых» ППЖ. Более того, соответствующий подход позволит решить проблему переработки ОСВ, для обезвоживания которых широко применяют различные флокулянты. Нагруженные флокулянтами ОСВ в естественных условиях на открытом воздухе подсыхают только с поверхности. Под верхним слоем сохраняется повышенная влажность, достаточная для активного протекания процессов гниения. Высокие температуры вызывают деструкцию флокулянтов, что облегчает процесс высушивания ОСВ или смеси ОСВ с теми или иными добавками и наполнителями. При пиролизе (термическом разложении соединений в условиях дефицита кислорода), кроме обеззараживания происходит и дополнительное обезвреживание за счет перевода тяжелых металлов в малоподвижную форму, что позволяет использовать обработанные ОСВ в качестве удобрений, почвогрунтов, мелиорантов, изолирующих материалов и т. п.

Значительный интерес в качестве добавок для БПП могут представлять золошлаковые отходы металлургических производств и ТЭЦ, проблема рациональной утилизации которых также далека от решения [7, 8]. Вместе с тем, использование соответствующих отходов в сельском хозяйстве позволяет улучшить свойства почвы, обогатить её элементами минерального питания, оптимизировать водно-воздушный режим, нейтрализовать кислотность [9]. На основе сочетания золошлаковых отходов, ППЖ и ОСВ могут быть созданы новые составы бюджетных ОМУ, отличающиеся агрохимической эффективностью, а также пригодностью к хранению и транспортировке.

Комплексный подход к утилизации отходов, образующихся в разных отраслях промышленного и сельскохозяйственного производства, позволяет создавать замкнутые самодостаточные кластеры по переработке отходов и потреблению полученного продукта. В состав кластеров могут входить заинтересованные в переработке своих отходов и снижении экологических платежей металлургические заводы, ТЭЦ, птицефабрики, животноводческие комплексы, располагающие значительными посевными площадями сельскохозяйственные организации, полигоны для размещения промышленных и коммунальных отходов и т. п. В результате кластерного взаимодействия предприятий, объединенных по территориальному признаку и наличию общей технологии переработки и использования конкретных видов отходов, получается замкнутая система, в которой поставщики сырья – отходов производства – являются и потребителями готового продукта. Соответствующий принцип позволяет снизить издержки и улучшить экономические показатели производства, уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду, повысить плодородие почв.

Финансовые затраты предприятий при кластерной реализации проекта переработки отходов снижаются, поскольку затраты распределяются между всеми участниками кластера. Если каждое предприятие будет разрабатывать технологию переработки под свой отход, самостоятельно искать рынок сбыта

полученного продукта, приобретать реагенты и оборудование, то финансовые затраты и риски значительно возрастают, а конкурентные отношения обостряются. Например, просто отдавать шлак на переработку, снижая при этом плату за размещение отходов, это одно, а перерабатывать самостоятельно шлак, неся значительные затраты на энергоресурсы, материалы, оборудование, не имея при этом гарантии выгодной реализации полученной продукции – совсем другое.

Работы по созданию кластера, изготовлению оборудования, отладке технологии, организации взаимодействия между научным коллективом и конечным потребителем продукции может взять на себя инжиниринговая компания. Большой практический опыт в этом отношении накоплен командой специалистов инжиниринговой компании ООО «Экоцентр Урала» (г. Екатеринбург).

**Выводы.** При кластерной организации переработки отходов предприятия, входящие в состав кластера, получают реальный положительный экономический эффект. Эксплуатационные и капитальные затраты на переработку отходов при этом кардинально снижаются. Для некоторых предприятий эти расходы будут равны нулю.

Основная доля расходов при переработке ППЖ и ОСВ в удобрения приходится на топливо и реагенты. Если в качестве реагентов применяются отходы металлургических производств или золоотвалы ТЭЦ, а в качестве топлива используется сам отход (помет, навоз, ОСВ), то эксплуатационные расходы составят 50–100 руб. на тонну помета, навоза или ОСВ. Готовый продукт может быть использован участниками кластера в качестве удобрения или почвогрунта для рекультивации нарушенных земель или полигонов ТКО.

Создание производственно-потребительских кластеров позволяет не только оптимизировать расходы предприятий-участников, но и обеспечить рынки сбыта готовой продукции, уменьшить конкуренцию между родственными предприятиями, повысить качество и адаптировать состав и свойства ОМУ под конкретные почвы и выращиваемые культуры.

#### **Библиографический список**

1. Биологическое загрязнение почв побочными продуктами животноводства / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-201-210 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 2. С. 201–210.
2. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых и др. DOI: 10.35885/1684-7318-2023-1-107-116 // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 107–116.
3. Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние подкисления на эмиссию сероводорода в органических отходах свиного комплекса. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-4-102-106 // Проблемы региональной экологии. 2021. № 4. С. 102–106.
4. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Колеватых Е. П. Оценка безопасности восстановленной подстилки, полученной на фильтрационно-сушильной установке. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.1.45.51 // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 1 (33). С. 45–51.

5. Рациональная утилизация отработанной серной кислоты, образующейся при производстве хлора / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырева. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-143-148 // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 143–148.
6. Производство биоорганоминеральных удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве / А. В. Сазанов, Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина и др. // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 85–90.
7. Шлаки металлургического производства – перспективный материал для рекультивации техногенных отходов / И. П. Беланов, Н. Б. Наумова, И. С. Семина, О. А. Савенков // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 6. № 12. С. 987–992.
8. Волкова Е. Н., Какимов М. Г. Влияние металлургических шлаков на свойства дерново-подзолистой почвы // II Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика : материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 22 мая 2014 г.). СПб. : Ленинградский государственный университет им. А. С. Пушкина, 2014. С. 37–42.
9. Палеев П. Л., Худякова Л. И. Использование золошлаковых отходов в сельском хозяйстве // XXI век. Техносферная безопасность. 2021. Т. 6. № 4 (24). С. 348–356.

## **ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИФЕНОЛОВ В СЕМЕННОЙ ОБОЛОЧКЕ ЗЕРНОВКИ ОВСА**

**Е. В. Товстик<sup>1,2</sup>, А. П. Надейкина<sup>1</sup>, О. Н. Шуплецова<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup> Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,  
<sup>2</sup> Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, [tovstik2006@inbox.ru](mailto:tovstik2006@inbox.ru)

В статье представлены результаты валидации методики спектрофотометрического определения полифенолов (ПФ) с реактивом Фолина – Чокальтеу (ФЧ) в семенной оболочке зерновки овса (*Avena sativa* L.) сорта «Архан». Методика определения основана на реакции окисления ПФ, входящих в состав щелочного экстракта, реактивом ФЧ и последующем измерении абсорбции раствора на спектрофотометре при длине волны 765 нм. Стандартом служила галловая кислота. Доказано, что методика валидна по показателям линейность, правильность и может быть использована для количественного определения ПФ в семенной оболочке зерновки овса.

**Ключевые слова:** галловая кислота, спектрофотометрия, реактив Фолина – Чокальтеу, линейность, повторяемость.

Полифенолы (ПФ), являющиеся вторичными метаболитами растений, представляют научный интерес с точки зрения применения их в качестве средств профилактики сердечнососудистых заболеваний, онкопатологии, нейродегенеративных заболеваний [1]. При этом одним из основных механизмов их действия является снижение в клетке количества активных радикалов и уменьшение перекисного окисления липидов [2], что обеспечивает протективный эффект от мутаций в генах и защиту от деструкции клеточных

мембран. Фармакопейными источниками ПФ являются плоды боярышника (*Crataegi fructus*); цветки липы (*Tiliae flores*), пижмы обыкновенной (*Tanacetii vulgaris flores*); трава сушеницы топяной (*Gnaphalii uliginosi herba*), хвоща полевого (*Equiseti arvensis herba*); кукурузы столбики с рыльцами (*Zea mays styli cum stigmatibus*) и др. [3].

Повышенный интерес к нефармакопейным источникам ПФ обусловлен реализацией стратегии развития фармацевтической промышленности в Российской Федерации, одной из ключевых задач которой является расширение производственной номенклатуры основных действующих веществ, сырья, материалов, оборудования и комплектующих для обеспечения лекарственной безопасности [4].

Овес (*Avena sativa* L.) является популярным злаком, широко используемым по всему миру, и представляет собой природный источник ПФ. Овес имеет значительные перспективы для разработки функциональных продуктов питания, а также средств для поддержания здоровья, в том числе профилактики и лечения диабета [5]. Фенольные кислоты, особенно феруловая (250 мг/кг), являются наиболее распространенными ПФ в овсе [6]. Однако наибольшую ценность эта культура имеет из-за наличия в ее составе авенантрамидов, которые не синтезируются в прочих злаках. Авенантрамиды представляют собой производные гидроксиантраниловой кислоты (гидроксिलированные 2-аминобензойные кислоты) или конъюгаты гидроксикоричных кислот, обладающих мощным антиоксидантным действием. Среди продуктов переработки овса его отруби и хлопья содержат наибольшую концентрацию авенантрамидов [7]. На сегодняшний день объем исследований данной группы фенольных соединений ограничен, имеется необходимость разработки методов идентификации авенантрамидов и их количественной оценки.

Широко используемым методом определения общего содержания ПФ в растительном сырье является метод Фолина – Чокальтеу (ФЧ). Государственная Фармакопея (ГФ) РФ также включает метод ФЧ в качестве процедуры измерения общего содержания ПФ в лекарственном растительном сырье и препаратах [3]. Метод определения ПФ основан на восстановлении реагента ФЧ фенольными соединениями в щелочной среде с образованием соединений состава  $\text{PMoW}_{11}\text{O}_{40}$  или гидратированных гидроксидов  $\text{Mo}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Mo}_4\text{O}_{11} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Mo}_8\text{O}_{23} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , имеющих максимум поглощения при длине волны 765 нм [8]. Наиболее часто в качестве стандарта при определении содержания ПФ используется галловая кислота, так как, по сравнению с другими фенольными кислотами, она демонстрирует самую высокую абсорбцию. Несмотря на многочисленные преимущества метода ФЧ (простота, воспроизводимость и надежность), отмечается чувствительность реакции к многим факторам (рН, температура, время), в связи с этим условия ее проведения должны быть тщательно отработаны для получения надежных результатов [9, 10].

Поскольку аттестованная методика определения содержания ПФ в овсе отсутствует, целью данной работы стала валидация методики определения общего содержания ПФ в семенной оболочке зерновки овса сорта «Архан» с реактивом ФЧ.

Извлечение ПФ из семенной оболочки проводили при температуре  $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$  методом мацерации. В качестве экстрагента использовали 2 н. раствор щелочи. Для измерения абсорбционности растворов использовали спектрофотометр марки ПЭ5300ВИ, ООО «Экротех», Россия (стеклянные кюветы с толщиной слоя 1 см).

Валидацию методики осуществляли согласно ОФС.1.1.0012 «Валидация аналитических методик» ГФ РФ XV издания по показателям линейность, повторяемость. Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием программы Microsoft Excel.

Линейность методики устанавливали на пяти уровнях концентрации (80, 90, 100, 110, 120%) при  $n = 3$ . Растворы готовили путем уменьшения или увеличения аликвоты щелочного экстракта (0,8; 0,9; 1,0; 1,1 и 1,2 мл соответственно). Значение аналитического сигнала (оптическая плотность) для каждой концентрации получали путем расчета среднего результата двух параллельных измерений. Строили график зависимости оптической плотности растворов от аликвоты (рис.).

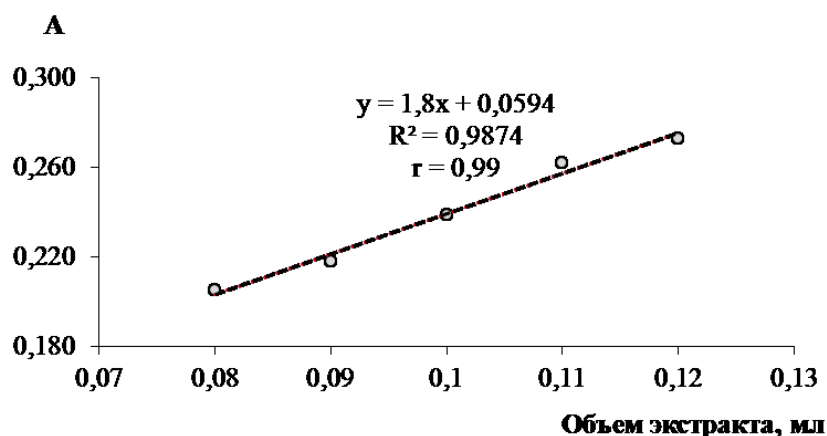


Рис. Зависимость оптической плотности от аликвоты

Критерием приемлемости для линейности считали близкое к единице или равное ей значение коэффициента корреляции ( $r$ ). Результаты определения оптической плотности растворов характеризовались линейной зависимостью. Величина коэффициента корреляции составила 0,99, что отвечало условию  $r \geq 0,99$ .

Повторяемость результатов устанавливали на одном образце экстракта в шести повторностях. Критерием валидности методики по характеристике повторяемости служило значение относительного стандартного отклонения (RSD), которое не должно превышать 10%. В таблице приведена метрологическая характеристика повторяемости результатов.

**Метрологическая характеристика повторяемости  
результатов (n = 6, P = 0,95)**

| n                                                                        | X <sub>i</sub> | X <sub>i</sub> – X <sub>ср</sub> | X <sub>i</sub> – X <sub>ср</sub>   <sup>2</sup> | Метрологические характеристики         |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1                                                                        | 23,04          | 0,3482                           | 0,1212                                          | RSD = 1,8%<br>Δ = 0,5 мг/г<br>ε = 1,9% |
| 2                                                                        | 23,14          | 0,2490                           | 0,0620                                          |                                        |
| 3                                                                        | 23,14          | 0,2490                           | 0,0620                                          |                                        |
| 4                                                                        | 23,17          | 0,2248                           | 0,0505                                          |                                        |
| 5                                                                        | 23,89          | 0,5022                           | 0,2522                                          |                                        |
| 6                                                                        | 23,96          | 0,5688                           | 0,3235                                          |                                        |
| Среднее значение: 23,39                                                  |                |                                  |                                                 |                                        |
| Сумма значений  X <sub>i</sub> – X <sub>ср</sub>   <sup>2</sup> : 0,8715 |                |                                  |                                                 |                                        |

Согласно расчетам, величина RSD составила 1,8%, что свидетельствовало о прецизионности методики в условиях повторяемости.

Таким образом, валидирована методика спектрофотометрического определения ПФ с реактивом ФЧ в семенных оболочках зерновки овса. Полученные результаты свидетельствуют о валидности методики по показателям линейность и повторяемость.

**Библиографический список**

1. Корнякова В. В., Муратов В. А., Лацерус К. В. Использование полифенолов в медицине для профилактики и лечения заболеваний. DOI: 10.17513/srms.1389 // Научное обозрение. Медицинские науки. 2024. № 2. С. 21–26.
2. Возможности метода биохемилюминисценции с модельной средой из сыворотки крови в оценке антиоксидантной активности растительного сырья / В. А. Козвонин, Е. В. Товстик, А. А. Маслова, Е. Б. Дунаева. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-3-037-044 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. С. 37–44.
3. Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания [Электронный ресурс] – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/> (дата обращения: 23.03.2025).
4. Стратегия развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс] – URL: <http://government.ru/docs/48801/> (дата обращения: 23.03.2025).
5. Васфилова Е. С. Фруктозосодержащие углеводы растений: биологическая активность и использование в медицине. DOI: 10.31857/S0033994621030109 // Растительные ресурсы. 2021. Т. 57. № 3. С. 195–210.
6. Loskutov I. G., Khlestkina E. K. Wheat, barley, and oat breeding for health benefit components in grain. DOI: 10.3390/plants10010086 // Plants. 2021. Vol. 10. No. 1. Article No. 86.
7. Pretorius C. J., Dubery I. A. Avenanthramides, Distinctive Hydroxycinnamoyl Conjugates of Oat, *Avena sativa* L.: An Update on the Biosynthesis, Chemistry, and Bioactivities. DOI: 10.3390/plants12061388 // Plants. 2023. Vol. 12. Article No. 1388.
8. Шеромов А. М., Товстик Е. В., Шуплецова О. Н. Валидация методики определения свободных и связанных полифенолов в растениях ячменя методом спектрофотометрии. DOI: 10.31163/2618-964X-2024-7-2-80-85 // Экобиотех. 2024. Т. 7. № 2. С. 80–85.
9. Dominguez-Lopez I., Perez M., Lamuela-Raventos R. M. Total (poly)phenol analysis by the Folin-Ciocalteu assay as an anti-inflammatory biomarker in biological samples.

10. Evaluation of standards and interfering compounds in the determination of phenolics by Folin-Ciocalteu assay method for effective bioprocessing of biomass / K. P. Bastola, Y. N. Guragain, V. Bhadriraju, et al. DOI: 10.4236/ajac.2017.86032 // American Journal of Analytical Chemistry. 2017. Vol. 8. No. 6. P. 416–431.

## **ЧТО СОБОЙ ПРЕДСТАВЛЯЕТ БИОДЕГРАДАЦИЯ?**

**А. З. Миндубаев**

*НОО ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань, Республика Татарстан, Россия,  
mindubaev-az@yandex.ru*

С каждым годом в окружающую среду поступает все больше токсичных отходов, и задача их обезвреживания становится более значимой. Соответственно, разрабатываются и совершенствуются методы их детоксикации. В настоящее время одним из важнейших и наиболее интенсивно развивающихся методов является биodeградация.

Ключевые слова: биodeградация, защита окружающей среды, поллютанты, метаболизм.

С каждым годом проблема бытовых и промышленных отходов, складирования мусора, становится все острее. Тем более, что современный бытовой мусор состоит, преимущественно, из искусственных полимерных материалов, которые разлагаются в окружающей среде с большим трудом. Одним из набирающих популярность методов обезвреживания созданных человеком искусственных соединений, является биodeградация. Как следует из самого названия, это метод превращения неприродных веществ в природные при помощи специализированных культур бактерий или грибов [1].

Мы не должны забывать о том, что большинство ядовитых и вредных для окружающей среды промышленных отходов являются органическими веществами, то есть состоят из тех же элементов, что и живые организмы – углерода, водорода, кислорода, азота. Реже они включают серу, фосфор, галогены и металлы, то есть содержат все «кирпичики жизни». Задача микробов, осуществляющих биodeградацию, заключается в том, чтобы эти «кирпичики» перетасовать в правильном порядке и построить из них молекулы, входящие в их собственный состав – аминокислоты и белки, сахара, липиды, нуклеиновые кислоты, витамины и бесчисленные вторичные метаболиты.

Таким образом, биodeградация – это, фактически, включение биогенных элементов, входящих в состав полимеров и нефтепродуктов, в природный круговорот, в состав биосферы. Причем, наиболее безвредным способом, который использует сама природа – при помощи ферментов, продуцируемых микробными клетками. Эти катализаторы работают в природных условиях, им не требуются жесткие физические и химические воздействия – высокие

температуры, давления, сильные окислители, кислоты и щелочи. Можно сказать, что биodeградация, в целом, является наиболее экологически безвредным методом восстановления как загрязненных природных объектов, так и сточных вод предприятий.

Важно понимать, что биodeградацию изобрели не люди. Она возникла на заре жизни. Микробы моментально освоили экологическую нишу редуцентов, разлагающих мертвую органику, образующуюся в результате гибели других форм жизни. Появлялись новые вещества, и вслед за ними в процессе эволюции возникали новые виды микробов, способные этими веществами питаться.

Поскольку смена поколений у одноклеточных очень быстрая, а разнообразие метаболических путей у них намного больше, чем у высших форм жизни, то в сочетании это позволяет микробам сравнительно быстро адаптироваться и питаться практически любыми соединениями.

Как результат, микроорганизмы обезвреживают практически любые вещества, разнообразного строения и состава, загрязнители окружающей среды любого класса опасности, включая самый высокий. Промышленные методы биodeградации в той или иной степени применимы ко всем отходам, даже неорганическим, таким, как бетон и металлы. Этот вид биodeградации именуется «биокоррозией». В то же время, некоторые экзотические формы жизни «научились», наоборот, восстанавливать соли некоторых металлов до металлического состояния [2].

Существует правило: ни один вид микроорганизмов не способен осуществлять деструкцию любых веществ. Каждый вид имеет свою специализацию на разложении одного загрязнителя или ряда близких к нему по свойствам и строению. Это объясняется тем, что никакой геном не способен кодировать бесконечное число ферментов. Реже микроб способен разлагать широкий спектр веществ, его ферменты справляются со многими соединениями, но эффективность биodeградации все равно различается, у микроба свои предпочтения. Только микробное сообщество, которое по-научному называется консорцией, способно по-настоящему эффективно разлагать сложные смеси разнообразных веществ. Есть вещества, которые разлагаются исключительно такими консорциями, например, очень стойкий инсектицид ДДТ [3].

Конкретных примеров биodeградации очень много, и в рамках одной статьи обо всех рассказать невозможно. Тем не менее, назовем некоторые, чрезвычайно интересные. Например, бактерия, способная использовать в качестве источников углерода и азота исключительно алкалоид кофеин, содержащийся в чае и кофе [4]. Съедобный гриб, разрушающий полиуретан – наглядный пример превращения загрязняющего отхода в пищу [5]. И ведь все это – не пустое теоретизирование, а пример реально действующих проектов, на которые выделяют гранты.

В то же время, бывает и так, что вещества, считавшиеся не встречающимися в природе ксенобиотиками, оказывались на самом деле природными. И таких примеров становится все больше. Диатомовая водоросль ницшия вы-



рабатывает вещества, совершенно не ассоциирующиеся с живой природой – бромциан, иодциан, 1,2-дихлорэтан [6]. Интересно, что в качестве продуктов химического синтеза все три соединения известны очень давно, и даже нашли применение на практике. Бромцианом биохимики иммобилизуют белки, а дихлорэтан известен как эффективный органический растворитель, только очень ядовитый. Но никто не предполагал, что они являются метаболитами водорослей. Их обнаружение в природном источнике стало настоящей сенсацией!

Биодеградация применяется на практике. Это и очистные сооружения предприятий, и обширные коллекции микроорганизмов, и передовые научные исследования, направленные на создание более эффективных микробов деструкторов, с привлечением инструментов геной и белковой инженерии, и целая индустрия патентования и защиты прав интеллектуальной собственности в этой отрасли. Наконец, сегодня биодеградация становится прибыльным бизнесом [7].

Стоит сказать пару слов про наши собственные исследования в области биодеградации. До них считалось аксиомой, что белый фосфор является биоцидом, и живые организмы не способны его обезвредить. Это вещество имеет наивысший класс опасности и даже применяется в военных целях. Мы впервые продемонстрировали, что грибы и бактерии могут превращать белый фосфор в фосфаты – фактически, в подкормки, без которых невозможна жизнедеятельность [8]! Достаточно вспомнить о том, что многие метаболиты вступают в превращения только в фосфорилированном виде. ДНК и РНК – молекулы, кодирующие наследственную информацию – также включают в себя фосфат в виде органического эфира. И вот, эти биогенные фосфаты образуются грибами из белого фосфора! Невероятно! Но, тем не менее, факт. И этот факт впервые установлен нами.

Более десяти лет мы изучаем интересный штамм гриба черного аспергилла *Aspergillus niger* F-4815D, выделенный из уникального источника – емкости с кусковым белым фосфором, заполненной водой. Споры гриба выжили в этих уникальных условиях! И, более того, аспергилл оказался способен обезвреживать белый фосфор.

Элемент фосфор обладает уникальным свойством. Будучи чрезвычайно опасным в виде простых веществ и восстановленных соединений, в полностью окисленном состоянии, в виде фосфатов, это биогенный элемент, необходимый всем формам жизни, включая нас, людей. В связи с этим, перспективы биодеградации белого фосфора велики.

Известно, что практически во все среды, используемые для культивирования микроорганизмов, вносят растворимые фосфаты натрия или калия. Фосфор является биогенным элементом и необходим для роста абсолютно всех форм жизни. Выделенный нами грибок растет в культуральной среде, содержащей белый фосфор в качестве единственного источника фосфора, то есть, он окисляет белый фосфор до фосфата и включает его в состав растущей биомассы (рис.). Превращения фосфора в культуральной среде мы наблюдали

при помощи метода  $^{31}\text{P}$  ЯМР. Предполагаем, что в метаболизме белого фосфора существенную роль играют ферменты диоксигеназы (например, цитохромы), окисляющие субстраты кислородом воздуха. Биodeградацию белого фосфора – крайне токсичного и опасного в обращении вещества, относящегося к первому классу опасности и применяемого в военных целях, наш коллектив наблюдал впервые в мире [8]. Аналогичных работ в статьях и патентах на русском и на английском языках мы не нашли.

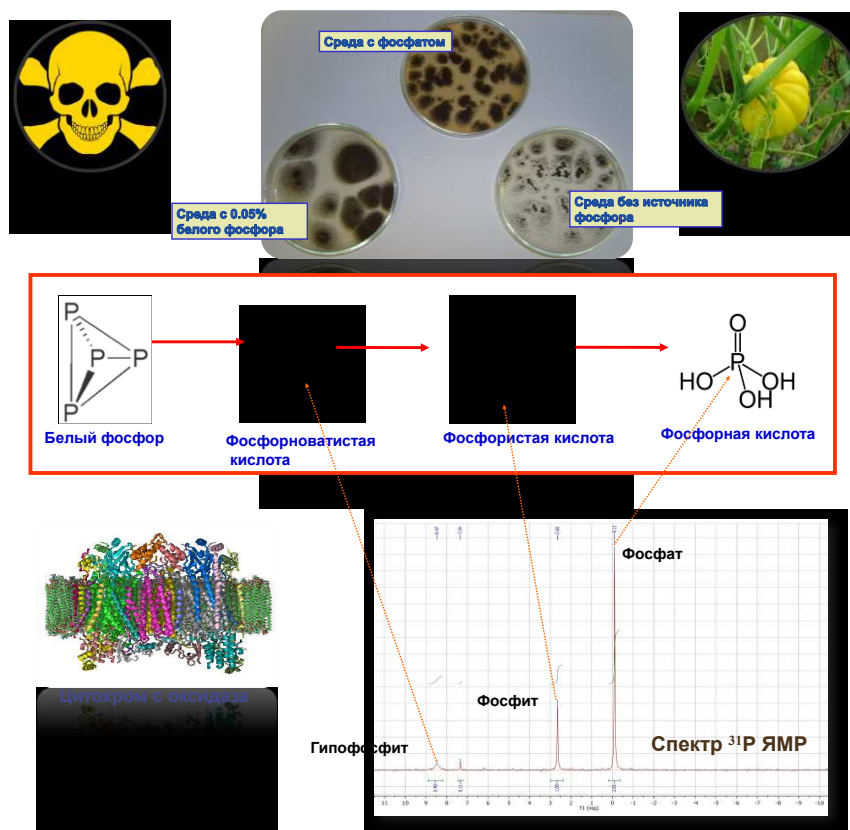


Рис. Наглядное представление результатов наших исследований

Белый фосфор поддерживает рост грибов черных аспергиллов. Этому можно найти одно объяснение: в среде накапливается фосфат, конечный продукт окисления белого фосфора. Путь окисления через гипофосфит и фосфит установлен с помощью спектроскопии  $^{31}\text{P}$  ЯМР.

Дальнейшие наши исследования показали, что необычный аспергилл способен обезвреживать красный фосфор – другую аллотропную модификацию этого элемента, более стабильную, чем белый фосфор.

Разумеется, мы стали расширять поиск веществ, разлагаемых *A. niger* F-4815D. Начали с веществ, содержащих фосфор. Выяснили, что он растет в средах, содержащих фосфонаты (в том числе гербицид глифосат), дитиофосфаты, фосфорамиды, фосфорномолибденовую и фосфорновольфрамовую кислоты [8]. Кроме того, штамм оказался солубилизатором фосфата – он хорошо растет в средах с нерастворимым в воде ортофосфатом кальция.

Филогенетическое дерево штамма, построенное по базе нуклеотидных последовательностей NCBI показало, что ближайшими родственниками AM1

являются два штамма *Aspergillus niger* из Китая (обнаружены недалеко от Нанкина), которые также солибилизируют нерастворимые фосфатные минералы. В целом, кластер штаммов, к которому относится наш штамм, распространен в Юго-Восточной Азии и Индостане. Вероятно, белый фосфор, с которым мы работаем, был произведен в Китае, и вместе с ним к нам был завезен китайский штамм гриба.

Исследования показали, что белый фосфор оказывает заметное воздействие на белковый профиль и морфологию нашего штамма. Включаются защитные механизмы – утолщение и изменение структуры клеточной стенки, рост числа и размера митохондрий, появление новых белков в протеоме. Интересно, что в декабре 2016 года мы получили дочерний штамм гриба *A. niger* F-4816D, еще более адаптированный к росту в среде с белым фосфором. Утолщенная клеточная стенка и увеличенные митохондрии у него наблюдаются и в контроле, в отсутствии этого токсичного вещества [9].

В настоящее время мы исследуем биodeградацию при помощи F-4815D и F-4816D веществ, не содержащих фосфор – нефтей и нефтепродуктов, древесины и продуктов ее переработки. Также планируем изучать переработку полимерных материалов данными штаммами.

#### Библиографический список

1. Biodegradation: updating the concepts of control for microbial cleanup in contaminated aquifers / R. U. Meckenstock, M. Elsner, C. Griebler, et al. DOI: 10.1021/acs.est.5b00715 // Environ. Sci. Technol. 2015. Vol. 49. No. 12. P. 7073–7081.
2. Biochemical and structural basis of mercuric reductase, *GbsMerA*, from *Gelidibacter salicanalis* PAMC21136 / B. D. Pardhe, M. J. Lee, J. H. Lee, et al. DOI: 10.1038/s41598-023-44968-w // Sci. Rep. 2023. Vol. 13. No. 1. Article No. 17854.
3. Characterization and genome functional analysis of the DDT-degrading bacterium *Ochrobactrum* sp. DDT-2 / X. Pan, T. Xu, H. Xu, et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.052 // Sci. Total Environ. 2017. Vol. 592. P. 593–599.
4. Summers R. M. Metabolism, enzymology, and genetic characterization of caffeine degradation by *Pseudomonas putida* CBB5 // PhD diss. University of Iowa. 2011. 184 p.
5. Biodegradation of polyester polyurethane by endophytic fungi / J. R. Russell, J. Huang, P. Anand, et al. DOI: 10.1128/AEM.00521-11 // Appl. Environ. Microbiol. 2011. Vol. 77. No. 17. P. 6076–6084.
6. Daily bursts of biogenic cyanogen bromide (BrCN) control biofilm formation around a marine benthic diatom / B. Vanelander, C. Paul, J. Grueneberg, et al. DOI: 10.1073/pnas.1108062109 // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2012. Vol. 109. No. 7. P. 2412–2417.
7. Saraswat S. Patent analysis on bioremediation of environmental pollutants. DOI: 10.4172/2155-6199.1000251 // Journal of Bioremediation & Biodegradation. 2014. Vol. 5. No. 6. P. 251–256.
8. Biological degradation of yellow (white) phosphorus, a compound of first class hazard / A. Z. Mindubaev, E. V. Babynin, E. K. Bedeeva, et al. DOI: 10.1134/S0036023621080155 // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. Vol. 66. No. 8. P. 1239–1244.
9. Effect of white phosphorus on the survival, cellular morphology, and proteome of *Aspergillus niger* / A. Z. Mindubaev, S. V. Kuznetsova, V. G. Evtyugin, et al. DOI: 10.1134/S0003683820020118 // Appl. Biochem. Microbiol. 2020. Vol. 56. No. 2. P. 194–201.

**СЕКЦИЯ 4**  
**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ**  
**В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИИ**

**DEGRADATION OF CIPROFLOXACIN BY ACTIVATING MOLECULAR  
OXYGEN WITH SUSTAINED-RELEASE FERROUS ION**

*X. H. Li<sup>1</sup>, W. H. Hu<sup>1,2</sup>, D. Sun<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China,  
13050296981@163.com,*

*<sup>2</sup> Vyatka State University, Kirov, Russia*

Ciprofloxacin (CIP) was efficiently degraded *via* a  $\text{Fe}^0/\text{O}_2$ /tripolyphosphate (TPP) system. Metallic iron replaced  $\text{Fe(II)}$  to sustain  $\text{Fe}^{2+}$  release, enhancing  $\bullet\text{OH}$  generation. At pH 6.59 and 2.90 mmol/L TPP, optimized *via* response surface methodology, CIP removal reached 97.4% in 125 min. TPP promoted  $\text{Fe}^{2+}$ -TPP complexation, accelerating oxygen activation and Fenton-like reactions. This strategy enables stable advanced oxidation *via* controlled iron corrosion.

Keywords: emerging contaminants, sodium tripolyphosphate, advanced oxidation, response surface methodology.

Ciprofloxacin (CIP), an antibiotic widely present in the environment, is a typical emerging contaminant. Studies have shown that advanced oxidation processes (AOPs) utilizing hydroxyl radicals ( $\bullet\text{OH}$ ) as the primary reactive species can effectively degrade CIP [1–3]. However, the practical application of AOPs is limited by operational costs and safety concerns in storage and transportation.

Molecular oxygen ( $\text{O}_2$ ), a green oxidant with significant potential [4–5], has been extensively reported to activate  $\bullet\text{OH}$  generation through ferrous-mediated oxygen activation in the presence of polyphosphates (PP) [6–7]. Nevertheless, in the  $\text{Fe}^{2+}/\text{O}_2/\text{PP}$  system,  $\text{Fe}^{2+}$  is rapidly depleted due to its strong reducibility, rendering the system incapable of sustaining  $\bullet\text{OH}$  production.

To achieve continuous  $\bullet\text{OH}$  generation, this study replaces ferrous sulfate with metallic iron, enabling sustained slow release of  $\text{Fe}^{2+}$ .

The experiments were conducted in beakers with 80 mL working volume. Specifically, 10 mg/L CIP or 1000 mg/L benzoic acid [8] was added to the beakers, followed by a specified concentration of sodium tripolyphosphate (TPP). The solution pH was adjusted to the target value using NaOH or HCl solutions. Air was continuously bubbled into the solution at a 0.2 L/min flow rate. Finally, a metallic iron plate ( $0.5 \times 2 \text{ cm}^2$ ), fixed in a clamp, was fully immersed in the solution.

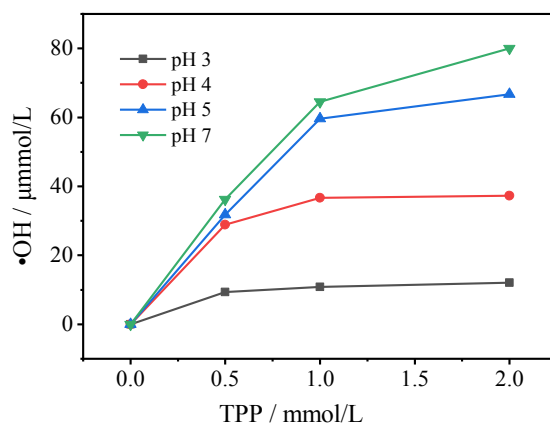
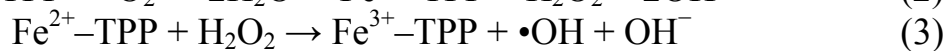
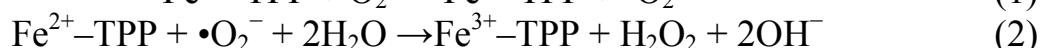
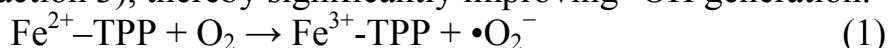


Fig. 1. Effect of pH and TPP concentration on •OH production

First, the effects of pH and TPP concentration on •OH production after 60 min of reaction were investigated. As shown in Figure 1, •OH yield increased with higher TPP concentrations. This is primarily attributed to the enhanced release of  $\text{Fe}^{2+}$  promoted by elevated TPP concentrations. Additionally, increasing TPP concentrations provided more ligands for  $\text{Fe}^{2+}$ , leading to higher  $\text{Fe}^{2+}$ -TPP complex levels. This accelerated both the oxygen activation reaction (Reactions 1–2) and the Fenton-like reaction (Reaction 3), thereby significantly improving •OH generation.



•OH production also increased with rising pH, mainly because the oxygen activation reaction (Reaction 1), acting as the rate-limiting step, exhibited its highest reaction rate at pH 7–8 [9–10].

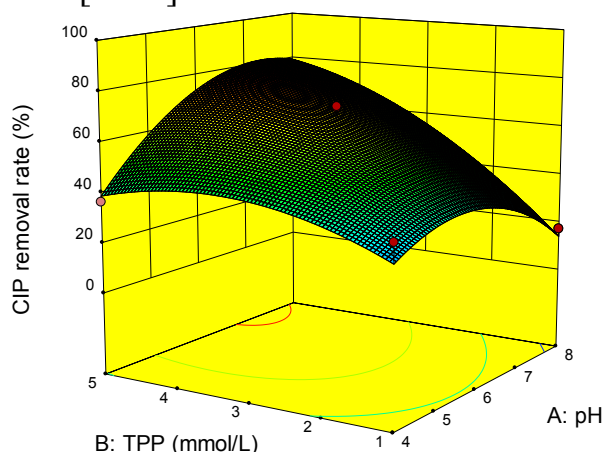


Fig. 2. Three-dimensional response surface plots

Second, a central composite design (CCD) response surface analysis was conducted using pH and TPP concentration as independent variables and CIP removal efficiency at 30 min as the response value.

A multiple regression analysis of the experimental data yielded the following quadratic model equation for CIP removal efficiency (Y) as a function of pH (A) and sodium tripolyphosphate concentration (B):

$$Y = 66.94 + 6.39A + 18.89B + 13.83AB - 15.88A^2 - 10.74B^2$$

Statistical analysis demonstrated that the model was highly significant. Both the quadratic terms of pH ( $A^2$ ) and TPP concentration ( $B^2$ ) significantly affected CIP removal efficiency, while the interaction term between pH and TPP concentration ( $AB$ ) exhibited an extremely significant effect. The corresponding 3D response surface plot is presented in Fig. 2. Based on the model, the optimal operating conditions were determined as a TPP concentration of 2.90 mmol/L and a pH of 6.59.

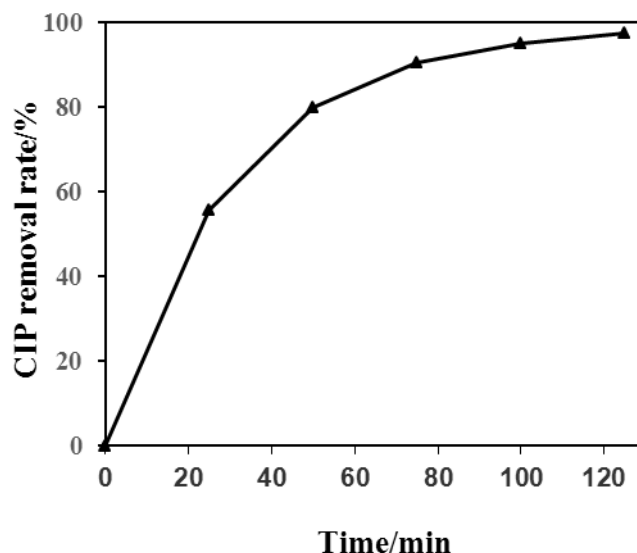


Fig. 3. Variation of CIP concentration with time

Under the optimized conditions, the degradation of 10 mg/L CIP was evaluated. As shown in Fig. 3, the removal efficiency of CIP reached 97.4% after 125 min of reaction, with a pseudo-first-order kinetic constant of  $0.0294 \text{ min}^{-1}$ .

### References

1. Degradation of ciprofloxacin by titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) nanoparticles: optimization of conditions, toxicity, and degradation pathway / M. R. Usman, A. Prasasti, S. Islamiah, et al. DOI: 10.9767/bcrec.16.4.11355.752-762 // Bull. Chem. React. Eng. Catal. 2021. Vol. 16. No. 4. P. 752–762.
2. Ultrasonic enhanced zero-valent iron-based Fenton reaction for ciprofloxacin removal under aerobic condition / M. Pirsaeheb, S. Moradi, M. Shahlaei, et al. DOI: 10.1007/s40710-019-00415-5 // Environ. Process. 2020. Vol. 7. No. 1. P. 227–241.
3. Degradation of antibiotics by homogeneous and heterogeneous Fenton processes: a Review / H. Befenzi, A. Ezzariai, T. Mechichi, et al. DOI: 10.1016/j.hazadv.2024.100522 // J. Hazard. Mater. Adv. 2025. Vol. 17. Article No.100522.
4. Dark production of hydroxyl radicals by aeration of anoxic lake water / M. Minella, E. de Laurentiis, V. Maurino, et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.04.123 // Sci. Total Environ. 2015. Vol. 527. P. 322–327.
5. Production of abundant hydroxyl radicals from oxygenation of subsurface sediments / M. Tong, S. Yuan, S. Ma, et al. DOI: 10.1021/acs.est.5b04323 // Environ. Sci. Technol. 2016. Vol. 50. No. 1. P. 214–221.
6. Generation of reactive oxygen species and degradation of pollutants in the  $\text{Fe}^{2+}/\text{O}_2$ /Tripolyphosphate system: regulated by the concentration ratio of  $\text{Fe}^{2+}$  and tripolyphosphate / C. Zhang, C. Kong, P. G. Tratnyek, C. Qin. DOI: 10.1021/acs.est.1c07467 // Environ. Sci. Technol. 2022. Vol. 56. No. 7. P. 4367–4376.

7. The synergistic effect of nickel-iron-foam and tripolyphosphate for enhancing the electro-Fenton process at circum-neutral pH / F. Deng, H. Olvera-Vargas, O. Garcia-Rodriguez, et al. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.02.186 // Chemosphere. 2018. Vol. 201. P. 687–696.
8. Quantification of the oxidizing capacity of nanoparticulate zero-valent iron / S. H. Joo, A. J. Feitz, D. L. Sedlak, T. D. Waite. DOI: 10.1021/es048983d // Environ. Sci. Technol. 2005. Vol. 39. No. 5. P. 1263–1268.
9. Design of a highly efficient and wide pH electro-Fenton oxidation system with molecular oxygen activated by ferrous-tetrapolyphosphate complex / L. Wang, M. H. Cao, Z. H. Ai, L. Zhang. DOI: 10.1021/es505984y // Environ. Sci. Technol. 2015. Vol. 49. No. 5. P. 3032–3039.
10. Degradation of *p*-nitrophenol using a ferrous-tripolyphosphate complex in the presence of oxygen: the key role of superoxide radicals / C. Zhang, T. Li, J. Zhang, et al. DOI: 10.1016/j.apcatb.2019.118030 // Appl. Catal. B: Environ. 2019. Vol. 259. Article No. 118030.

## STUDY ON THIOETHERIFICATION OF $\alpha$ -PHENYLETHYLAMINE VIA C–H BOND ACTIVATION AS ENVIRONMENTALLY FRIENDLY APPROACH

**C. Jiang<sup>1</sup>, X. Wang<sup>1</sup>, Y. Tong<sup>1,2</sup>, B. Wang<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *School of Biomedical and Chemical Engineering,  
Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, China,*  
<sup>2</sup> *Vyatka State University, Kirov, Russia*

We present a methodological study on nickel salt-catalyzed, 2-picolinamide-directed remote C–H activation for aryl thioetherification reactions, representing an environmentally friendly approach. The objective is to contribute to energy-saving and consumption-reducing effects in production processes for pharmaceutical and chemical industries. In the early stages of the project, optimization of reaction conditions in the presence of ligands was explored to improve reaction yields and expand the substrate scope. This paper also discusses the reaction mechanism and preliminary application studies.

**Keywords:** nickel-catalyzed reaction, thioetherification, diaryl thioether compounds.

Aryl thioether compounds exhibit extensive applications in pharmaceuticals and functional molecules [1–3]. As is well known, chlorpromazine (a), an early antipsychotic drug used in clinical practice, is a typical aryl thioether compound with potent sedative effects. Structural modifications based on chlorpromazine as the lead compound have yielded several antipsychotic drugs, as shown in Fig. 1. Among them, perphenazine (b) is listed as a national essential medicine. Chlorprothixene (c), another aryl thioether compound, exhibits strong sedative properties. Atypical antipsychotic drugs also include aryl thioether compounds such as thioridazine (d), which is primarily used for tension states caused by psychosomatic disorders and behavioral issues in children.

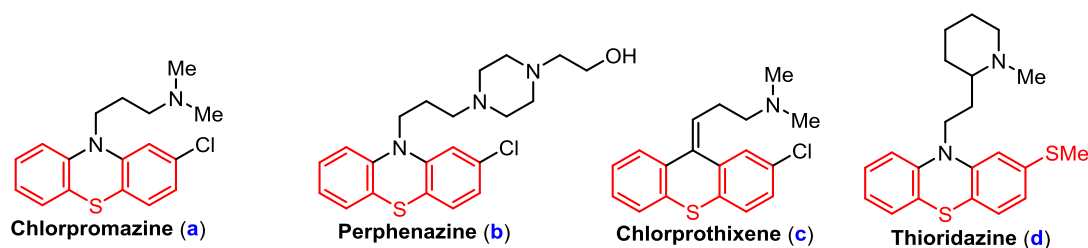


Fig. 1. Some known drugs containing aryl thioether moieties

In recent years, thanks to the continuous efforts of chemists and pharmaceutical scientists, arylthioether compounds with anti-inflammatory, antitumor, and antimicrobial activities have emerged, as illustrated in Fig. 2. In 2000, Liu et al. designed nearly 50 compounds using the molecular hybridization principle and identified A-286982 (e) as a highly potent anti-inflammatory agent with an  $IC_{50}$  of 44 nM. Its core structure features a typical arylthioether motif [4, 5]. In 2006, Martino et al. [6] discovered a potential tubulin polymerization inhibitor, arylthioindole (f), with an inhibitory activity of 2.0  $\mu$ M. Notably, oxidation of the sulfur atom to a sulfone significantly reduced its activity. In 2008, Thomas et al. [7] reported that the arylthioether-containing compound (–)-gemmacin (g) exhibited potent inhibitory effects against two prevalent methicillin-resistant bacterial strains in the UK (EMRSA-15 and EMRSA-16), with  $IC_{50}$  values of 8  $\mu$ g·mL<sup>–1</sup> and 16  $\mu$ g·mL<sup>–1</sup>, respectively.

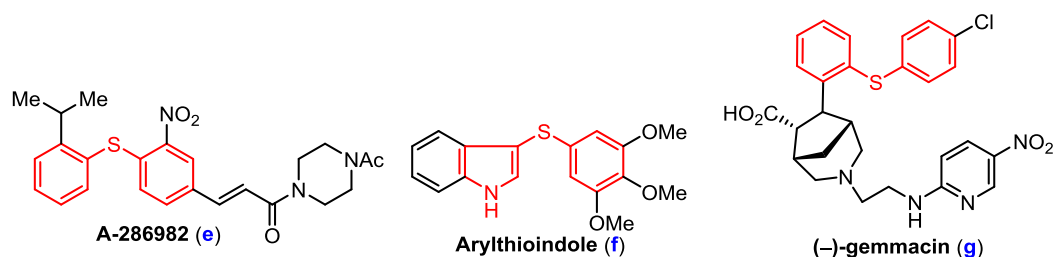


Fig. 2. Some active compounds containing aryl thioether moieties

Due to the universality and diversity of aryl thioether compounds, their synthesis has long been one of the hotspots in organic synthesis. In recent years, transition-metal-catalyzed methods for the synthesis of aryl thioethers have gained widespread attention, primarily including in situ synthesis and directing-group-assisted synthesis approaches.

This study intends to select simple nickel salts as catalysts to explore the methodological research on the remote C–H activation thioetherification reaction using 2-picolinamide as a directing group. A relatively systematic investigation was conducted on the optimization of ligand-free reaction conditions and the expansion of reaction substrates. Due to the limitations of the ligand-free catalytic system, this research further explores in-depth optimization of reaction conditions in the presence of ligands, aiming to improve reaction yields and expand the reaction substrate scope.

This study further explores the in-depth transformations of these substrates. Based on experimental results from both catalytic systems, preliminary investiga-



tions into the reaction mechanism were conducted and discussed. Detailed strategies are illustrated in Fig. 3.

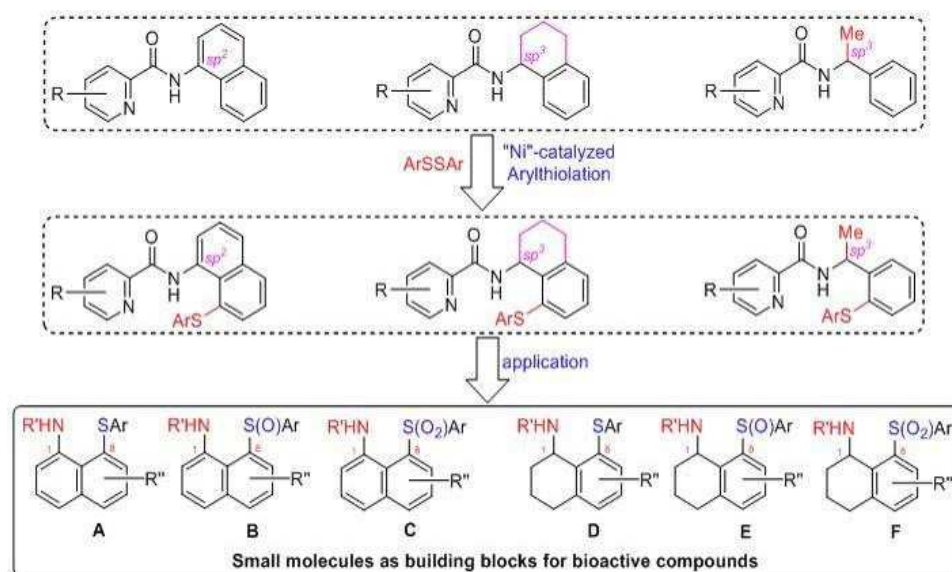


Fig. 3. The strategy for the our study of the Ni(II)-catalyzed arylthiolation and the preliminary application

## Experiments and Discussion

1. Previous Work Foundation. Preliminary experimental results (Table 1) indicated that the reaction proceeded in high-boiling solvents such as NMP (N-methylpyrrolidone) and DMF, albeit with reduced yields, while almost no target product was obtained in 1,2-dimethylbenzene. For the ligand-assisted system containing BINOL, a combination of silver carbonate with TBABr or TBACl proved to be a more effective catalytic system. When lithium carbonate was employed instead, the yield dropped to 34.8% at 145 °C and 45.6% at 155 °C, both significantly lower than the optimized conditions (Entry 6–7 vs. Entry 1, Table).

Table

**Further optimization of the reaction under different temperature or base**

| Entry | Ni(II) salt<br>(mole eq.)      | Ligand<br>(mole eq.) | Base<br>(mole eq.)                        | Additive<br>(mole eq.) | Condition                              | Isolated<br>Yield, % |
|-------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|----------------------|
| 1     | Ni(OTf) <sub>2</sub><br>(0.25) | BINOL<br>(0.50)      | Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(2.00) | TBABr<br>(4.00)        | in DMSO<br>145 °C for 24 h             | 72.3                 |
| 2     | Ni(OTf) <sub>2</sub><br>(0.25) | BINOL<br>(0.50)      | Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(2.00) | TBABr<br>(4.00)        | in DMF<br>145 °C for 24 h              | 40.0                 |
| 3     | Ni(OTf) <sub>2</sub><br>(0.25) | BINOL<br>(0.50)      | Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(2.00) | TBABr<br>(4.00)        | in NMP<br>145 °C for 24 h              | 64.4                 |
| 4     | Ni(OTf) <sub>2</sub><br>(0.25) | BINOL<br>(0.50)      | Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(2.00) | TBABr<br>(4.00)        | in <i>o</i> -Xylene<br>145 °C for 24 h | trace                |
| 6     | Ni(OTf) <sub>2</sub><br>(0.25) | BINOL<br>(0.50)      | Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(2.00) | TBABr<br>(4.00)        | in DMSO<br>145 °C for 24 h             | 34.8                 |
| 7     | Ni(OTf) <sub>2</sub><br>(0.25) | BINOL<br>(0.50)      | Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(2.00) | TBABr<br>(4.00)        | in DMSO<br>155 °C for 24 h             | 45.6                 |

## 2. Substrate Scope and Limitations

### Exploration of Aryl Disulfide Substrates

Under the aforementioned optimized conditions, it was found that the yield of the aryl thioetherification reaction using PhSSPh as the substrate was slightly lower in the ligand-free system compared to that of the ligand-containing catalytic system. For the catalytic system with ligands, the optimal conditions were as follows: catalyst (25.0 mol%), BINOL (50.0 mol%),  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$  (2.00 equiv.), TBABr (4.00 equiv.), in DMSO at 145 °C for 24 h under air atmosphere (Entry 7, Table 2).

Subsequently, this study employed other aryl disulfides (2b–2g) as substrates to further investigate the practicality and limitations of the reaction with N-(1-naphthyl)picolinamide. The results are summarized in Fig. 4. The reactions proceeded smoothly, affording moderate to high yields (57.2–82.5%). Notably, substrates bearing electron-withdrawing groups (–Cl, –NO<sub>2</sub>, –F) on the aromatic ring generally provided higher yields compared to those with electron-donating groups (–OMe or –Me). A similar trend was also observed in the ligand-free catalytic system.

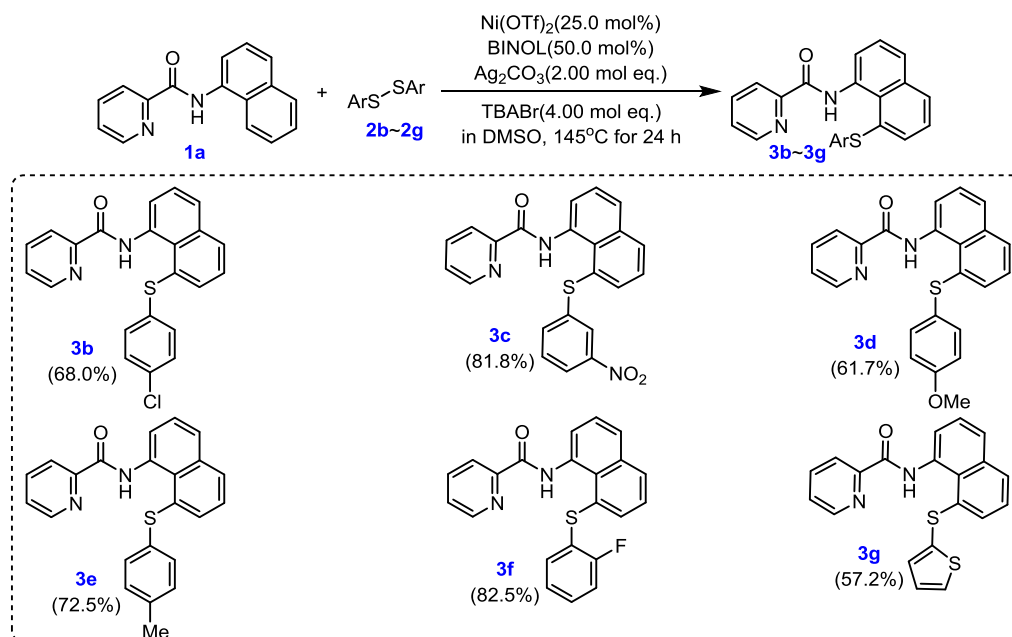


Fig. 4. Scope and limitation of the reaction with various disulfides 2b~2g. Conditions: 1a 0.30 mmol, 2b~2g 0.60 mmol,  $\text{Ni}(\text{OTf})_2$  25.0 mol%, BINOL 50.0 mol%,  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$  2.00 mol eq. and TBABr 4.00 mol eq. in DMSO 3 mL for 24 h.

### 2. Research on the replacement of 1-naphthylamine structure with 1,2,3,4-tetrahydro-1-naphthylamine

The substrates used in this reaction involve the formation of an amide (1) between the auxiliary agent 2-picolinic acid and 1-naphthylamine. In the catalytic system, the metal ion can utilize the pyridyl N and the amide N of the substrate molecule to form a five-membered chelate, thereby directionally promoting the 8-H extraction on the 1-naphthylamine moiety and generating a bidentate transition state

(I) featuring dual five-membered chelation. This transition state subsequently initiates further functionalization reactions, which constitutes the core of the catalytic system (Fig. 5). In this transition state, the  $\alpha$ -carbon of the 1-naphthylamine fragment is an  $sp^2$ -hybridized carbon, contributing to the stabilization of the transition state and facilitating the C–H activation for 8-H extraction.

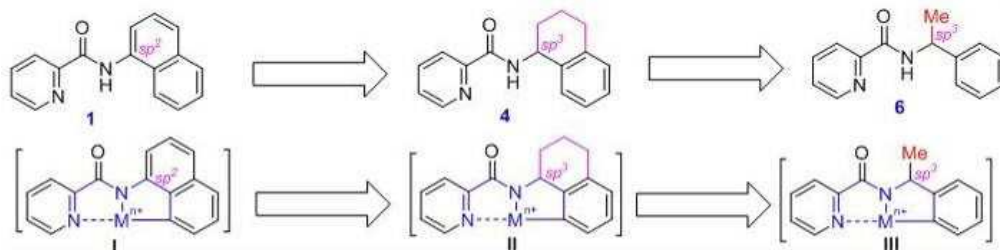


Fig. 5. The strategy for the further application of the reaction using different variants of 1-naphthylamide

To further expand the substrate scope, this study replaced the naphthalene moiety in substrate 1 with a 1,2,3,4-tetrahydro-1-naphthylamine fragment. Additionally, a fragmentation strategy was employed to introduce an even simpler  $\alpha$ -phenylethylamine motif. Upon this structural modification, the hybridization state of the  $\alpha$ -carbon adjacent to the amino group changed from  $sp^2$  to  $sp^3$ , which may influence the formation of the transition state.

Reactions and applications of 1,2,3,4-tetrahydro-1-naphthylamine *via* auxiliary-activated systems [8, 9].

As shown in Fig. 6, after the substrate modification, our catalytic system/conditions could also be successfully applied to this type of reaction, affording moderate yields (48.0%~). In some cases, the yield even reached 70%. The reaction efficiency was found to be correlated with the aryl substituent type in the aryl disulfide reagent.

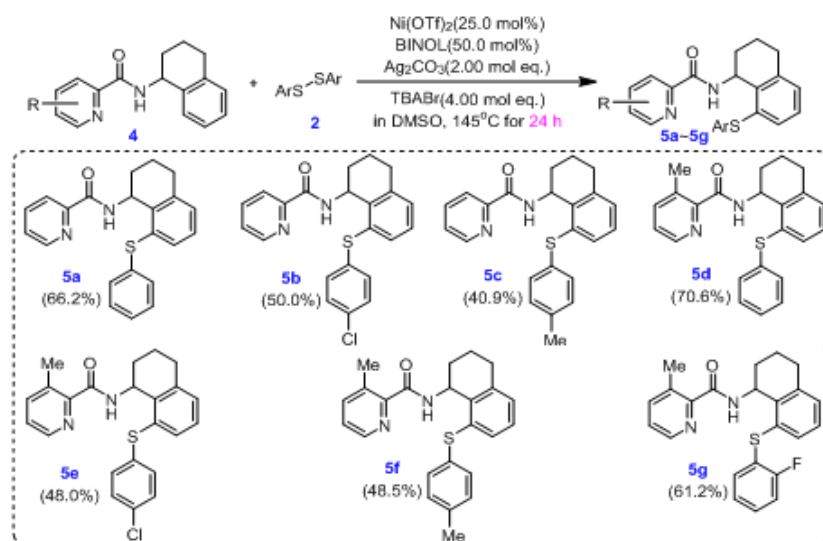


Fig. 6. Further application of the reaction using variant 1,2,3,4-tetrahydro-1-naphthylamide 4. Conditions: 4 – 0.30 mmol, 2 – 0.60 mmol, Ni(OTf)<sub>2</sub> 25.0 mol%, BINOL 50.0 mol%, Ag<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 2.00 mol eq. and TBABr 4.00 mol eq. in DMSO 3 mL for 24 h.

Further studies on the ring cleavage of 1,2,3,4-tetrahydro-1-naphthylamine: arylthiolation reactions of  $\alpha$ -phenylethylamine structures

To further expand the substrate scope, this study employed a cleavage strategy to replace the naphthalene moiety in Substrate 1 and the 1,2,3,4-tetrahydronaphthylamine moiety in Substrate 4 with a simpler  $\alpha$ -phenylethylamine fragment. After this modification, the hybridization state of the amino  $\alpha$ -carbon became  $sp^3$ , and the improved molecular flexibility of the resulting substrates facilitated the formation of transition-state complexes, thereby promoting the reaction.

The reaction predominantly afforded diaryl thioether products (Fig. 7) with significantly higher yields [10]. The effects of substituent types and electronic properties at various positions on the yield followed similar trends, which will not be reiterated here.

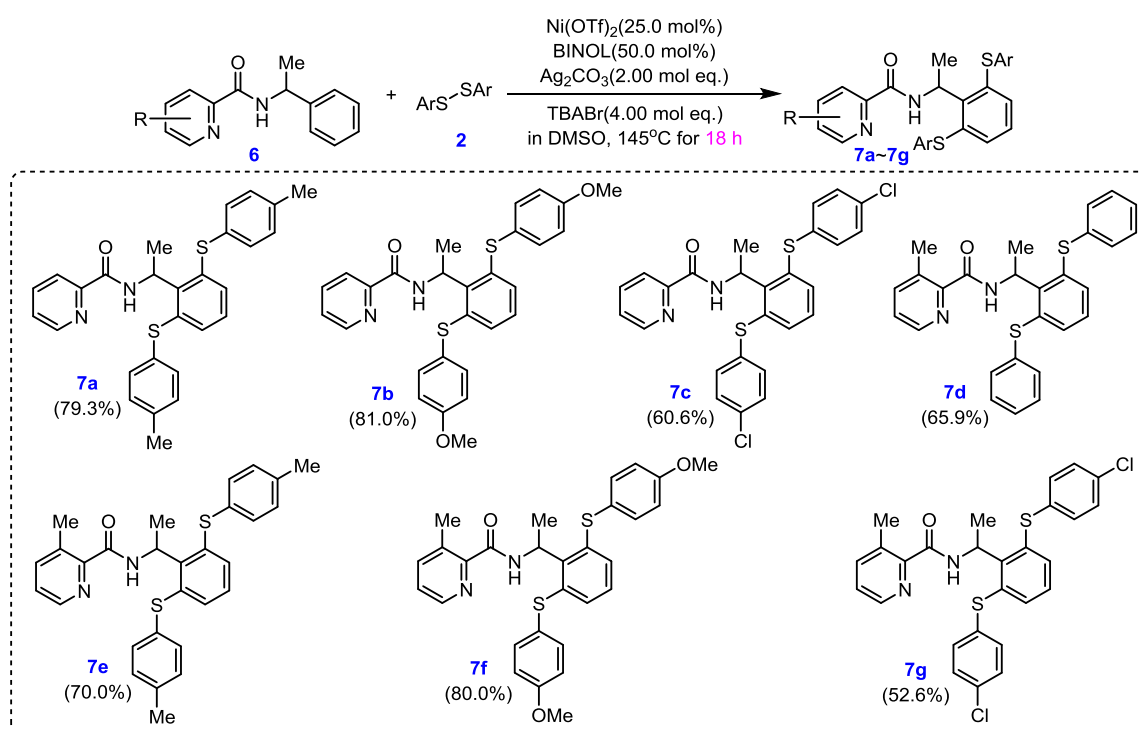


Fig. 7. Further application of the reaction using the amide **6** derived from  $\alpha$ -phenylethylamine. Conditions: **6** 0.30 mmol, **2** 0.60 mmol,  $\text{Ni}(\text{OTf})_2$  25.0 mol%, BINOL 50.0 mol%,  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$  2.00 mol eq. and TBABr 4.00 mol eq. in DMSO 3 mL for 24 h.

### 3. Applied research on substrates

In this study, the substrates obtained *via* nickel(II)-catalyzed aryl thioetherification were further transformed through amide N-alkylation, oxidation to sulfoxides, and oxidation to sulfones. Subsequent removal of the 2-pyridinyl auxiliary afforded functionalized small molecules with general structures (Fig. 8).

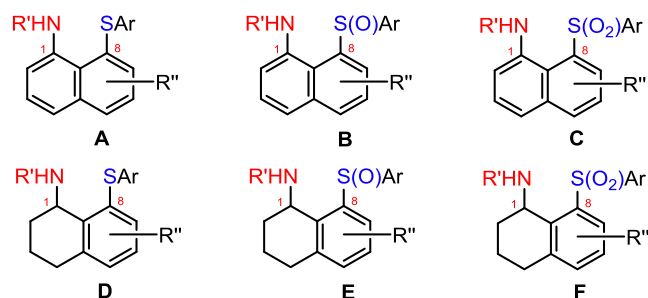


Fig. 8. Some small molecules as building blocks for bioactive compounds

Taking compound 3a as an example, methylation followed by hydrolytic removal of the directing group afforded 8-(phenylthio)-N-methyl-1-naphthylamine (9). Similarly, controlled oxidation of 3a (by adjusting oxidant equivalents and reaction time) yielded the corresponding sulfoxide (containing trace sulfone), giving 8-(phenylsulfinyl)-1-naphthylamine (10). Further exhaustive oxidation of 3a converted it to 8-(phenylsulfonyl)-1-naphthylamine (11), as detailed in Fig. 9.

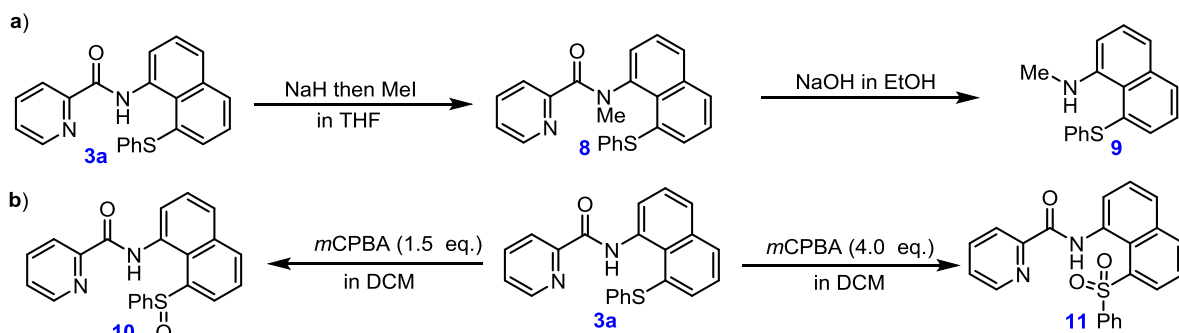


Fig. 9. Removal of the directing auxiliary and the preparation of sulfoxide and sulfone

With reference to other similar reports, particularly cobalt-catalyzed thioetherification reactions, the reaction mechanism in this work under ligand-free conditions with  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  as the base is proposed as shown in Fig. 10. Under the action of the base, nickel triflate  $[\text{Ni}(\text{OTf})_2]$  abstracts the 8-H of 1a (8-H extraction), forming a Ni(II) intermediate X with a bis-five-membered ring coordination structure. This 8-H extraction process is actually achieved through oxidative addition and reductive elimination. The formation of a relatively stable bis-five-membered ring coordination state involving the pyridyl nitrogen of the auxiliary fragment and the amide nitrogen of the 1-amino group in the substrate serves as the driving force for the reaction. Subsequently, intermediate X undergoes oxidative addition with  $\text{ArSSAr}$  (2) to form a Ni(IV) intermediate Y, initiating the coupling reaction. This is followed by reductive elimination, converting intermediate Y into a Ni(II) intermediate Z. Under the action of the in situ-formed  $\text{LiHCO}_3$ , intermediate Z undergoes an exchange between  $\text{TfO}^-$  and  $\text{ArS}^-$ , releasing the 8-aryl thioetherification product 3 while regenerating  $(\text{NiOTf})_2$  to complete the catalytic cycle.

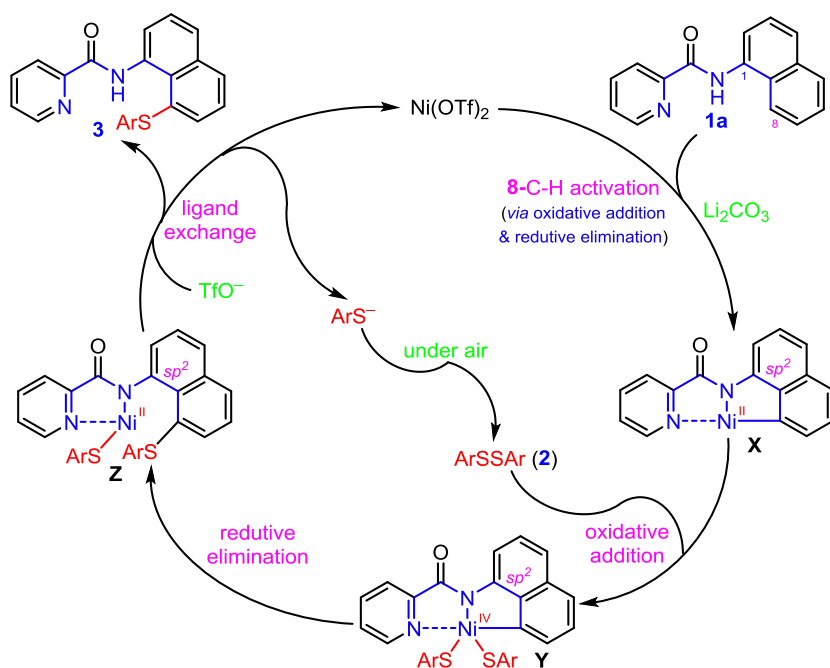


Fig. 10. Proposed mechanism of our ligandless arythiolation *via* Ni(II)/Ni(IV) catalytic cycle

The reaction must be conducted under an air atmosphere, and the fact that the radical scavenger 2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl (TEMPO) does not inhibit the reaction (yield ~64.0%), along with the observation that electron-withdrawing groups on ArSSAr facilitate the oxidative addition of intermediate X and improve reaction yields, indirectly supports the validity of the proposed mechanism.

In the ligand-catalyzed system involving: BINOL, TBABr, and  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$ , the reaction yield is significantly higher compared to the ligand-free scenario. The mechanistic role resembles that of the ligand-free catalytic cycle: The quaternary ammonium salt TBABr acts similarly to a surfactant, facilitating the action of the base and aiding BINOL in proton abstraction to stabilize intermediates X and Z, thereby promoting the reaction. Meanwhile,  $\text{Ag}^+$  from  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$ , as a soft acid, may assist the departure of the soft base  $\text{ArS}^-$  in intermediate Z, facilitating product formation.

The naphthalene moiety in substrate 1 was replaced with a 1,2,3,4-tetrahydro-1-naphthylamine fragment or, *via* a truncation strategy, further simplified to an  $\alpha$ -phenethylamine fragment. Despite the change in hybridization of the amino  $\alpha$ -carbon from  $sp^2$  to  $sp^3$ , both modifications could still form analogous *bis*-five-membered-ring chelated Ni(II) intermediates (Xa or Xb), thereby enabling the smooth progression of the reaction (Fig. 11).

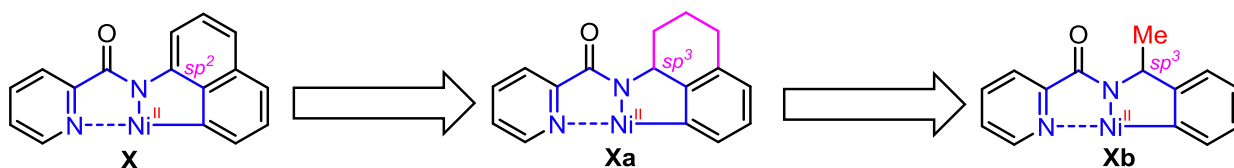


Fig. 11. Proposed mechanism of our arythiolation 1,2,3,4-tetrahydroamine or  $\alpha$ -phenethylamine



The simpler  $\alpha$ -phenethylamine fragment, due to its greater molecular flexibility, facilitates the formation of transition states through coordination, making the reaction more favorable. This primarily yields diarylthioether products with significantly higher yields [11, 12].

**Experimental Section.** The melting points were determined using an X-4 microscopic melting point apparatus and are reported uncorrected.  $^1\text{H}$  NMR spectra were recorded at room temperature on a Bruker ARX-400 or ARX-600 spectrometer using  $\text{CDCl}_3$  as the solvent and tetramethylsilane (TMS) as the internal standard; coupling constants ( $J$ ) are reported in Hz. ESI-MS spectra were obtained using an Agilent 1100 series LC/MSD quadrupole mass spectrometer. Thin-layer chromatography (TLC) was performed on GF 254 fluorescent plates. Column chromatography was carried out using silica gel (200–300 mesh). All reagents were of analytical or chromatographic grade and used without further purification.

The synthesis methods and characterization data for N-(naphthalen-1-yl)picolinamide and 3-methyl-N-(naphthalen-1-yl)picolinamide are referenced in [13]; the synthesis method and characterization for N-(5-bromonaphthalen-1-yl)picolinamide are provided in [14]; the synthesis and characterization of N-(1,2,3,4-tetrahydronaphthalen-1-yl)picolinamide are described in [15]; and the synthesis and characterization of N-(1-phenylethyl)picolinamide are detailed in [16].

**General procedure for the synthesis of N-(naphthalen-1-yl)picolinamide (1a).** Under an argon atmosphere, at  $-5\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$ -phenylethylamine (1.00 g, 7.00 mmol), picolinic acid (1.29 g, 10.5 mmol), DMAP (83.1 mg, 0.70 mmol), and DCM (30 mL) were added to a 150 mL three-necked flask. The mixture was stirred magnetically for 10 minutes, after which a solution of EDCI (2.00 g, 10.5 mmol) in dichloromethane (30 mL) was slowly added dropwise to the reaction system. After completion of the addition, the temperature was gradually raised to room temperature, and the reaction was continued for 6 hours. The mixture was then extracted, dried, concentrated, and recrystallized from methanol to afford white solid 6a in 84.2% yield.

N-(1-(2,6-bis(*p*-tolylthio)phenyl)ethyl)picolinamide (7a, Fig. 7) was prepared by following General Method 1, using 6a instead of 1a and 4,4'-dimethyldiphenyl disulfide in place of diphenyl disulfide, yielding 7a in 79.3%.

$^1\text{H}$  NMR (600 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  9.43 (d,  $J = 7.7\text{ Hz}$ , 1H), 8.40–8.39 (m, 1H), 8.16 (d,  $J = 7.8\text{ Hz}$ , 1H), 7.85 (t,  $J = 15.4\text{ Hz}$ , 1H), 7.41–7.38 (m, 1H), 7.28–7.01 (m, 11H), 6.39–6.37 (m, 1H), 2.27 (s, 6H), 1.71 (d,  $J = 7.2\text{ Hz}$ , 3H).

$^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  163.25, 150.12, 147.99, 143.98, 136.91, 129.99, 128.06, 125.64, 122.18, 67.04, 47.22, 21.12, 20.63.

**HR-MS** (ESI $^+$ ): calcd. for  $\text{C}_{28}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{OS}_2\text{Na}^+$   $m/z$  493.1379; found  $m/z$  493.1384.

Due to its abundant sources in nature, low price and low toxicity, nickel salts can combine well with ligands, and are widely used in coupling reactions and assistant-guided C–H bond activation reactions. The thioetherization functional group reaction of the compound, which can be further converted into the corresponding sulfoxide or sulfone, etc., making the small molecule compound highly functional

group, the small molecule obtained by removing the assistant can be used as a building block for the synthesis of functional materials and active molecules. Therefore, it is of great significance to study the functional group conversion through C–H bond activation, further thioetherization coupling reaction.

In this paper, a simple nickel salt was used as the catalyst to study the methodology of remote C–H activated thioetherification reaction with 2-pyridinamide as the guiding group. Based on the previous work, the substrate 1-naphthylamine or 1,2,3,4-tetrahydro-1-naphthylamine fragment was replaced by a simpler  $\alpha$ -phenethylamine fragment by a shearing strategy. The corresponding amino  $\alpha$ -carbon after replacement is again  $sp^3$  hybridized. Due to the good molecular flexibility of the corresponding substrate, it is easy to complexate and form transition states, and the reaction is easy to occur. The main diaryl sulfide products are given and the yield is significantly increased. At the same time, 7 compounds are expanded.

After replacement, the corresponding amino  $\alpha$ -carbon hybrid form changed from  $sp^2$  hybrid to  $sp^3$  hybrid. Although the hybrid types were different, the similar Ni(II) intermediate Xa or Xb with double five-membered ring complexation could be formed, thereby initiating the smooth progress of the reaction. The more simple  $\alpha$ -phenethylamine fragment, due to the better molecular flexibility of the corresponding substrate, is convenient for complexation to form a transition state, and the reaction is easy to occur, giving a diaryl thioetherization product, and the yield is significantly higher.

In summary, the methodological study of aryl thioethers catalyzed by nickel salt is of certain significance for the functional group of C–H bond and the development of sulfur chemistry.

### References

1. Sodium late current blockers in ischemia reperfusion: is the bullet magic? / B. Le Grand, C. Pignier, R. Létienne, et al. DOI: 10.1021/jm800100z // J. Med. Chem. 2008. Vol. 51. No. 13. P. 3856–3866.
2. Woo C. M., Gholap S. L., Herzon S. B. Insights into lomaiviticin biosynthesis. Isolation and structure elucidation of (-)-homoseongomycin. DOI: 10.1021/np400355h // J. Nat. Prod. 2013. Vol. 76. No. 7. P. 1238–1241.
3. Additional cytotoxic pyridoacridine alkaloids from the ascidian *Cystodytes violatinctus* and biogenetic considerations / N. Bontemps, F. Gattacceca, C. Long, et al. DOI: 10.1021/np400284z // J. Nat. Prod. 2013. Vol. 76. No. 9. P. 1801–1805.
4. Discovery of novel p-arylthio cinnamides as antagonists of leukocyte function-associated antigen-1/intracellular adhesion molecule-1 interaction. 1. Identification of an additional binding pocket based on an anilino diaryl sulfide lead / G. Liu, J. T. Link, Z. Pei, et al. DOI: 10.1021/jm0002782 // J. Med. Chem. 2000. Vol. 43. No. 21. P. 4025–4040.
5. Novel p-arylthio cinnamides as antagonists of leukocyte function-associated antigen-1/intracellular adhesion molecule-1 interaction. 2. Mechanism of inhibition and structure-based improvement of pharmaceutical properties / G. Liu, J. R. Huth, E. T. Olejniczak, et al. // J. Med. Chem. 2001. Vol. 44. No. 8. P. 1202–1210.
6. New Arylthioindoles: potent inhibitors of tubulin polymerization. 2. Structure–activity relationships and molecular modeling studies / G. de Martino, M. C. Edler, G. la Regina, et al. // J. Med. Chem. 2006. Vol. 49. No. 3. P. 947–954.



7. Anti-MRSA agent discovery using diversity-oriented synthesis / G. L. Thomas, R. J. Spandl, F. G. Glansdorp, et al. DOI: 10.1002/anie.200705415 // *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 2008. Vol. 47. No. 15. P. 2808–2812.
8. Copper-catalyzed *peri*-selective direct sulfenylation of 1-naphthylamines with disulfides / Y. S. Xiong, Y. Yu, J. Weng, et al. DOI: 10.1039/C7QO01016H // *Org. Chem. Front.* 2018. Vol. 5. P. 982–989.
9. Lee A., Kim H. Chiral bicyclic bridgehead phosphoramidite (briphos) ligands for asymmetric rhodium-catalyzed 1,2- and 1,4-addition. DOI: 10.1021/acs.joc.6b00033 // *J. Org. Chem.* 2016. Vol. 81. P. 3520–3527.
10. Design and synthesis of benzo[c,d]indolone-pyrrolobenzodiazepine conjugates as potential anticancer agents / A. Kamal, G. Ramakrishna, V. Lakshma Nayak, et al. DOI: 10.1016/j.bmc.2011.12.003 // *Bioorg. Med. Chem.* 2012. Vol. 20. No. 2. P. 789–800.
11. Recent advances in C–S bond formation *via* C–H bond functionalization and decarboxylation / C. Shen, P. Zhang, Q. Sun, et al. DOI: 10.1039/c4cs00239c // *Chem. Soc. Rev.* 2015. Vol. 44. No. 1. P. 291–314.
12. Tran L. D., Popov I., Daugulis O. Copper-promoted sulfenylation of  $sp^2$  C–H bonds. DOI: 10.1021/ja3092278 // *J. Am. Chem. Soc.* 2012. Vol. 134. No. 44. P. 18237–18240.
13. Roy S., Pradhan S., Punniyamurthy T. Copper-mediated regioselective C–H etherification of naphthylamides with arylboronic acids using water as oxygen source. DOI: 10.1039/c8cc02158a // *Chem. Commun.* 2018. Vol. 54. P. 3899–3902.
14. Zhao Y., Chen G. Palladium-catalyzed alkylation of ortho-C( $sp^2$ )–H bonds of benzylamide substrates with alkyl halides // *Org. Lett.* 2011. Vol. 13. No. 18. P. 4850–4853.
15. Copper-catalyzed regioselective nitration and azidation of 1-naphthylamine derivatives *via* remote C–H activation / Y. Dou, B. Yin, P. Zhang, Q. Zhu. DOI: 10.1002/ejoc.201800912 // *Eur. J. Org. Chem.* 2018. Vol. 33. P. 4571–4576.
16. MnCl<sub>2</sub>-catalyzed C–H alkylation on azine heterocycles / Z. G. Shen, H. W. Huang, C. J. Zhu, et al. DOI: 10.1021/acs.orglett.8b03924 // *Org. Lett.* 2019. Vol. 21. No. 2. P. 571–575.

## A THEORETICAL STUDY ON THE SECOND-ORDER NONLINEAR OPTICAL PROPERTIES BASED ON RU(II) COMPLEXES WITH SULFUR-BRIDGED TERPYRIDYL LIGANDS

**Y. Zhang, X. D. Luo, K. Y. Wang, Y. S. E, X. H. Li, H. M. Zhang, J. Y. Liu**  
*Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China,*  
*zhangyuan909909@126.com*

In this work we have systematically investigated the geometric and electronic structures, polarizabilities, and first hyperpolarizabilities of bridgable Ru(II) terpyridyl complexes by density functional theory (DFT) with the aim of rationalizing the nonlinear optical (NLO) structure-function relationships. Efficient redox-triggered NLO switches are observed in homoleptic species, which is advantageous for the design of functional NLO materials.

**Keywords:** DFT calculations, second-order NLO responses, Ru(II) terpyridyl complexes.

The creation and study of organometallic complex compounds is a relevant area of modern chemical science. The huge variety of physical and chemical prop-

erties of such compounds has determined the widest range of their practical application, including in the field of environmental protection. The sensitivity of the optical properties of some organometallic compounds to the state of the environment makes it possible to create functional materials suitable for design of chemical sensors that can find wide application in environmental research and monitoring.

Nonlinear optics (NLO) mainly centers on nonlinear phenomena and their applications in media under the influence of strong coherent light [1, 2]. Metal Ru(II) pyridine complex, as a distinctive  $\pi$ -electron delocalized nitrogen heterocyclic organic compound, demonstrates certain characteristics during the process of metal ion coordination [3–6]. It is notable that metal Ru(II) complexes not only display excellent optical properties but also can act as outstanding NLO redox switches [7].

In this paper, density functional theory is employed to explore the second-order nonlinear optical properties of various bridgable Ru(II) terpyridine complexes in redox states. The influences of the introduction of bridging and the redox reaction of the complex on the electronic structure and nonlinear optical properties are taken into account in this research. Density functional theory (DFT) calculations were carried out using the Gaussian 09W revision D.01 program package. The B3LYP functional was employed to optimize the geometry of the ground-states of all complexes with no symmetry restrictions. We chose CAM-B3LYP functionals [8] with 6-31+G(d) (SDD basis set for the Pd ion) to compute polarizability ( $\alpha$ ) and first hyperpolarizability ( $\beta_{\text{tot}}$ ) in this work.

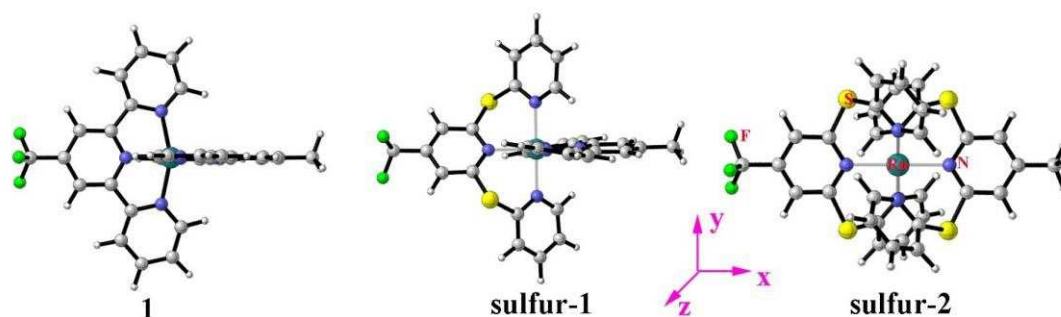


Fig. 1. Optimized geometrical structures at the B3LYP method with the 6-31G(d)/SDD basis set

We selected cyclometalated Ru(II) terpyridyl, sulfur-bridged terpyridyl homoleptic and heteroleptic species as the research objects. These complexes were named complex 1, complex sulfur-1 and complex sulfur-2, and then their oxide states (1a, sulfur-1a and sulfur-2a) and reduced species (1b, sulfur-1b, sulfur-2b) were further investigated. Optimized geometrical structures of the studied complexes are shown in Figure 1. As revealed in Figure 1, all studied complexes have two tridentate ligands coordinated to the ruthenium atom in a meridional fashion. In complexes sulfur-1 and sulfur-2, this flexibility enables near-octahedral angles, which means the bond angles are close to the ideal angles of an octahedron. The distributions of the highest occupied molecular orbital (HOMO) and the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) obtained by B3LYP/6-31G(d)/SDD are pre-

sented in Fig. 2. Complex 1 and sulfur-2 show more obvious degree of charge transfer than complex sulfur-1. This is in good agreement with the electrochemical and second-order NLO properties.

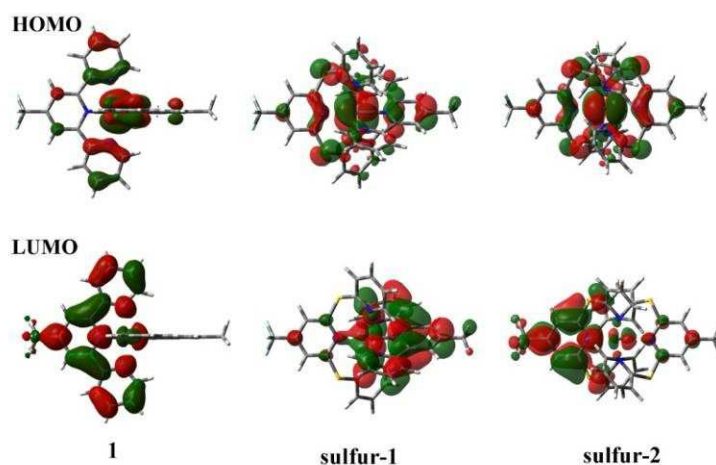


Fig. 2. Optimized geometrical structures at the B3LYP method with the 6-31G(d)/SDD basis set

Table 1

**The main components and average polarizabilities  $\alpha$  ( $10^{-24}$  esu) computed at the CAM-B3LYP/6-31+G(d)/SDD levels of theory**

| Complex  | $\alpha_{xx}$ | $\alpha_{yy}$ | $\alpha_{zz}$ | $\alpha$ |
|----------|---------------|---------------|---------------|----------|
| 1        | 85.9          | 86.6          | 118.4         | 97.0     |
| sulfur-1 | 101.1         | 88.5          | 115.9         | 101.8    |
| sulfur-2 | 104.5         | 102.7         | 117.3         | 108.2    |

The CAM-B3LYP/6-31+G(d)/SDD levels of theory will serve as a model for the subsequent discussions, and the relevant data of the investigated complexes are presented in Table 1 and Table 2. The  $\alpha_{zz}$  component is the most significant and largest for the studied complexes, suggesting that these complexes are most polarizable along the z direction. As presented in Table 2, the addition of sulfur spacers between the terpyridyl rings can tune the second-order NLO properties for these Ru(II) complexes. Thus, the results reveal that homoleptic sulfur-bridged terpyridyl species complexes have two-state switching effect “on–off”.

In conclusion, we employed DFT methods to elucidate the second-order NLO structure–function relationships of Ru(II) terpyridyl complexes. The calculation of their polarizabilities and first hyperpolarizabilities herein confirms that Ru(II) terpyridyl complex is a good NLO candidate material, which is ascribed to the obvious charge transfer pattern. The oxidation leads to a sharp increment of the first hyperpolarizabilities compared with the neutral counterparts. Ru(II) terpyridyl and homoleptic sulfur-bridged terpyridyl species can be regarded as excellent NLO switching materials through redox stimulus.

Table 2

**The main individual components of first hyperpolarizabilities and total first hyperpolarizabilities ( $10^{-30}$  esu) of the studied complexes calculated at CAM-B3LYP/6-31+G(d)/SDD level**

| Complex   | $\beta_x$ | $\beta_y$ | $\beta_z$ | $\beta_{\text{tot}}$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| 1         | 0.1       | 0.3       | -13.7     | 13.7                 |
| 1a        | -1.7      | -0.2      | -18.8     | -18.9                |
| 1b        | 122.1     | -4548.2   | 1039.9    | 4667.2               |
| sulfur-1  | -0.5      | 0.1       | -5.6      | 5.6                  |
| sulfur-1a | -18922.0  | 34867.6   | 1398.4    | 39695.6              |
| sulfur-1b | -1703.6   | 106.9     | -1843.2   | 2512.2               |
| sulfur-2  | 0.3       | 0.1       | -11.6     | 11.6                 |
| sulfur-2a | 0.3       | -0.2      | -8.2      | 8.2                  |
| sulfur-2b | -27.8     | -0.2      | -0.6      | 27.8                 |

In conclusion, we employed DFT methods to elucidate the second-order NLO structure–function relationships of Ru(II) terpyridyl complexes. The calculation of their polarizabilities and first hyperpolarizabilities herein confirms that Ru(II) terpyridyl complex is a good NLO candidate material, which is ascribed to the obvious charge transfer pattern. The oxidation leads to a sharp increment of the first hyperpolarizabilities compared with the neutral counterparts. Ru(II) terpyridyl and homoleptic sulfur-bridged terpyridyl species can be regarded as excellent NLO switching materials through redox stimulus.

*The authors gratefully acknowledge the financial support from the Basic Scientific Research Project of Higher Education Department of Liaoning Province (No. LJ222411430009 and No. JYTZD2023191), the Doctoral Research Starting Foundation of School (No. 2307B17), and Liaoning University of Science and Technology pioneer research and innovation team project (No. XKT202302).*

### References

1. Huang W., Zhao S., Luo J. Recent development of non- $\pi$ -conjugated deep ultraviolet nonlinear optical materials. DOI: 10.1021/acs.chemmater.1c02554 // Chem. Mater. 2021. Vol. 34. No. 1. P. 5–28.
2. Unprecedented large hyperpolarizability of twisted chromophores in polar media / A. J. T. Lou, S. Righetto, C. Barger, et al. DOI: 10.1021/jacs.8b04320 // J. Am. Chem. Soc. 2018. Vol. 140. No. 28. P. 8746–8755.
3. New structure-nonlinear optical property correlation in “Russian doll” complexes formed by nested Pd(II) nanorings / Y. Zhang, H. Q. Wang, Y. Y. Zhao, Y. Q. Qiu. DOI: 10.1021/acs.jpcc.0c03031 // J. Phys. Chem. C. 2020. Vol. 124. No. 23. P. 12655–12664.
4. Multinuclear Pd(II) oligomeric nanohoop complexes with 2,2'-bipyridyl-embedded cycloparaphenylenes ligands exhibiting ultrahigh third-order nonlinear optical performance / Y. Zhang, Y. Q. Qiu, Y. Y. Zhao, et al. DOI: 10.1002/qua.27202 // Int. J. Quantum Chem. 2023. Vol. 123. No. 21. Article No. e27202.
5. Dual-emissive tris-heteroleptic Ruthenium complexes: tuning the DNA-triggered ratiometric emission response by ancillary ligands / S. H. Wu, R. Yang, B. Sun, et al. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.1c02077 // Inorg. Chem. 2021. Vol. 60. No. 19. P. 14810–14819.

6. BODIPY-ruthenium(II) bis-terpyridine complexes for cellular imaging and type-I/-II photodynamic therapy / S. Paul, P. Kundu, P. Kondaiah, A. R. Chakravarty. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.1c01850 // Inorg. Chem. 2021. Vol. 60. No. 21. P. 16178–16193.

7. Substituent and redox effects on the second-order NLO response of Ru(II) complexes with polypyridine ligands: a theoretical study / Y. Y. Wang, Y. Chen, Y. Y. Zhao, Y. Q. Qiu. DOI: 10.1039/d3nj00594a // New Journal of Chemistry. 2023. Vol. 47. No. 15. P. 7326–7334.

8. A review on phase transition and structure-performance relationship of second-order nonlinear optical polymorphs / K. Wu, Y. Yang, L. Gao. DOI: 10.1016/j.ccr.2020.213380 // Coord. Chem. Rev. 2020. Vol. 418. Article No. 213380.

## **PREPARATION AND PROPERTIES OF SILICON COPOLYCARBONATE AS A NEW TYPE OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY FLAME RETARDANTS**

***Y. S. E, C. S. Miao***

*Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China,  
eyongsheng@lnist.edu.cn*

Silicon copolycarbonate is prepared by interfacial polycondensation method using siloxane bisphenol (SBP), bisphenol A (BPA) and triphosgene (BTC) as raw materials. The vertical combustion grade of silicon copolycarbonate is V-0, and the oxygen index is 39.2%, indicating that its flame retardant performance has been significantly improved. According to the low temperature test, the charpy impact strength of silicon copolycarbonate decreases only by 13.19% at -30°C, and its low temperature impact resistance is good.

**Keywords:** copolycarbonate, siloxane bisphenol, preparation, properties.

Polycarbonate (PC) is a thermoplastic engineering plastic containing carbonate groups in its molecular chain. General-purpose PC is bisphenol A type polycarbonate (BPA-PC), which is widely used in various fields such as automobiles, medical devices, and packaging due to its good thermal stability, transparency, and mechanical properties. However, with the increasing application of PC in high-performance material fields such as electronics and lighting, higher requirements for flame retardancy have been put forward [1].

Siloxane flame retardants are a new type of efficient, low-toxicity, melt-drip prevention, smoke suppression, and environmentally friendly halogen-free flame retardants [2]. When burned, they form a unique inorganic oxygen-isolating and heat-insulating protective layer containing Si-O and Si-C bonds, which not only prevents the escape of combustion decomposition products but also inhibits the thermal decomposition of polymers, achieving the goals of flame retardancy, low smoke, and low toxicity [3]. The copolymerization of SBP and BPA is used to prepare siloxane bisphenol type polycarbonate (SBP-PC), that is silicon copolycarbonate. The flame retardancy of PC is improved by introducing Si-O and Si-C bonds into the molecular chain [4]. The introduction of siloxane also increases the

flexibility of the molecular chain, improving low-temperature toughness. This type of high-end PC has broad application prospects in fields such as 5G communications, artificial intelligence, and virtual reality devices.

**Preparation of SBP-PC.** In a 250 ml three-necked flask equipped with a condenser, a total of 0.05 mol of SBP and BPA were added, followed by 40 g of 12% NaOH solution and 20 ml of dichloromethane. The mixture was stirred thoroughly to dissolve SBP and BPA. 6.5 g of BTC was dissolved in 80 ml of dichloromethane to prepare a solution. The reaction mixture was heated in a water bath at 40°C, and 0.5 g of triethylamine (catalyst) was added. Then, the dichloromethane solution of BTC was added dropwise, with the addition rate controlled to be completed within 30 minutes. An additional 0.3 g of triethylamine was added, and the reaction was continued under reflux for 60 minutes. After the reaction, the mixture was allowed to settle and separate into layers. The lower layer of dichloromethane solution was collected, washed with water until neutral, and the solvent dichloromethane was recovered using a rotary evaporator. The remaining white fibrous solid was washed with ethanol and dried to obtain SBP-PC.

The polymerization reaction equation is shown in Figure 1.

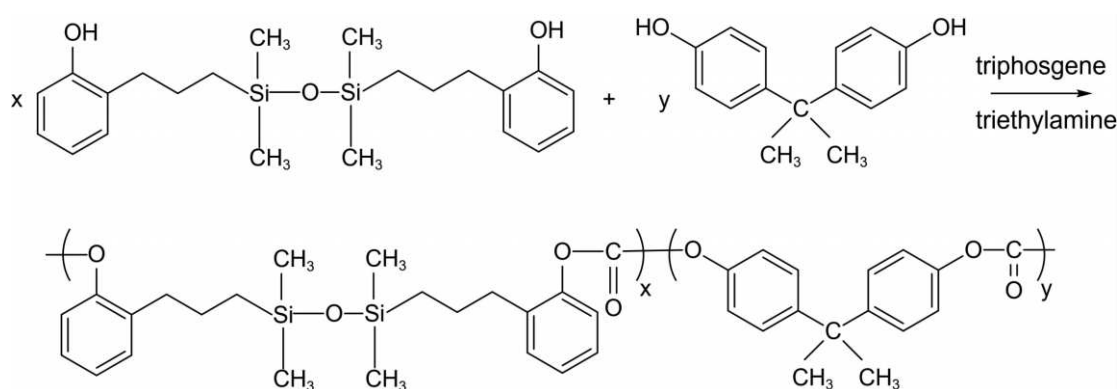


Fig. 1. Polymerization reaction of SBP-PC

**Flame Retardant Test.** The flame retardant properties of BPA-PC and SBP-PC are shown in Table 1.

Table 1

The flame retardant properties of BPA-PC and SBP-PC

| Samples | Vertical burning test |          | OI/% |
|---------|-----------------------|----------|------|
|         | <i>t</i> /s           | <i>L</i> |      |
| BPA-PC  | 25                    | V-2      | 25.2 |
| SBP-PC  | 8                     | V-0      | 39.2 |

Notes: *t* is remaining flame time, *L* is vertical burning level.

As shown in Table 1, the remaining flame time of SBP-PC in the vertical burning test is shorter, and the vertical burning rating of SBP-PC is upgraded from V-2 to the V-0 level that meets the requirements of electronic equipment. The oxygen index (OI) also increases, changing from a combustible material to a flame-retardant material. This is due to siloxanes migrate and accumulate from the interior to the surface of the PC during combustion, forming a homogeneous inorganic

oxygen-isolating and heat-insulating protective layer containing Si-O and Si-C bonds [5].

**Low-temperature impact performance test.** The introduction of siloxanes increases the flexibility of the PC molecular chains, the notched Izod impact strength of SBP-PC and BPA-PC at low temperatures is shown in Figure 2.

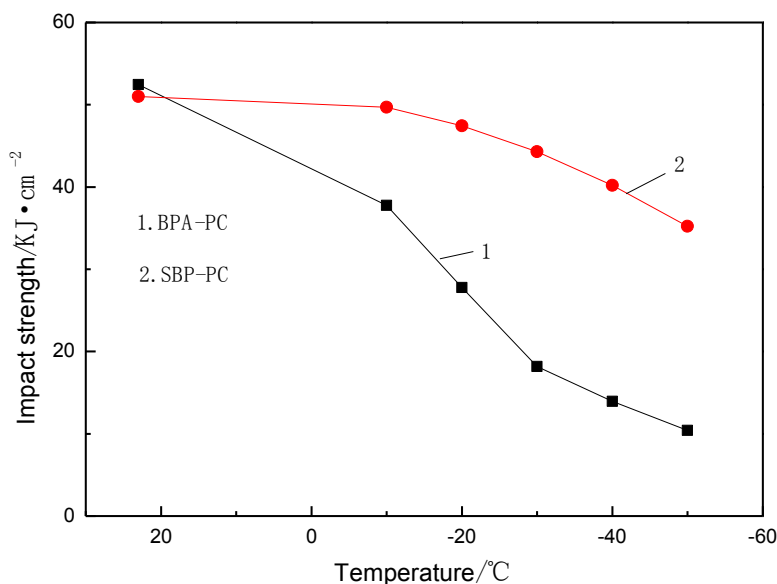


Fig. 2. Impact strength of SBP-PC and BPA-PC at low temperature

As shown in Figure 2, the notched Izod impact strength of SBP-PC at room temperature is slightly lower than that of BPA-PC. However, as the temperature decreases, the impact strength of BPA-PC drops sharply, reaching  $18.17 \text{ KJ}\cdot\text{m}^{-2}$  at  $-30^\circ\text{C}$ , a decrease of 65.36%. In contrast, the impact strength of SBP-PC decreases more gently, reaching  $44.28 \text{ KJ}\cdot\text{m}^{-2}$  at  $-30^\circ\text{C}$ , a decrease of only 13.19%. This is due to the molecular motion of PC slows down at low temperatures, and the intermolecular forces weaken, causing the material to become brittle and resulting in a decrease in impact strength. However, Si-O can maintain good elasticity and flexibility at low temperatures, absorbing a large amount of impact energy when subjected to impact, thereby increasing low-temperature toughness and enhancing impact strength at low temperatures [6].

**Conclusions.** SBP-PC was prepared using SBP, BPA, and BTC as raw materials. The results show that the vertical combustion level of SBP-PC is V-0 and the OI is 39.2%, which indicates that the flame retardants of the newly prepared SBP-PC are significantly improved compared with BPA-PC. The decrease in notched Izod impact strength of SBP-PC at  $-30^\circ\text{C}$  is only 13.19%, showing good impact resistance at low temperatures. The notched Izod impact strength of SBP-PC decreases only 13.19% at  $-30^\circ$ , indicating that SBP-PC can still maintain good impact resistance at low temperature.

*The authors gratefully acknowledge the Liaoning Institute of Science and Technology pioneer research and innovation team project (No. XKT202302).*

## References

1. Effect of screw combination on properties of flame retardant polycarbonate / X. C. Xu, W. Zhang, J. S. Guo, et al. DOI: 10.19690/j.issn1004-3055.20200264 // Modern Plastics Processing and Applications. 2021. Vol. 33. No. 5. P. 29–32.
2. Progress of silicon-based flame retardants in the polycarbonate system / H. L. Cai, K. Xu, H. Liu, et al. DOI: 10.16584/j.cnki.issn1671-5381.2010.01.004 // Synthetic Materials Aging and Application. 2010. Vol. 39. No. 1. P. 29–33.
3. Zhou B.-L., Zhang M.-C., Shi L. Research progress on reactive silicone flame retardants. DOI: 10.19894/j.issn.1000-0518.210009 // Chinese Journal of Applied Chemistry. 2021. Vol. 38. No. 12. P. 1556–1575 (in Chinese).
4. Fu Y., Tan S.-B., Zhao J.-Q. Progress in application of silicon-containing compounds in flame retardant polycarbonate. DOI: CNKI:SUN:SLGY.0.2007-06-003 // China Plastics Industry. 2007. No. 6. P. 1–4 (in Chinese).
5. Miao Y. Z. Study on preparation characterization and flame retardancy on polycarbonate of carboxyl-polysiloxane and hydroxyl-polysiloxane. Haerbin : Northeastern Forestry University, 2010.
6. Wang D. Z. Preparation and properties of flame retardant polysiloxane modified polycarbonate. Haerbin : Harbin Engineering University, 2021.

## RESEARCH PROGRESS OF PASSIVE MICROMIXER

***D. Fu<sup>1</sup>, D. Sun<sup>1</sup>, W. Q. Tan<sup>1,2</sup>, Z. Q. Wang<sup>1</sup>, L. Lian<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China,  
18842456684@163.com,*

*<sup>2</sup>Vyatka State University, Kirov, Russia*

Passive micromixer is an emerging branch of microfluidic technology for the processing and synthesis of biological samples, nanomaterials and biomedicine. In this review, we present the latest advances and innovations in the growing field of passive micromixers, including the design principles and characteristics of the T-Y type micromixers, obstacle type micromixers, separation-recombination type micromixers, and chaotic convection type micromixers.

**Keywords:** passive micromixer, T-Y type micromixers, obstacle type micromixers, separation-recombination type micromixers, chaotic convection type micromixers.

With the in-depth development of micro-scale scientific research, microfluidic technology has shown a wide range of application needs in various fields such as chemical engineering, biomedicine, and nanomaterials [1, 2]. As a key component of microfluidic technology, micromixers can achieve uniform mixing of fluids of different properties in a short time [3]. Compared with traditional macro mixing equipment, micromixers have the advantages of high efficiency, low consumption and fast reaction, which is of great significance for improving the efficiency of chemical reaction and the accuracy of biochemical detection [4]. Micromixers can be categorized into active and passive types, depending on whether they require an external energy source [5]. Active micromixers enhance fluid mixing by applying



external energy fields and allow flexible control over the mixing mode and intensity based on specific requirements [6]. However, their dependence on external energy devices increases system complexity and limits large-scale application.

In contrast, passive micromixers operate without external energy input. By altering the structure and shape of microchannels, they induce molecular diffusion and chaotic convection during fluid flow to achieve effective mixing. Passive micromixers are simple in design, cost-effective, stable, and easy to fabricate and integrate at scale [7, 8]. As a result, they have become a prominent focus in both industrial applications and scientific research.

**T-Y Type Micromixer.** The T-Y type micromixer is one of the earliest designs, relying primarily on molecular diffusion for mass transfer. It typically requires a longer channel length to achieve effective mixing. With ongoing innovation, modified versions of the T-Y type micromixer have demonstrated significantly improved mixing performance. Based on the traditional T-Y design, Babaie et al. developed a serpentine micromixer featuring sinusoidal microchannel walls. Simulation results showed that when the  $Re$  reached 100, the mixing index of the serpentine micromixer reached 99%. Even under markedly different flow conditions, with  $Re$  of 80 and 0.1, the mixing index remained above 90% [9]. These findings suggest that sinusoidal channel walls can enhance mixing performance across a wide range of flow conditions. Tripathi et al. conducted further research on serpentine micromixers derived from the Y-type design. Simulation results indicated that in the intermediate  $Re$  range, the serpentine micromixer exhibited lower mixing efficiency than the spiral micromixer. However, when the  $Re$  increased to 100, the serpentine micromixer achieved nearly the same mixing performance as the spiral design, while maintaining a relatively low-pressure drop [10]. The sinusoidal sidewalls proved particularly effective in promoting stable and efficient mixing. Building on this concept, Li et al. introduced sawtooth-shaped sidewalls into the micromixer design. Their study revealed that sawtooth microchannels could continuously alter fluid flow direction, disrupt laminar flow, expand the fluid contact area, and significantly enhance mixing efficiency [11].

**Obstacle-Type Micromixer.** Obstacle-type micromixers enhance mixing efficiency by incorporating obstacles of various shapes within the microchannel, thereby altering the fluid original flow path. Chung et al. introduced baffle structures into the microchannel, achieving efficient mixing by two mechanisms: at low flow rates, fluid focusing extended molecular diffusion time, while at high flow rates, the generation of vortices increased the contact area between fluid streams. This design demonstrated high mixing efficiency under conditions of  $Re \leq 0.1$  and  $Re \geq 40$  [12]. Nai et al. further introduced baffle obstacles into the square cavity micromixer. When the fluid flows through the baffle, the narrow space exerts a strong compression effect on the fluid, generating a series of complex vortexes and recirculation areas, which increase the contact between different fluids. In addition, when the  $Re$  is in the range of 0.1~60, the increase in baffle length and obstacle aspect ratio leads to a significant improvement in the mixing index [13]. This conclusion provides an important reference for further optimizing the structure of the mi-

cromixer. Based on the above research, Mirkarimi et al. added arranged cylindrical obstacles to the microchannel of the serpentine micromixer to increase the complexity of the lateral flow, increasing disturbances in the channel. The micromixer overcomes the problem of low mixing efficiency of traditional serpentine micromixers at low Re and exhibits excellent mixing performance [14].

**Separation-Recombination Type Micromixer.** The separation composite micromixer introduces a separation composite structure to stratify the fluid, so that the thickness of the fluid layer decreases exponentially, thereby shortening the diffusion distance, increasing the contact area between the mixed fluids, and enhancing the mixing effect. Janakiraman et al. cleverly used bifurcated channels to process fluids. It's separated into multiple parts when the fluid flows along the bifurcated channel, which greatly reduces the fluid layer thickness and increases the contact area of the two fluids [15]. On this basis, Sadabadi et al. further developed a high-performance cascade micromixer to achieve the effect of fluid stratification by directing fluids into different microchannels. The results showed that the mixing efficiency could reach 85% when the flow rate was lower than 40 $\mu$ L/min. The micromixer shows high mixing efficiency at low flow rates [16]. In addition, Ansari et al. took an alternative approach and designed separation-recombination type micromixers by utilizing the principle of fluid imbalance splitting and cross collision. The numerical simulation results show that in the range of Re 10-80, the fluid in the two subchannels of the micromixer will have unbalanced collision, breaking the original stable flow state of the fluid, and promoting the fluid to mix more fully. Further analysis indicated that when the sub-channel widths were equal, the micromixer exhibited the poorest mixing performance. Conversely, increasing the width ratio between the main and secondary sub-channels significantly enhanced mixing efficiency [17].

**Chaotic Convection Type Micromixer.** Chaotic convection-type micromixers utilize specially designed structures such as serpentine or complex three-dimensional microchannels, to induce stretching, folding, and flipping of fluid streams. These deformations create chaotic convection within the channels, significantly enhancing the mixing efficiency. Lin et al. innovatively designed a three-dimensional vortex micromixer to achieve efficient mixing via a self-rotation mechanism. This micromixer employed a three-layer glass structure, allowing fluids to enter a circular mixing chamber through eight tangential inlets. Experimental results showed that when the Re was below 2.32, the fluid exhibited non-rotational flow. However, once Re exceeded 2.32, three-dimensional vortices formed within the chamber, generating transverse flows that continuously stretched and folded the fluids. This greatly increased the contact area between streams and improved the overall mixing effect. When the Re reaches 4, the mixing efficiency can reach 90% [18]. The chaotic convection generated by the three-dimensional vortex micromixer plays a positive role in efficient mixing. Based on this concept, Liu et al. proposed a three-dimensional cross-linked dual helical micromixer (CLDH) to solve the problem of fluid mixing difficulty at low Re. The micromixer is mainly composed of two counter-rotating double helix channels. It will lead to the fluid collision

when the fluid passes through the cross area of the double helix channel, which could result in repulsive flow and linear flow. Strong fluid collisions further induce split-and-recombine mixing effects. The optimized 3D cross-linked double helix micromixer can achieve up to 99% mixing effect through four cycles in the Re range of  $0.003 < \text{Re} < 30$  [19].

As an important branch of microfluidic technology, passive micromixer has shown great application potential in many fields. However, there are still many challenges, such as how to further enhance fluid perturbation to improve mixing efficiency at low Re, how to improve mixing performance while reducing energy consumption, and how to solve material compatibility and biosafety issues to meet the needs of specific scenarios. In addition, the integration and large-scale production of passive micromixers is still the bottleneck on the road to industrialization, and it is difficult to achieve large-scale application. However, passive micromixers still have a promising future. With the rapid development of precision medicine, personalized drug delivery and other fields, the demand for micromixers will continue to grow.

In the future, the development of passive micromixers will move towards the direction of intelligence and multi-function. Moreover, the breakthroughs of passive micromixers will be made in the coming years through interdisciplinary collaboration, innovative design and process optimization.

### References

1. A novel passive micromixer based on unbalanced splits and collisions of fluid streams / M. A. Ansari, K. Y. Kim, K. Anwar, S. M. Kim. DOI: 10.1088/0960-1317/20/5/055007 // J. Micromech. Microeng. 2010. Vol. 20. No. 5. Article No. 055007
2. Babaie Z., Bahrami D., Bayareh M. Investigation of a novel serpentine micromixer based on Dean flow and separation vortices. DOI: 10.1007/s11012-021-01465-6 // Meccanica. 2022. Vol. 57. No. 1. P. 73–86
3. Bennour E., Kaid N., Mouissi A. Numerical Investigation on a chaotic passive micromixer based on square chambers connected with different channel shapes for enhancing the mixing process. DOI: 10.1021/acs.iecr.3c03567 // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2024. Vol. 63. No. 6. P. 2861–2874/
4. Design and experiments of a short-mixing-length baffled microreactor and its application to microfluidic synthesis of nanoparticles / C. K. Chung, T. R. Shih, C. K. Chang, et al. DOI: 10.1016/j.cej.2010.12.035 // Chem. Eng. J. 2011. Vol. 168. No. 2. P. 790–798.
5. Constructal design of passive micromixers with multiple obstacles via computational fluid dynamics / E. H. T. Cunegatto, F. S. F. Zinani, C. Biserni, L. A. O. Rocha. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124519 // Int. J. Heat Mass Transfer. 2023. Vol. 215. Article No. 124519.
6. Experimental investigation and computational modeling of hydrodynamics in bifurcating microchannels / V. Janakiraman, S. Sastry, J. R. Kadambi, H. Baskaran. DOI: 10.1007/s10544-007-9143-6 // Biomed. Microdevices. 2008. Vol. 10. No. 3. P. 355–365.
7. A digital microfluidic system with integrated electrochemical impedance detection arrays / K. Jin, Q. Huang, C. Hu, et al. DOI: 10.1088/1742-6596/2196/1/012005 // J. Phys.: Conf. Ser. 2022. Vol. 2196. No. 1. Article No. 012005
8. A microsecond microfluidic mixer for characterizing fast biochemical reactions / Y. Li, D. Zhang, X. Feng, et al. DOI: 10.1016/j.talanta.2011.10.028 // Talanta. 2012. Vol. 88. P. 175–180.

9. Lin C.-H., Tsai C.-H., Fu L.-M. A rapid three-dimensional vortex micromixer utilizing self-rotation effects under low Reynolds number conditions. DOI: 10.1088/0960-1317/15/5/006 // J. Micromech. Microeng. 2005. Vol. 15. No. 5. Article No. 935.
10. Design and analysis of the cross-linked dual helical micromixer for rapid mixing at low Reynolds numbers / K. Liu, Q. Yang, F. Chen, et al. DOI: 10.1007/s10404-015-1558-4 // Microfluid. Nanofluid. 2015. Vol. 19. No. 1. P. 169–180.
11. Mirkarimi S. M. H., Hosseini M. J., Pahamli Y. Numerical investigation of a curved micromixer using different arrangements of cylindrical obstacles. DOI: 10.1016/j.aej.2023.08.002 // Alexandria Eng. J. 2023. Vol. 79. P. 135–154.
12. Effect of multiple structural parameters on the performance of a micromixer with baffles, obstacles, and gaps / J. Nai, F. Zhang, P. Dong, et al. DOI: 10.3390/mi14091750 // Micromachines. 2023. Vol. 14. No. 9. Article No. 1750.
13. Design and analysis of a microfluidic lab-on-chip utilizing dielectrophoresis mechanism for medical diagnosis and liquid biopsy / W. Pakhira, R. Kumar, K. M. Ibrahimi, R. Bhattacharjee. DOI: 10.1007/s40430-022-03793-4 // J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 2022. Vol. 44. No. 10. Article No. 482.
14. SadAbadi H., Packirisamy M., Wüthrich R. High performance cascaded PDMS micromixer based on split-and-recombination flows for lab-on-a-chip applications. DOI:10.1039/C3RA40910D // RSC Adv. 2013. Vol. 3. No. 20. P. 7296–7305.
15. Efficient ABEI-Dissolved O<sub>2</sub>-Ce(III, IV)-MOF ternary electrochemiluminescent system combined with self-assembled microfluidic chips for bioanalysis / X. Song, S. Yu, L. Zhao, et al. DOI: 10.1021/acs.analchem.2c01199 // Anal. Chem. 2022. Vol. 94. No. 26. P. 9363–9371.
16. Tripathi E., Patowari P. K., Pati S. Comparative assessments of mixing and pressure drop characteristics in spiral, serpentine and straight micromixers. DOI: 10.1007/s11012-023-01676-z // Meccanica. 2023. Vol. 58. No. 7. P. 1315–1327.
17. An overview on state-of-art of micromixer designs, characteristics and applications / X. Wang, Z. Liu, B. Wang, et al. DOI: 10.1016/j.aca.2023.341685 // Anal. Chim. Acta. 2023. Vol. 1279. Article No. 341685.
18. DNA hydrogels combined with microfluidic chips for melamine detection / Z. Wang, R. Chen, Y. Hou, et al. DOI: 10.1016/j.aca.2022.340312 // Anal. Chim. Acta. 2022. Vol. 1228. Article No. 340312.
19. High throughput confined migration microfluidic device for drug screening / Z. Yang, Z. Zhou, T. Si, et al. DOI:10.1002/sml.202207194 // Small. 2023. Vol. 19. No. 16. Article No. e2207194

## МИКРОБНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИЙ *RHODOCOCCLUS* И *GLUCONOBACTER*

**К. В. Ревякина<sup>1</sup>, С. Е. Тарасов<sup>2</sup>, Ю. В. Плеханова<sup>2</sup>, А. Г. Быков<sup>2</sup>,  
Г. В. Хохлова<sup>2</sup>, М. Б. Вайнштейн<sup>2</sup>, А. Н. Решетилов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королева, г. Самара, Россия, revyakina\_00@inbox.ru,

<sup>2</sup> Институт биохимии и физиологии микроорганизмов  
имени Г. К. Скрыбина РАН, ФИЦ Пушчинский научный центр  
биологических исследований РАН, г. Пушкино, Россия

Изучено электрохимическое поведение бактерий *Rhodococcus electrodiphilus* при утилизации субстратов различной природы. Разработан двухкамерный микробный топливный элемент (МТЭ) на основе данных бак-

терий на катоде и уксуснокислых бактерий *Gluconobacter oxydans* на аноде. Получены мощностные характеристики макета МТЭ при его долговременной работе.

Ключевые слова: *Rhodococcus electrodiphilus*, *Gluconobacter oxydans*, электрогенность, микробный топливный элемент, электрохимические свойства.

Биотопливный элемент (БТЭ) представляет собой электрохимическое устройство, вырабатывающее электрическую энергию за счет окисления органических соединений с использованием биокатализаторов, таких как ферменты или живые клетки. В отличие от традиционных топливных элементов, основанных на неорганических катализаторах, БТЭ работают в более мягких условиях, могут использовать возобновляемые источники топлива, включая биомассу и продукты органического распада. Благодаря способности преобразовывать отходы в энергию, биотопливные элементы могут найти применение в экологии для утилизации органических загрязнителей сточных вод, переработки биологических отходов и снижения выбросов углерода в окружающую среду [1]. Среди различных типов БТЭ особенно интересны микробные (МТЭ), в которых микроорганизмы катализируют трансформацию соединений различных классов и напрямую передают электроны аноду, что делает процесс более эффективным и долговременным. Благодаря этому МТЭ способны работать на широком спектре органических соединений, включая промышленные и бытовые отходы, одновременно очищая окружающую среду и генерируя электроэнергию.

Важную роль в функционировании МТЭ играют электрогенные бактерии, способные передавать электроны на внешние акцепторы [2]. До недавнего времени грамположительным бактериям уделялось не так много внимания, так как считалось, что их более толстая клеточная стенка препятствует эффективному переносу электронов. Однако, недавно электрогенные свойства были выявлены у *Listeria monocytogenes* и *Enterococcus faecalis*, что открыло новые перспективы для изучения этой группы бактерий [3–5]. В связи с этим возрастает интерес к другим грамположительным микроорганизмам, таким как представители рода *Rhodococcus* [6], которые могут не только улучшить характеристики МТЭ, но и способствовать развитию экологически устойчивых технологий переработки отходов и биоремедиации.

В качестве биокатализатора МТЭ в данной работе использовали культуру, выделенную из корродированного металлического сплава. Идентификация штамма SiAl на основе анализа 16S рПНК показала его максимальное сходство (99,71%) с *Rhodococcus electrodiphilus*. Ранее было показано [7], что данный изолят может быть использован для создания биосенсоров. Были получены электрохимические отклики в присутствии 2,6-дихлорофенолиндофенола, что говорит о возможности детекции различных фенольных соединений.

Цель работы – изучение генерации электроэнергии микробным топливным элементом на основе бактерий *Rhodococcus electrodiphilus* и *Gluconobacter oxydans*.

Культивирование микроорганизмов *Rhodococcus electrodiphilus* проводили на жидкой и агаризованной триптонной среде (5/5) состава: аминокислоты – 60 мл, триптон – 5 г, дрожжевой экстракт – 1 г, соевый экстракт – 30 мл, агар-агар – 20 г, вода дистиллированная – до 1000 мл; pH 7,4. Полученную биомассу из культуральной жидкости центрифугировали при комнатной температуре 10 минут (10000 об/мин) и ресуспендировали. Полученные клетки иммобилизовали сорбцией на углеродные стержни, которые использовали в качестве электродов МТЭ. Оценивали электрогенную активность микроорганизмов на аноде, в качестве катода использовали углеродный стержень; либо на катоде, а на аноде иммобилизовали сорбцией *Gluconobacter oxydans*. Культивирование *Gluconobacter oxydans* проводили по методике [8].

Для оценки электрогенного потенциала бактерий *Rhodococcus* был использован метод циклической вольтамперометрии. Были получены циклические вольтамперные характеристики электрода с иммобилизованными бактериальными клетками *R. electrodiphilus* SiAl в фосфатном буфере. Измерение проводили в присутствии редокс-медиаторов 2,6-дихлорофенолиндофенола (ДХФИФ, 138 мкМ) и гексацианоферрата(III) (ГЦФ(III), 138 мкМ), а также субстрата глюкозы (5 мМ). Типичный вид вольтамперограмм для электрода в присутствии медиатора и субстрата показан на рисунке 1. В присутствии ГЦФ(III) при добавлении глюкозы наблюдали увеличение тока окисления в диапазоне 0–1 В с 250 до 300 мкА, что свидетельствует о наличии электронного переноса в системе при трансформации субстрата бактериями. Подобную картину наблюдали и в присутствии ДХФИФ. Увеличение токов показывает, что данный микроорганизм электрогенен и обладает перспективами для использования в составе МТЭ.

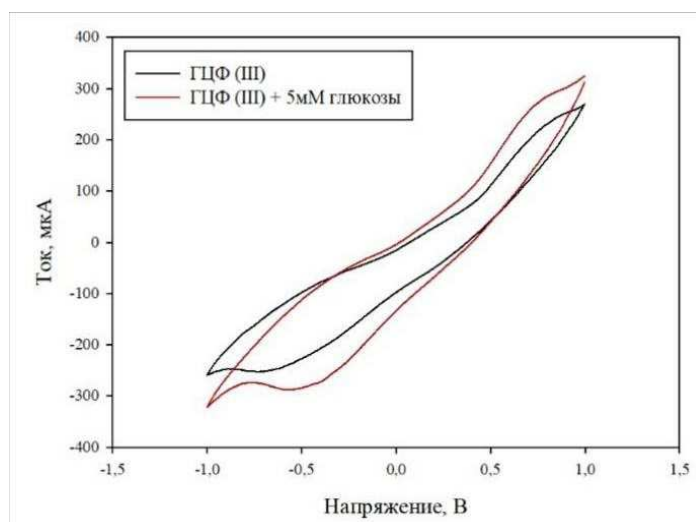


Рис. 1. Циклические вольтамперограммы графитового электрода с иммобилизованными клетками *R. electrodiphilus* SiAl в присутствии медиатора и субстрата

При этом наблюдали реакцию микроорганизмов на введение самих медиаторов в измерительную ячейку (рис. 2). Стоит отметить, что амплитуда сигнала на ДХФИФ сравнима с амплитудой сигнала при введении глюкозы, а в случае другого медиатора – ГЦФ – даже превышает амплитуду сигнала на глюкозу. Это может свидетельствовать о том, что данные микроорганизмы способны перерабатывать также некоторые красители, что может быть использовано в дальнейшем для очистки сточных вод. Известно, что при использовании в аноде БТЭ редокс-медиаторы должны оставаться в активной форме как можно дольше. С другой стороны, редокс-медиаторы часто добавляют в катодное отделение БТЭ для замены кислорода в качестве более эффективного акцептора электронов. С этой целью изучали возможность применения данных микроорганизмов в катодном отделении МТЭ.

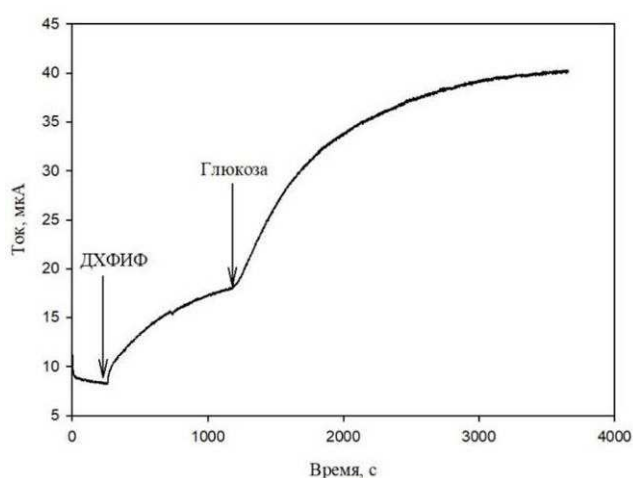


Рис. 2. Вид амперометрического сигнала электрода с иммобилизованными *R. electrodiphilus* при добавлении в ячейку 2,6-ДХФИФ и глюкозы при приложенном потенциале +200 мВ

Изучили уровень генерируемого потенциала при введении в МТЭ медиаторов и субстрата (рис. 3.). В зависимости от используемого медиатора и количества субстрата наблюдали генерацию потенциала от 20 до 300 мВ.

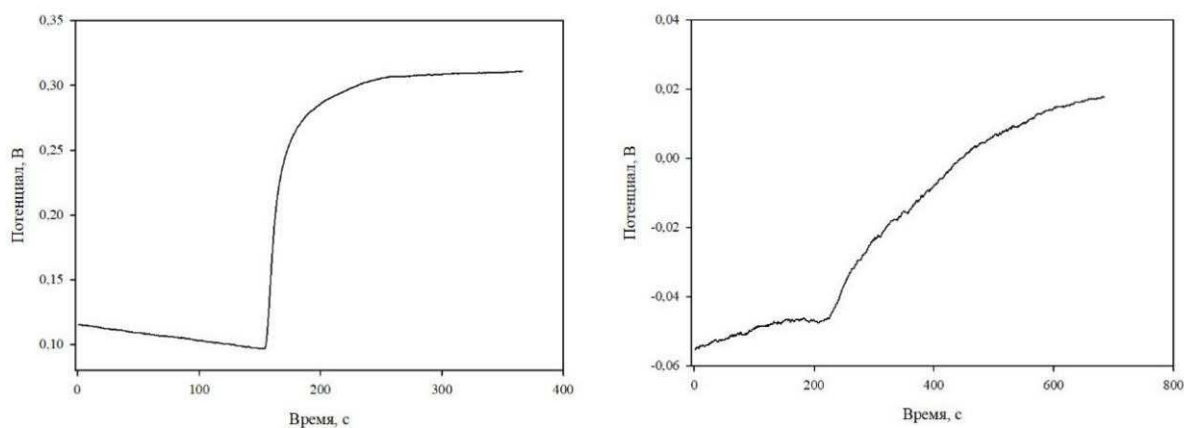


Рис. 3. Генерация потенциала микробным топливным элементом в присутствии медиаторов и субстратов

Был собран макет БТЭ, в котором бактерии *R. electrophilus* были иммобилизованы на катоде, а в анодном отделении в качестве биокатализатора были использованы иммобилизованные уксуснокислые бактерии *Glucobacteroxydans*, которые ранее зарекомендовали себя как эффективный биокатализатор при очистке бытовых сточных вод [9]. Оценили поляризационные и мощностные зависимости разработанного макета МТЭ (рис. 4). В течение двух недель эксплуатации МТЭ наблюдали увеличение мощности с 11 до 50 мкВт/см<sup>2</sup>; в дальнейшем происходило снижение мощности, и на 29-сутки МТЭ генерировал мощность (13 мкВт/см<sup>2</sup>), соответствующую 65% от первоначального уровня мощности БТЭ.

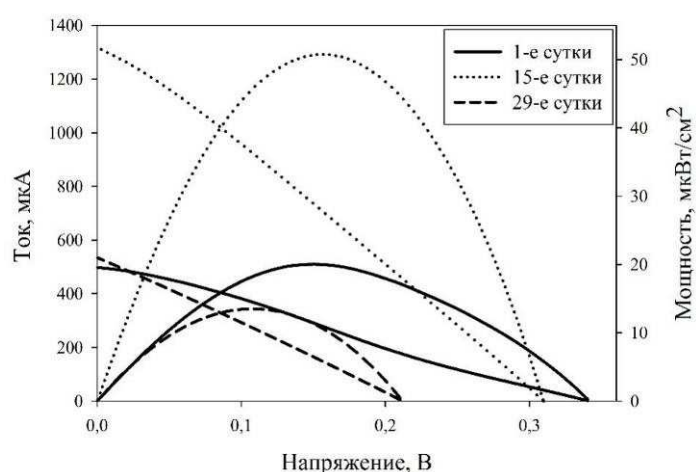


Рис. 4. Вид поляризационных и мощностных зависимостей МТЭ

При этом мощность макета БТЭ, в котором на катоде не были иммобилизованы бактерии *R. electrophilus* была ниже в среднем на ~15–20%. Кроме того, стоит отметить, что в присутствии биокатализатора раствор ГЦФ в катодном отделении обесцвечивался примерно после 6 часов работы, что свидетельствует об активном использовании этого соединения в метаболизме бактерий.

Таким образом, показана возможность использования различных родов бактерий в анодном и катодном отделениях МТЭ одновременно. Показано, что разработанный МТЭ на основе *R. electrophilus* может генерировать мощность до 50 мкВт/см<sup>2</sup>, сохраняя при этом свою активность в течение месяца.

#### Библиографический список

1. Cui Y., Lai B., Tang X. Microbial fuel cell-based biosensors. DOI: 10.3390/bios9030092 // Biosensors (Basel). 2019. Vol. 9. No. 3. Article No. 92.
2. Isolation and characterization of electrogenic bacteria from tannery wastewater / E. Islam, M. S. Hossain, P. K. Sarker, et al. // Bangladesh Journal of Microbiology. 2020. Vol. 37. P. 23–27.
3. A flavin-based extracellular electron transfer mechanism in diverse Gram-positive bacteria / S. H. Light, L. Su, R. Rivera-Lugo, et al. DOI: 10.1038/s41586-018-0498-z // Nature. 2018. Vol. 562. No. 7725. P. 140–144.



4. Extracellular electron transfer by the Gram-positive bacterium *Enterococcus faecalis* / G. Pankratova, D. Leech, L. Gorton, et al. DOI: 10.1021/acs.biochem.8b00600 // Biochemistry. 2018. Vol. 57. No. 30. P. 4597–4603.
5. Extracellular electron transfer powers *Enterococcus faecalis* biofilm metabolism / D. Keogh, L. N. Lam, L. E. Doyle, et al. DOI: 10.1128/mBio.00626-17 // mBio. 2018. Vol. 9. Article No. 2.e00626-17.
6. Biotechnology of *Rhodococcus* for the production of valuable compounds / M. Cappelletti, A. Presentato, E. Piacenza, et al. DOI: 10.1007/s00253-020-10861-z // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2020. Vol. 104. No. 20. P. 8567–8594.
7. Изучение электрогенности изолята *Rhodococcus electrodiphilus* с помощью электрохимического биосенсора / К. В. Ревякина, С. Е. Тарасов, Ю. В. Плеханова и др. // BIOAsia-Altai 2024 : материалы IV междунар. биотехнологического форума (г. Барнаул, 23–28 сентября 2024 г.). Барнаул, 2024. Т. 4. № 1. С. 181–184.
8. Влияние некоторых углеродных наноматериалов на окисление этилового спирта бактериальными клетками *Gluconobacter oxydans* / А. Н. Решетилов, Ю. В. Плеханова, С. Е. Тарасов и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2017. Т. 53. № 1. С. 115–122.
9. *Gluconobacter oxydans*-based MFC with PEDOT:PSS/Graphene/Nafion bioanode for wastewater treatment / S. Tarasov, Y. Plekhanova, V. Kashin, et al. DOI: 10.3390/bios12090699 // Biosensors. 2022. Vol. 12. No. 9. Article No. 699.

## **РЕНТГЕНОВСКАЯ ФОТОЭЛЕКТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ИНЕРТНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕДАХ – МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ И МЕТАСТАБИЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ**

**Н. В. Ломова, Ф. Ф. Чаусов, Н. Ю. Исупов, Е. Ю. Шелковников**  
ФГБУН «Удмуртский федеральный научный центр УрО РАН»,  
г. Ижевск, Россия, [chaus@udman.ru](mailto:chaus@udman.ru)

Предложен новый метод исследования чувствительных и метастабильных веществ – рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия в среде особо чистых инертных газов при давлении  $10^{-3}$ – $10^{-1}$  Па. Метод позволяет получить спектры РФЭС без использования техники сверхвысокого вакуума, избегая разрушительных воздействий на поверхность образца, что дает возможность исследования образцов, разрушающихся в условиях сверхвысокого вакуума (кристаллогидраты, биологические образцы).

Ключевые слова: рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, инертная газовая среда, кристаллогидраты, биологические среды.

Широко известный специалистам метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) [1] основан на измерении энергетического спектра фотоэлектронов, испускаемых исследуемым образцом под влиянием рентгеновского излучения. Основным условием получения репрезентативного спектра РФЭС до настоящего времени считалось проведение эксперимента в сверхвысоком вакууме [2], что существенно ограничивало область применения этого метода.

Необходимое для осуществления традиционного метода РФЭС [2] остаточное давление в рабочей камере прибора над поверхностью исследуемого образца составляет  $10^{-9}$ – $10^{-7}$  Па. На практике исследуемые образцы подвергаются тщательной очистке и обезжириванию, а затем, после откачки до остаточного давления  $10^{-6}$ – $10^{-4}$  Па, прогревают прибор и образец. Далее, обычно, проводят очистку поверхности образца пучком ускоренных ионов, и уже затем – откачку до остаточного давления  $10^{-8}$ – $10^{-7}$  Па. Такой метод технически сложен, трудоёмок, длителен и требует использования сложного оборудования для исследования. При столь глубоком (практически космическом) вакууме многие образцы, например, кристаллогидраты и биологические образцы, разрушаются. Это ограничивает применимость традиционного метода РФЭС.

Авторами предложен метод РФЭС, который обеспечивает получение достоверных и воспроизводимых электронных спектров поверхности образца в атмосфере инертных газов особой чистоты с давлением  $10^{-3}$ – $10^{-1}$  Па. Это соответствует условиям вакуума, достижимым при оперативной откачке, сравнимой с режимами работы электронного микроскопа, и не оказывает разрушительных воздействий на исследуемые образцы.

На рисунке 1 представлен рентгеновский фотоэлектронный спектрометр ЭМС-3 для исследования образцов в атмосфере особо чистых инертных газов.

На рисунке 2 представлен пример электронных спектров поверхности образца меди марки М00, полученных в вакууме и в атмосфере аргона особой чистоты марки «ОСЧ 6.0» (молярная доля примесей не более  $10^{-6}$ ). Математическую обработку результатов эксперимента, вычитание фона по Ширли [3] и деконволюцию полученных спектров проводили с использованием программы *Fityk 0.9.8* [4]

Анализ приведенных спектров показывает, что в атмосфере аргона особой чистоты при давлении  $10^{-2}$  Па наблюдается резкое снижение интенсивности пиков углерода  $C1s$ , кислорода  $O1s$  и уровня шумов в спектре (рис. 2, а, б, кривые 2 по сравнению с кривыми 1), что объясняется освобождением поверхности от адсорбированных слоев загрязнений. Наблюдаемые изменения спектра становятся еще более интенсивными после нагрева образца до 75–95°C в условиях непрерывной продувки прибора аргоном особой чистоты (рис. 2, а, б, кривые 3).

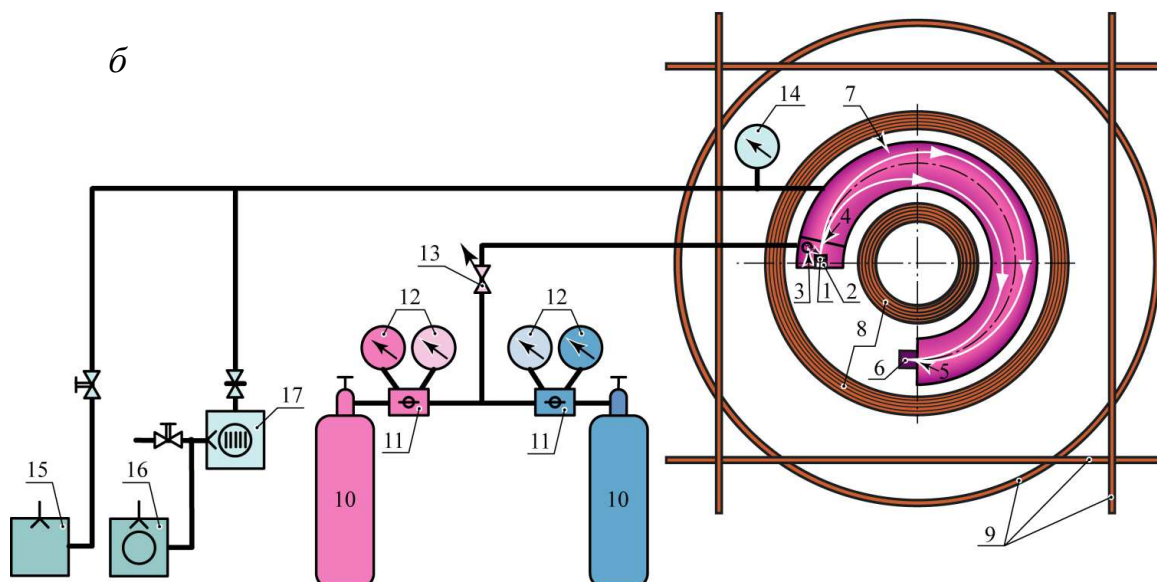


Рис. 1. Общий вид (а) и принципиальная схема (б) спектрометра ЭМС-3 с аппаратурой для регистрации спектров РФЭС в атмосфере инертных газов:  
 1 – образец; 2 – держатель образца с приспособлением для его нагрева;  
 3 – рентгеновская трубка; 4 – входная щель энергоанализатора; 5 – выходная щель энергоанализатора; 6 – детектор электронов; 7 – вакуумная рабочая камера; 8 – катушки энергоанализатора; 9 – катушки компенсации магнитных полей; 10 – баллоны с инертными газами особой чистоты; 11 – редукторы;  
 12 – манометры; 13 – регулируемый натекатель; 14 – вакуумметр;  
 15 – мембранный форвакуумный насос; 16 – роторный форвакуумный насос;  
 17 – турбомолекулярный насос

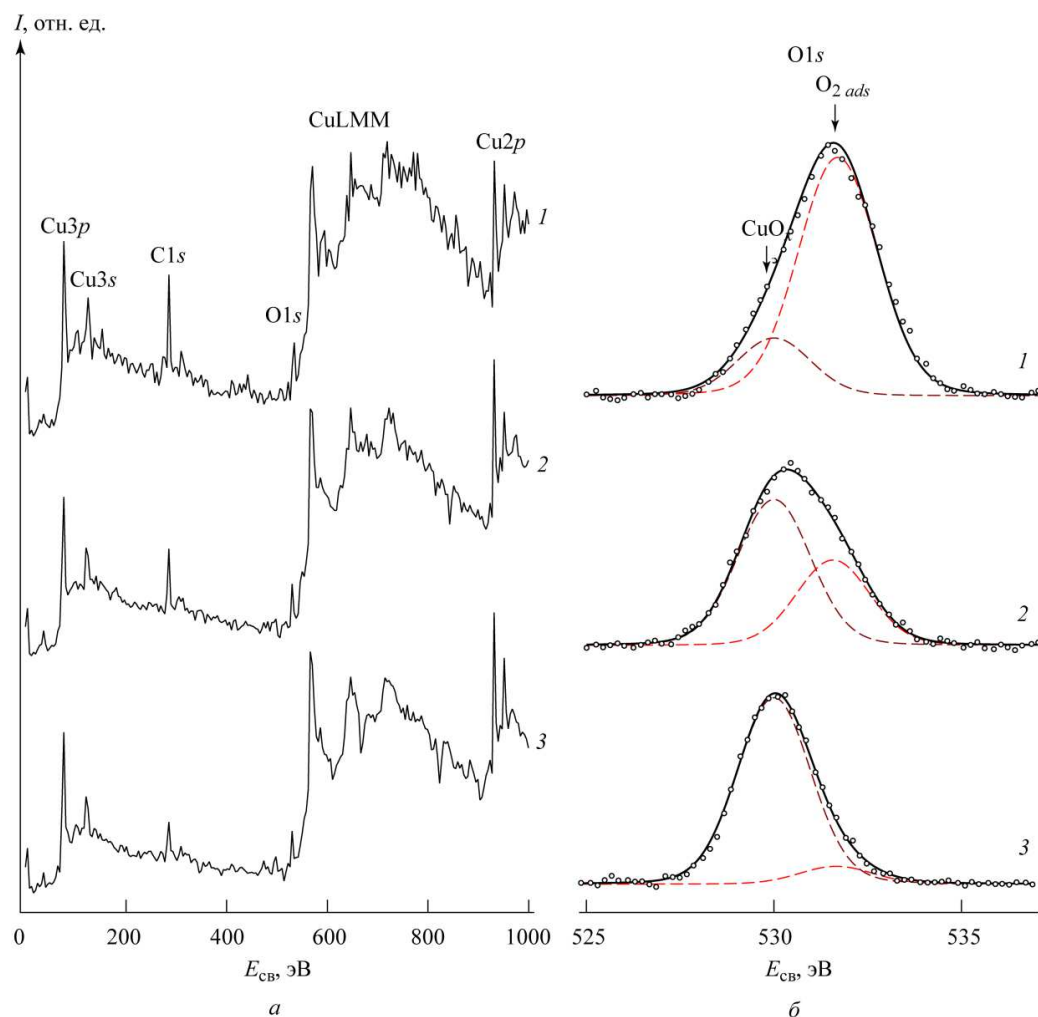


Рис. 2. Спектры РФЭС поверхности меди М00 в интервале энергии связи фотоэлектронов 0–1000 эВ (а) и в области фотоэлектронов кислорода О1s (б), полученные в вакууме при  $10^{-3}$  Па (1), после продувки особо чистым аргоном в течение 15 мин при давлении  $10^{-2}$  Па (2) и в атмосфере особо чистого аргона при  $10^{-2}$  Па и нагреве образца до 75–95 °С (3)

Таким образом, предложенный вариант метода и спектрометр ЭМС-3 для проведения РФЭС в атмосфере инертных газов особой чистоты позволяют получать репрезентативные спектры поверхности образцов, свободной от адсорбированных частиц, загрязнений и примесей, без использования техники сверхвысокого вакуума и без разрушительных воздействий на поверхность образца. Преимущества метода – экспрессность вакуумирования прибора и возможность исследования состава и структуры образцов, разрушающихся в условиях сверхвысокого вакуума (кристаллогидраты, органические соединения). В настоящее время ведется работа по развитию предложенного метода для исследования образцов различной природы, а также расширения технического арсенала отечественного оборудования для проведения РФЭС в контролируемой газовой среде.

*При выполнении работы использовано оборудование центра коллективного пользования «Центр физических и физико-химических методов анализа, исследования свойств и характеристик поверхности, наноструктур,*

*материалов и изделий» Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН.*

#### **Библиографический список**

1. Электронная спектроскопия / К. Зигбан, К. Нордлинг, А. Фальман и др. М. : Мир, 1971. 493 с.
2. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / под. ред. Д. Бриггса, М. П. Сиха. М. : Мир, 1987. 600 с.
3. Shirley D. A. High-resolution X-ray photoemission spectrum of the valence bands of gold. DOI: 10.1103/PhysRevB.5.4709 // Phys. Rev. 1972. Vol. 5. P. 4709–4714.
4. Wojdyr M. Fityk: a general-purpose peak fitting program. DOI: 10.1107/S0021889810030499 // J. Appl. Cryst. 2010. Vol. 43. P. 1126–1128.

### **ТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ФОСФОРИТОВ РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ И ОЦЕНКА АГРОХИМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧАЕМЫХ ТЕРМОФОСФАТОВ**

***Р. Х. Хузиахметов, Е. А. Сучков, А. Д. Печенкин***

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань, Россия, gafiat2013@mail.ru*

Представлены результаты исследований по получению термофосфатов на основе фосфоритов, не пригодных для кислотной переработки, с использованием отходов некоторых производств. В вегетационных опытах показано, что на малообеспеченной элементами питания почве использование термофосфатов (на фоне НК-удобрений) дает значительную прибавку урожая зерна.

Ключевые слова: фосфорит, щелочные соли, спекание шихты, термофосфат, калийный термофосфат, агрохимическая эффективность.

В качестве основных фосфорных удобрений используются преимущественно простой и двойной суперфосфаты ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = 1,8 \text{ г /100 г воды}$ ). Малорастворимая фосфоритная мука ( $\text{PP}_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2} = 2 \cdot 10^{-29}$ ) используется в незначительных объемах из-за ее низкой эффективности [1].

Основным сырьем для производства фосфорных и комплексных удобрений является высококачественный апатит с содержанием  $\text{P}_2\text{O}_5$  общ.  $\sim 40\%$  (балансовые запасы руды основных недропользователей – АО «Апатит» и АО «СЗФК» – весьма значительные: 17836 и 371 млн т, соответственно) [2].

Разработка технологий переработки менее качественных (по содержанию  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) отечественных фосфоритов с получением дешевых и экологически безопасных фосфорных удобрений актуальна, в первую очередь, для регионов, имеющих на своей территории значительные запасы фосфоритов (в т. ч. Вятско-Камских).

В научной литературе приводится описание различных способов обогащения низкокачественных фосфоритов, содержащих значительное количество примесей «полуторных оксидов»  $[(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{P}_2\text{O}_5 > 0,12 \text{ масс.}]$ , и переработки полученного концентрата на фосфорные и комплексные удобрения [3–6]. При этом отмечается, что «хвосты» обогащения целесообразно использовать в качестве медленно действующей фосфоритной муки (указывается также возможность получения на их основе органоминеральных удобрений, рассадных смесей и т. д.) [5].

Наиболее простым способом переработки фосфоритов с высоким содержанием полуторных оксидов ( $\text{R}_2\text{O}_3$ ) является механоактивация. В работе [3] показано, что при механоактивации Вятско-Камского фосфорита ( $\text{P}_2\text{O}_5_{\text{общ.}} \sim 22\%$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  лимоннорастворимый (ЛР)  $\sim 7\%$ ) в шаровой мельнице в зависимости от условий активации (частота вращения, продолжительность, шаровая нагрузка и т. д.) можно увеличить содержание усвояемого фосфора до 11–13% ( $K_{\text{УСВ}} = \text{P}_2\text{O}_5_{\text{ЛР}} / \text{P}_2\text{O}_5_{\text{общ.}} \cdot 100 \approx 50\text{--}60\%$ ). Однако в настоящее время способы механо- и механохимической активации не нашли промышленного внедрения из-за значительных затрат электроэнергии и быстрого износа измельчителей.

Одним из перспективных способов переработки фосфоритов с высоким содержанием  $\text{R}_2\text{O}_3$ , несмотря на значительные энергетические расходы, является термический способ [4, 5]. Так, например, на основе Вятско-Камского фосфорита (ФВК) при оптимальных условиях обжига шихты «ФВК:  $\text{K}_2\text{CO}_3$ » = 1:0,35 мас. (1000 °С, 30 мин) содержание элементов питания достигает 37% ( $\text{P}_2\text{O}_5_{\text{ЛР}} : \text{K}_2\text{O} \approx 17:20\%$ ) [4]. Аналогичные данные получены и при переработке высококачественного сирийского фосфорита месторождения «Кнейфис» ( $\text{P}_2\text{O}_5_{\text{общ.}} \sim 30\%$ ; « $\text{R}_2\text{O}_3 : \text{P}_2\text{O}_5$ » = 0,03) – содержание  $\text{P}_2\text{O}_5_{\text{ЛР}}$  в термофосфате  $\sim 24\%$ ; в калийном термофосфате –  $\text{P}_2\text{O}_5_{\text{ЛР}} : \text{K}_2\text{O} \approx 22:25\%$  [5].

На основе анализа литературных данных можно сделать вывод, что термическая переработка при высоких температурах ( $\sim 900\text{--}1000$  °С) с использованием дефицитных щелочных солей ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) экономически целесообразна лишь при использовании высококачественных фосфоритов. Одновременно следует подчеркнуть, что данные об агрохимической эффективности полученных термофосфатов (нейтрализующий эффект кислых почв, влияние на урожай зерновых и т. д.) в литературе практически отсутствуют.

Целью данной работы являлось определение оптимальных параметров получения фосфорных и комплексных удобрений термическим способом из фосфоритов различных месторождений с заменой дефицитных щелочных солей на различные отходы некоторых производств и оценка агрохимической эффективности полученных термофосфатов.

В качестве фосфатного сырья были выбраны фосфоритная руда Вожинского месторождения Татарстана (ФВ) и обогащенное фосфатное сырье различных месторождений (табл. 1).

Таблица 1

**Состав фосфоритов различных месторождений**

| Фосфорит<br>(месторождение)          | Содержание, %                                               |       |                |                         |                         | $\frac{(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)}{\text{P}_2\text{O}_5}$ | $K_{\text{усв.}}, \%$ * |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|                                      | $\text{P}_2\text{O}_5$ общ.<br>( $\text{P}_2\text{O}_5$ ЛР) | CaO   | $\text{SiO}_2$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ |                                                                                |                         |
| Вожинский (руда)                     | 13 (2)                                                      | 29,4  | 26             | 6,1                     | 3,2                     | 0,71                                                                           | 15                      |
| Вятско-Камский<br>(мытый концентрат) | 21,4 (4,4)                                                  | 36,61 | 17,6           | 5,2                     | 2,3                     | 0,35                                                                           | 20                      |
| Кингисеппский                        | 28 (4,9)                                                    | 44    | 12             | 0,7                     | 0,7                     | 0,05                                                                           | 18                      |
| Каратау (Казахстан)                  | 24 (3,3)                                                    | 39    | 19             | 1,9                     | 1,8                     | 0,12                                                                           | 14                      |

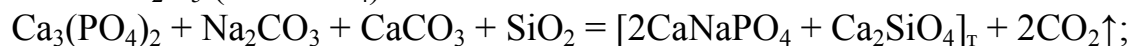
Примечание: \*  $K_{\text{усв.}}$  – коэффициент усвояемости.

Как видно из таблицы 1, Вожинский и Вятско-Камский фосфорит не пригодны для кислотной переработки (т. к.  $\text{P}_2\text{O}_5 < 24\%$ ;  $\text{R}_2\text{O}_3:\text{P}_2\text{O}_5 > 0,12$  мас.).

Обогащение Вожинской фосфоритовой руды (путем измельчения и рассева) нецелесообразно из-за малого выхода крупной фракции (0,31–0,63 мм) с максимальным содержанием  $\text{P}_2\text{O}_5 \sim 18\%$  [в хвостах обогащения ( $d < 0,14$  мм) содержание  $\text{P}_2\text{O}_5 \sim 8\%$ , в средней фракции –  $\text{P}_2\text{O}_5 \sim 13\%$ ]. При попытке обогащения мытого Вятско-Камского концентрата ( $d < 0,31$  мм) содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  в различных фракциях менялось незначительно (в мелкой фракции  $d < 0,1$  мм  $\text{P}_2\text{O}_5 \sim 20\%$ , в крупной фракции  $d = 0,2–0,31$  мм –  $\text{P}_2\text{O}_5 \sim 22,7\%$ ).

При механоактивации указанных фосфоритов измельчением в шаровой мельнице (10–20 часов) было установлено, что коэффициент усвояемости Вожинской фосфоритовой руды увеличился от 17% до 37%, в случае ФВК увеличение  $K_{\text{усв.}}$  было незначительным (от 21 до 27%).

В случае термической переработки фосфоритов с использованием кальцинированной соды в зависимости от соотношения «фосфорит :  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ » и условий обжига образуются различные малорастворимые кальциево-натриевые фосфаты с условной формулой  $n\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{CaO} \cdot x\text{P}_2\text{O}_5$  ( $2\text{Na}_2\text{O} \cdot 10\text{CaO} \cdot 3\text{P}_2\text{O}_5$ ;  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ;  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$  и т. д.) [1]. Примеси фосфатного сырья ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) также участвуют в реакции и основным соединением в продуктах спекания является преимущественно  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$  ( $\text{CaNaPO}_4$ ):



В опубликованных нами ранее работах [5–6] было показано, что при спекании указанных выше фосфоритов с  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в оптимальном режиме (900–1000 °С, 20–30 мин) практически весь фосфор переходит в усвояемую лимоннорастворимую форму. Замена  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  на  $\text{K}_2\text{CO}_3$  позволяет получить при этом комплексное РК-удобрение по аналогичной реакции:



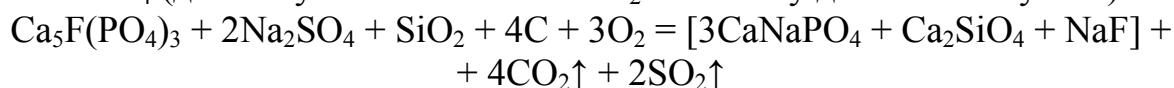
Несмотря на то, что при переработке Вятско-Камского фосфоритового концентрата можно получить щелочное комплексное РК-удобрение (сумма  $\text{P}_2\text{O}_5$  ЛР +  $\text{K}_2\text{O} \approx 37\%$ ), промышленное освоение технологии маловероятно



(из-за дефицита  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ). Следовательно, необходим поиск дешевых заменителей указанных солей (в первую очередь – отходов различных производств).

С учетом вышесказанного, нами предложено использовать в качестве таких заменителей щелочьсодержащие отходы некоторых производств нефтехимического синтеза ( $\text{NaOH}$  ~7–10%, горючие органические соединения ~10%,  $\text{H}_2\text{O}$  ~ 70–80%, остальное – твердые неорганические примеси) и сульфатно-содовую смесь (ССС), представляющую собой отход производства глинозема ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ~ 21%,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ~ 76%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ~ 2%) [6]. Утилизация горючих щелочьсодержащих органических отходов производится путем их сжигания, и конечным продуктом утилизации шлама (ПУШ) является  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (а также небольшое количество примесей различных силикатов).

При спекании фосфорита с сульфатно-содовой смесью также образуется  $\text{CaNaPO}_4$  (для получения активного  $\text{Na}_2\text{O}$  в шихту добавляется уголь):



Условия обжига и состав термофосфатов, полученных с использованием выбранных отходов, представлены в таблице 2, из которой видно, что при этом можно получить фосфорное удобрение с содержанием усвояемого фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$  лр), практически равного содержанию общего  $\text{P}_2\text{O}_5$  в исходном фосфорите.

Таблица 2

**Условия получения и состав термофосфатов, полученных на основе различных фосфоритов с использованием отходов производств**

| Месторождение<br>фосфоритов                                  | Отход производства              |                                                | Условия<br>обжига |            | Состав.<br>термофосфата, %         |                                  | K <sub>усв.</sub> , % |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------|-------------------|------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
|                                                              | вид                             | фосфорит : отход : уголь<br>(уголь d < 0,3 мм) | T,<br>°C          | время, мин | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ. | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> лр |                       |
| Шихта «Фосфорит + ПУШ»                                       |                                 |                                                |                   |            |                                    |                                  |                       |
| Вятско-Камское                                               | ПУШ                             | 1:0,33                                         | 1000              | 20         | 19,2                               | 19,2                             | 100                   |
| Каратауское                                                  | ПУШ                             | 1:0,35                                         | 1000              | 15         | 21,5                               | 20                               | 93                    |
| Кингисеппское                                                | ПУШ                             | 1:0,4                                          | 1000              | 15         | 23,7                               | 22,9                             | 95                    |
| Шихта «Фосфорит + СССР + уголь»                              |                                 |                                                |                   |            |                                    |                                  |                       |
| Вожинское<br>(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ. = 13%)      | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 1:0,6:0,28                                     | 1000              | 30         | 12,1                               | 12,1                             | 100                   |
| Вятско-Камское<br>(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ. = 21%) | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 1:0,7:0,23                                     | 1000              | 30         | 17,5                               | 16,3                             | 93                    |
|                                                              | ССС                             | 1:0,5:0,16                                     | 1000              | 20         | 18,4                               | 17                               | 94                    |

Вегетационные опыты по оценке потенциальной агрохимической эффективности полученных термофосфатов проводили в тепличных условиях с использованием серой лесной почвы Предкамской зоны Республики Татарстан (опытные поля учебного хозяйства Казанского государственного аграрного университета) (табл. 3).



Таблица 3

**Агрохимическая эффективность термофосфатов на различных типах почв (N – 150 мг/кг почвы; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O – 100 мг/кг почвы)**

| Вариант<br>(удобрение)                                                               | Урожай ячменя<br>(сорт «Рахат») на серой лесной почве<br>(N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O = 0,6:1:0,4) |                  |                 | Вариант<br>(удобрение)                                                    | Урожай пшеницы<br>(сорт «Экада 66») на дерново-подзолистой супесчаной почве<br>(N : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O = 0,6 : 1 : 0,6) |                  |                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|
|                                                                                      | зерно,<br>г (%)                                                                                                          | солома,<br>г (%) | сумма,<br>г (%) |                                                                           | зерно,<br>г (%)                                                                                                                                       | солома,<br>г (%) | сумма,<br>г (%) |
| Контроль<br>(без удобрений)                                                          | 14,3<br>(–58%)                                                                                                           | 11,3<br>(–70%)   | 25,7<br>(–64%)  | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>(Фон) | 9,3<br>(±0%)                                                                                                                                          | 16<br>(±0%)      | 25,3<br>(±0%)   |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KCl<br>(Фон)                                       | 33,9<br>(±0%)                                                                                                            | 38<br>(±0%)      | 71,9<br>(±0%)   | Фон + ТФ(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )                                | 12<br>(+33%)                                                                                                                                          | 18,2<br>(+14%)   | 30,6<br>(+21%)  |
| Фон + ФВ<br>(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ЛР ~ 2%)                                  | 33,6<br>(–1%)                                                                                                            | 40,5<br>(+7%)    | 74,1<br>(+3%)   | Фон + ТФ(ПУШ)                                                             | 10,7<br>(+15%)                                                                                                                                        | 18,8<br>(+18%)   | 29,5<br>(+17%)  |
| Фон + ФВК<br>(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ЛР ~ 4%)                                 | 33,9<br>(+0%)                                                                                                            | 40,4<br>(+6%)    | 74,4<br>(+3%)   | Фон + ТФ(Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )                                | 12,3<br>(+32%)                                                                                                                                        | 17,8<br>(+12%)   | 30,1<br>(+19%)  |
| Фон+ТФ(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )<br>(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ЛР ~ 20%) | 31,9<br>(–6%)                                                                                                            | 37,6<br>(–1%)    | 69,6<br>(–3%)   | Фон + ТФ(ССС)                                                             | 11,4<br>(+23%)                                                                                                                                        | 19,7<br>(+24%)   | 31,1<br>(+23%)  |
|                                                                                      |                                                                                                                          |                  |                 | Фон + Аммофос<br>(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :N = 50:10%)              | 8,8<br>(–6%)                                                                                                                                          | 16,4<br>(+3%)    | 25,1<br>(–1%)   |

В выбранной почве содержание фосфора относительно азота и калия значительно больше – N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 92:155:62 мг/кг или 0,6:1:0,4). Следовательно, внесение азота в данную почву приводит к смещению указанного соотношения в оптимальную область – N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 242:155:62 мг/кг или 1,6:1:0,4), а положительного эффекта от фосфорных удобрений (без N и K<sub>2</sub>O) ожидать не следует, т. к. при внесении 1 дозы P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> соотношение N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 92:255:62 мг/кг или 0,36:1:0,24) становится абсолютно неприемлемым.

Как и следовало ожидать, при внесении 1 дозы азота и калия масса зерна значительно возрастает (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 242:155:162 мг/кг или 1,6:1:1), а дополнительное внесение фосфора на этом фоне не имеет какого-либо значения.

С учетом вышесказанного, следующая серия опытов была проведена на малообеспеченной фосфором дерново-подзолистой супесчаной почве (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 59:107:62 мг/кг или 0,6:1:0,6). Несмотря на то, что указанная почва не является характерной для Республики Татарстан, основной задачей была оценка потенциальной агрохимической эффективности термофосфатов при условии создания оптимального соотношения главных элементов питания.

Как видно из таблицы 3, на фоне внесения азота и калия (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 209:107:162 мг/кг или 2:1:1,6), дополнительное внесение 1 дозы фосфора приводит к увеличению массы зерна благодаря оптимизации соотношения N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 209:207:162 мг/кг или 1:1:0,8). При этом внесение аммофоса (для сравнения) приводит даже к отрицательному результату, т. к. соотноше-

ние главных элементов питания становится неприемлемым для данной культуры.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- для переработки термическим способом пригодны даже низкокачественные фосфориты: необогащенная руда, хвосты обогащения и т. д.;
- промышленное внедрение предлагаемой технологии целесообразно лишь при возможной замене используемых дефицитных щелочных солей ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) на различные щелочьсодержащие отходы, т. к. при этом одновременно решается проблема утилизации и хранения отходов;
- в вегетационных опытах показано, что несмотря на значительное содержание различных примесей в полученных термофосфатах, на некоторых типах почв они способствуют значительному увеличению урожайности пшеницы (при условии создания оптимального баланса главных элементов питания).

#### **Библиографический список**

1. Технология фосфорных и комплексных удобрений / М. В. Андреев, А. А. Бродский, Ю. А. Забелешинский и др. М. : Химия, 1987. 464 с.
2. Овсеенко О. Я., Шевчук В. А. Фосфорные удобрения для высоких урожаев // Наука и инновации. 2011. № 6. С. 15–17.
3. Изучение бескислотного метода переработки фосфорита Вятско-Камского месторождения в комплексные удобрения / А. Ф. Минаковский, В. И. Шатило, О. И. Ларионова и др. // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 8. С. 43–49.
4. Шапкин М. А., Зияна К., Дмитриевский Б. А. Синтез термофосфатов из сирийских фосфоритов и карбонатов щелочных металлов // Известия С.-Петербургского государственного технологического института. 2009. № 5. С. 161–163.
5. Комплексная переработка природных фосфоритов с использованием щелочных отходов нефтехимического синтеза и газовой серы / Р. Х. Хузиахметов, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва. DOI:10.25750/1995-4301-2022-1-102-108 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 102–108.
6. Пат. 2604009. РФ, МПК C05B 13/02 (2006.01). Способ получения термофосфата : № 2015142360 : заявл. 05.10.2015 : опубл. 10.11.2016 / Шарипов Т. В., Хузиахметов Р. Х. 7 с.

### **ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ ЦИНКОМ И МЕДЬЮ, НА ЕЕ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

*А. М. Шеромов, А. С. Олькова, А. С. Корякина  
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,  
stud208013@vyatsu.ru*

В статье представлены результаты биотестирования почв, содержащих медь и цинк в различных концентрациях. В почвах регулировали уровень рН добавкой доломита. Выявлена зависимость токсичности почвы от уровня ее рН. Обсуждены возможные причины полученных закономерностей.

Ключевые слова: биотестирование, почва, препарат «Эколюм», кислотность, токсичность.

Загрязнение почв является одной из наиболее серьезных экологических проблем современности, поскольку оно оказывает негативное влияние на состояние экосистем и здоровье человека. Среди многочисленных неорганических загрязнителей наиболее опасны тяжелые металлы (ТМ). Они хорошо адсорбируются структурными элементами почвы, формируют динамическое равновесие между нелабильными и лабильными (биодоступными) формами, влияют на почвенные организмы, растительный покров, животных и человека [1].

Токсическое воздействие тяжелых металлов на биоту почв проявляется по-разному: одни металлы ингибируют ферментативную деятельность, другие – образуют хелатные комплексы с органическими соединениями, что вызывает нарушение обмена веществ [2]. Эссенциальные элементы до порога токсического действия приводят к стимуляции жизненных функций организмов.

Действие металлов напрямую связано с их биодоступностью для организмов. Известно, что биодоступность зависит не только от концентрации металла, но также от ряда других факторов (кислотность, температура, комбинированный эффект с другими металлами и др.) [3]. На этом строятся современные подходы к ремедиации почв. Так, например, при внесении добавок в виде торфа, компоста или доломита, отмечают повышение интенсивности фитоэкстракции надземными частями растений подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus* L.) и фестулолиума (*Festulolium*) [4].

Одним из приоритетных подходов к оценке экологического статуса почвы, ее безопасности является биотестирование. Группа методов позволяет выявить комплексное (интегральное) воздействие веществ, содержащихся в водной вытяжке из почвы, на выбранный тест-организм [5].

Целью нашей работы было установление влияния уровня pH на результаты биотестирования почв, загрязненных медью и цинком, в модельном эксперименте с использованием бактериальной тест-системы «Эколюм».

В качестве почвы для исследования выбрали характерную для Кировской области подзолистую почву [6]. Отбор производили из корнеобитаемого горизонта методом конверта. Пробу высушивали, освобождали от включений, просеивали через сито с размером ячейки 2 мм.

Загрязнение моделировали путем внесения в контейнеры с почвой растворов  $\text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnCl}_2$  до достижения в почве концентраций металлов 1, 5 и 25 ОДК [7]. Параллельно моделировали аналогичное загрязнение с раскислением почвы с помощью твердого доломита. На протяжении 30-дневного культивирования влажность почвы поддерживали на уровне 60% весовым методом. По истечении 30 дней модельные среды высушивали, просеивали, определяли pH в водных и солевых вытяжках [8] и индексы токсичности [9]. Принцип определения индексов токсичности основан на изменении интенсивности биолюминесценции рекомбинантного штамма *Escherichia coli* при

воздействии химических веществ в пробе относительно контрольного образца. Контролем служили почвы без внесения солей ТМ.

По результатам измерений pH, уровень кислотности для контролей с доломитом и без него составил 6,30 и 4,62 ед. pH соответственно. Растворы солей ТМ не вносили значительный вклад в изменение кислотности естественной почвы (без доломита), однако смещали pH в сторону кислой реакции при его внесении до интервалов значений 6,26–5,62 ед. pH для меди и 6,12–5,68 ед. pH для цинка.

Результаты эксперимента представлены на рисунке.



Рис. Результаты эксперимента по определению индекса токсичности для меди (А) и цинка (Б)

Отметим, что отрицательные индексы токсичности (Т) говорят о стимуляции тест-функции организма, в данном случае – биолюминесценции. В соответствии с используемой методикой отрицательные индексы токсичности свидетельствуют о безвредности пробы. Чем выше положительные значения индекса Т, тем выше токсичность образца.

Контрольная почва как без коррекции уровня pH, так и после внесения доломита, согласно полученным индексам Т является не токсичной. Однако, показано, что стимуляция биолюминесценции бактериального препарата выше в контрольном образце почвы с внесением доломита.

В загрязненных почвах без коррекции уровня pH наблюдали тенденцию к повышению токсичности при возрастании концентрации металла. В варианте опыта с добавкой соли меди индекс токсичности принимал положительные, причем достаточно высокие значения, начиная с 5 ОДК, для цинка – 1 ОДК. Добавка доломита в общем случае приводила к снижению индекса токсичности относительно вариантов без добавки, часто с абсолютным снятием фактора токсичности, что видно по отрицательным индексам Т. Исключением являлся образец почвы с концентрацией цинка, равной 25 ОДК. При таком уровне загрязнения как кислая почва, так и раскисленная доломитом оказалась сильно токсичной ( $T > 50$  у.е.).

Наблюдаемый эффект снижения токсичности почвы при повышении ее pH, вероятно, связан с изменением подвижности металлов и смещением динамического равновесия их форм в почвенном растворе. Ионы меди и цинка обладают наибольшей подвижностью в кислых средах, что влияет на их доступность для живых систем [10, 11]. Избыток данных металлов вызывает токсический эффект при превышении определенного порога в клетках организмов [12]. Добавка доломита, приводя к смещению реакции среды в сторону нейтральной, вызывала уменьшение подвижности ТМ, и, как следствие, снижала их биодоступность для бактерий. Отсутствие эффекта при концентрации цинка, соответствующей 25 ОДК, возможно, связано с недостаточным смещением pH в сторону нейтральных значений или высокой подвижностью ионов цинка по сравнению с медью.

Подобные эффекты рассматривались в работах, изучающих влияние уровня pH на токсичность металлов в водных средах. Так, отмечалось повышение токсического воздействия меди на икру карпа *Cyprinus carpio* в условиях кислых значений pH [13]. Похожую тенденцию наблюдали для пресноводных водорослей *Chlorella* sp. при воздействии цинка [14].

Исследование имеет значение для дальнейшего выбора тест-организмов, чувствительных к загрязнению, но толерантных к колебаниям уровня pH.

#### Библиографический список

1. Медведев И. Ф., Деревягин С. С. Тяжелые металлы в экосистемах : монография. Саратов : Ракурс, 2017. 178 с.
2. Чомаева М. Н. Биологическая роль и токсикологическое влияние тяжелых металлов // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2017. № 19. С. 13–16.
3. Моисеенко Т. И. Биодоступность и экотоксичность металлов в водных системах: критические уровни загрязнения // Геохимия. 2019. № 7. С. 675–688.
4. Колбас А. П., Четрбок Е. А., Колбас Н. А. Особенности накопления тяжелых металлов растениями при использовании различных почвенных добавок // Пути повышения эффективности удобрений, качества растениеводческой продукции и плодородия почвы : сб. статей по материалам междунар. науч.-практ. конф. Горки, 2022. С. 108–112.
5. Терехова В. А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. № 2. С. 190–198.
6. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2023 году: региональный доклад / Под общ. ред. Т.Э. Абашева [Электронный ресурс] – URL: <https://www.kirovreg.ru/econom/ecology/Регдоклад%202023.pdf> (дата обращения: 16.02.2025).
7. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс] – URL: [https://stavsad76.gosuslugi.ru/netcat\\_files/19/8/SANPIN\\_1.2.3685\\_21.pdf](https://stavsad76.gosuslugi.ru/netcat_files/19/8/SANPIN_1.2.3685_21.pdf) (дата обращения: 16.02.2025).
8. ГОСТ 26483-85. Определение pH солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами ЦИНАО. М. : Изд-во стандартов, 1985. 6 с.
9. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04. Токсикологические методы контроля. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, пить-

евых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолуминесценции тест-системой «ЭКОЛЮМ». М. : Иммунотех, 2010. 22 с.

10. Глебова И. В., Гридасов Д. С., Тутова О. А. Анализ экологического мониторинга территорий Курской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 1. С. 74–78.

11. Иванищев В. В. Доступность железа в почве и его влияние на рост и развитие растений // Известия Тульского государственного университета. 2019. № 3. С. 127–138.

12. Демидчик В. В., Соколик А. И., Юрин В. М. Поступление меди в растения и распределение в клетках, тканях и органах // Успехи современной биологии. 2001. Т. 121. № 2. С. 190–197.

13. Effects of water pH on copper toxicity to early life stages of the common carp (*Cyprinus carpio*) / X. J. H. X. Stouthart, J. L. M. Haans, R. A. C. Lock, S. E. Wendelaar Bonga. DOI: 10.1002/etc.5620150323 // Environm. Toxicol. Chem. 1996. Vol. 15. No. 3. P. 376–383.

14. The effect of pH on the uptake and toxicity of copper and zinc in a tropical freshwater alga (*Chlorella* sp.) / K. L. Wilde, J. L. Stauber, S. J. Markich et al. DOI: 10.1007/s00244-004-0256-0 // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2006. Vol. 51. P. 174–185.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ АЛИЗАРИНОВОГО ЖЕЛТОГО GG В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ**

***В. А. Липатников, Е. С. Соловьёва, П. Д. Бякова***  
*Вятский государственный университет,  
г. Киров, Россия, Stereogorgon74@yandex.ru*

В статье описан опыт получения красителя ализаринового желтого. Определены его pH и пик оптической плотности. Приготовлены цинковые мази: без добавления красителя, с 1% раствором красителя и с 10% раствором красителя. Изучено влияние красителя на высвобождение  $Zn^{2+}$  из цинковых мазей. Выявлена зависимость высвобождения  $Zn^{2+}$  от добавления красителя ализаринового желтого GG в медицинский препарат.

Ключевые слова: синтетические красители, азокрасители, ализариновый желтый GG, диализ по Л. Кривчинскому, цинковая мазь, высвобождение  $Zn^{2+}$ .

Пищевые красители – это вещества, которые определяют внешний вид продуктов. Они могут быть как синтетическими, так и природными. Синтетические пищевые красители получают путем химического синтеза, они не встречаются в природе. Синтетические пищевые красители дают яркие, легко воспроизводимые цвета и менее чувствительны к различным воздействиям, которым подвергается продукт в процессе производства [1]. В медицине красители применяются в лекарственных препаратах с различными механизмами действия. Также они используются в качестве вспомогательных веществ при производстве лекарств [2].

Азокрасители широко используются в медицине в качестве вспомогательных веществ для окрашивания фармацевтических препаратов. Это позволяет избежать ошибок при применении лекарств с похожим фармакотерапевтическим действием, замаскировать неприятный цвет некоторых препаратов и защитить светочувствительные активные ингредиенты от разрушения под воздействием света, что способствует увеличению срока годности лекарств [4]. Азокрасители также используются в медицине в качестве антибактериальных, противомаларийных, противогрибковых, антиоксидантных и противовирусных средств, например, в химиотерапии рака [5].

Целью работы является получение красителя ализаринового желтого и изучение его влияния на высвобождение  $Zn^{2+}$  из цинковых мазей.

Ализариновый желтый GG (натриевая соль 3'-нитро-4-оксиазобензол-3-карбоновой кислоты, брутто формула –  $C_{13}H_8O_5N_3Na$ ) – желтые кристаллы, растворяются в горячей воде и в этиловом спирте. Используется в виде 0,1% водного раствора в кислотно-основном титровании для определения значения pH и как азокраситель в промышленности [6].

Ализариновый желтый GG был получен в ходе синтеза с помощью реакции азосочетания, в которой принимали участие *m*-нитроанилин и салицилат натрия при температуре не выше 5 °С.

Для подтверждения полученного вещества проводили измерение pH и пика оптической плотности водного раствора методами pH-метрии и спектроскопии соответственно, а затем сравнили с литературными данными из открытых источников. pH-метрия проводилась на иономере И-160МИ, спектроскопия – на приборе СФ-103. Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты подтверждения полученного вещества**

| Показатель               | Химреактив | Big Chemical Encyclopedia | Эксперимент |
|--------------------------|------------|---------------------------|-------------|
| pH                       | 10,20      | 10,00                     | 10,16       |
| Пик оптической плотности | 350 нм     | 362 нм                    | 350 нм      |

Опираясь на литературные данные из открытых источников, можно сделать предположение, что синтезированное вещество является ализариновым желтым GG.

В качестве медицинского препарата была выбрана цинковая мазь, основное действующее вещество которой – оксид цинка, а основа-носитель – вазелин и крахмал. В ходе работы было изготовлено 3 мази: 1 – без красителя, 2 – с 1% раствором красителя, 3 – с 10% раствором красителя. Контрольный образец был приготовлен без соединения цинка.

Наиболее распространенным и общепринятым методом измерения степени высвобождения веществ является изучение концентрации вещества в диализной среде после его проникновения через мембрану. В нашем случае исследовали степень высвобождения ионов цинка из мази, используя целлофановую мембрану. Схема установки для диализа представлена на рисунке.

Подготовленные составы изучались методом равновесного диализа по Л. Кривчинскому при температуре  $22,0 \pm 0,5$  °С. Навеска мази массой 2 г помещалась на полупроницаемую мембрану, которая закреплялась на конце диализной трубки. В качестве диализной среды использовали водно-спиртовой раствор с концентрацией спирта 50%.

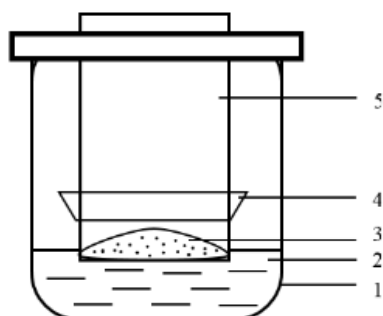


Рис. Схема аппарата по Л. Кривчинскому:

1 – камера для диализа; 2 – диализная среда; 3 – исследуемая композиция;  
4 – полупроницаемая мембрана; 5 – диализатор

Концентрация ионов цинка измерялась в диализной среде после 20 мин эксперимента с помощью цинк-селективного электрода, подключенного к иономеру И-160МИ. Результаты высвобождения приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты высвобождения  $Zn^{2+}$  от добавления красителя ализаринового желтого GG в цинковую мазь**

| Показатель                                                            | Без добавления красителя        | 1% раствор красителя            | 10% раствор красителя           |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Концентрация ионов $Zn^{2+}$ после диализа, моль/л                    | $(1,03 \pm 0,37) \cdot 10^{-5}$ | $(2,4 \pm 0,1) \cdot 10^{-5}$   | $(4,05 \pm 0,05) \cdot 10^{-5}$ |
| Высвобождение ионов $Zn^{2+}$ в диализную среду, моль/см <sup>2</sup> | $(1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-7}$   | $(3,47 \pm 0,15) \cdot 10^{-7}$ | $(5,85 \pm 0,07) \cdot 10^{-7}$ |

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что добавление красителя в цинковую мазь обеспечивает более эффективное высвобождение ионов  $Zn^{2+}$  в диализную среду.

Таким образом, в ходе исследования был синтезирован краситель ализариновый желтый GG, произведено доказательство его синтеза; выявлено, что добавление красителя в цинковую мазь обеспечивает более эффективное высвобождение ионов  $Zn^{2+}$  в диализную среду.

**Библиографический список**

1. Лапина Т. П. Пищевые и биологически активные добавки : учеб. пособие. Томск : Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2005. 96 с.
2. Данилова О. А. Красители как лекарственные средства и их применение в медицине // Фундаментальная наука и клиническая медицина – человек и его здоровье : материалы XXV Междунар. медико-биологической конф. молодых исследователей (г. Санкт-



Петербург, 16 апреля 2022 г). Т. XXV. СПб : ООО Издательский дом «Сциентиа», 2022. С 466–467.

3. Современные аспекты использования вспомогательных веществ в технологии лекарственных препаратов / В. Л. Багирова, Н. Б. Демина, И. А. Девяткина и др. // Фарматека. 1998. № 6. С. 34–36.

4. Грудько В. А., Георгиянц В. А., Материенко А. С. Изучение образования ионных ассоциатов пищевого азокрасителя кармуазина (Е122) с лекарственными веществами // Вестник КазНМУ. 2013. № 5–3. С. 27–31.

5. Khan M. N., Parmar D. K., Das D. Recent applications of azo dyes: a paradigm shift from medicinal chemistry to biomedical sciences. DOI: 10.2174/1389557520999201123210025 // Mini Rev. Med. Chem. 2021. Vol. 21. No. 9. P. 1071–1084.

6. Индикаторы : учеб. пособие / Под общ. ред. проф. С. С. Злотского. Уфа : Изд-во УГНТУ, 2017. 62 с.

## **THE POSSIBILITY OF REPLACING THE PRIMARY BUTYL RUBBER WITH A RECLAIMED RUBBER WHILE MAINTAINING ACCEPTABLE LEVELS OF TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES**

***C. Yang, S. V. Fomin, E. S. Shirokova***

*Vyatka State University, Kirov, Russia, rubber@vyatsu.ru*

Primary rubbers (natural and synthetic) used as a polymer base for rubbers, are very expensive raw materials. The aim of this work was to find out the possibility of replacing primary butyl-rubber with reclaimed rubber. The inclusion of rubber recycling products in new product life cycles will reduce the anthropogenic impact on the environment and achieve an economic effect.

Keywords: rubbers, reclaimed rubber, physical and mechanical properties.

Primary rubbers (natural and synthetic) used as the polymer base of rubbers are very expensive raw materials. But, without the rubber phase, it is impossible to imagine obtaining rubbers – unique materials that have highly elastic properties in the operating temperature range and find their application in a wide range of areas. According to available data [1], the global volume of rubber industry production is estimated at about 40–45 million tons per year. It is obvious that such huge volumes of manufactured products require serious disposal and/or recycling efforts.

The situation with processing is aggravated by the fact that there are dozens of types of rubbers that differ in their molecular and supramolecular structure and are used in the composition of rubbers for various purposes. There are general-purpose rubbers and special rubbers (oil-and-gas resistant, chemical resistant, providing improved gas tightness, friction properties, insulation characteristics, etc.). In addition, rubber contains many other components: carbon black, colloidal silicic acid, petroleum and synthetic oils, sulfur, oxides of some metals, resins, chemical additives, which are diverse in their chemical structure [1]. By applying various components in various ratios, material scientists are able to obtain rubbers that significantly differ in their performance characteristics. These factors indicate,

among other things, that the task of recycling rubbers is not only very large in volume, but also complex, given the multicomponent nature of these materials and the variety of properties.

During the production process, the raw rubber mixture is subjected to vulcanization – crosslinking of individual rubber molecules into a three-dimensional grid, which, in principle, greatly complicates the processes of recycling rubbers. Nevertheless, the methods of processing rubber vulcanizates into a plastic secondary material (reclaimed rubber, regenerate) are developed, have a wide variety, and are actively used in industry [2–6]. In this paper, we investigated the possibility of replacing part of the primary rubber with secondary regenerate. This approach, if successful, will reduce the consumption of primary rubber, dispose of existing accumulated reserves of rubber waste and reduce the cost of final products.

As objects of research, we used rubber mixtures based on butyl rubber of the BK-1675 brand. Butyl-rubber is a special-purpose rubber, containing from 0.6 to 2.5% unsaturated units, which requires the use of active vulcanizing systems, a long time and a high vulcanization temperature. On the other hand, low unsaturation contributes to a higher resistance of butyl rubber to heat, ozone and other types of aging. The compositions of rubber mixtures used in this study corresponded to those recommended in the literature [7] and included, in addition to the rubber phase, sulfur (2 wt. p.), mercaptobenzothiazole (0.65 wt. p.), tetramethylthiuram disulfide (1.3 wt. p.), zinc oxide (5 wt. p.), stearic acid (3 wt. p.) and carbon black N550 (50 wt. p.).

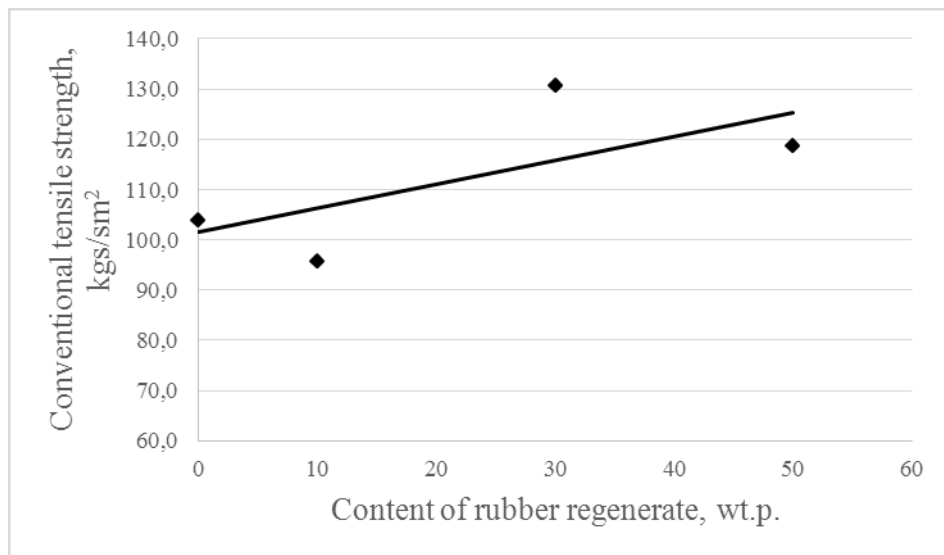
We studied rubber mixtures and rubbers that partially replaced the primary BK-1675 rubber with a reclaimed rubber based on GRP BR175 butyl rubber produced by the Indian company GRP [8]. In this study, 10, 30, and 50% of the primary rubber prescribed by the recipe was replaced with reclaimed rubber.

To assess the effect of the primary rubber-reclaimed rubber ratio on the properties of rubbers, the following characteristics of rubber properties and the corresponding methods for their determination were used:

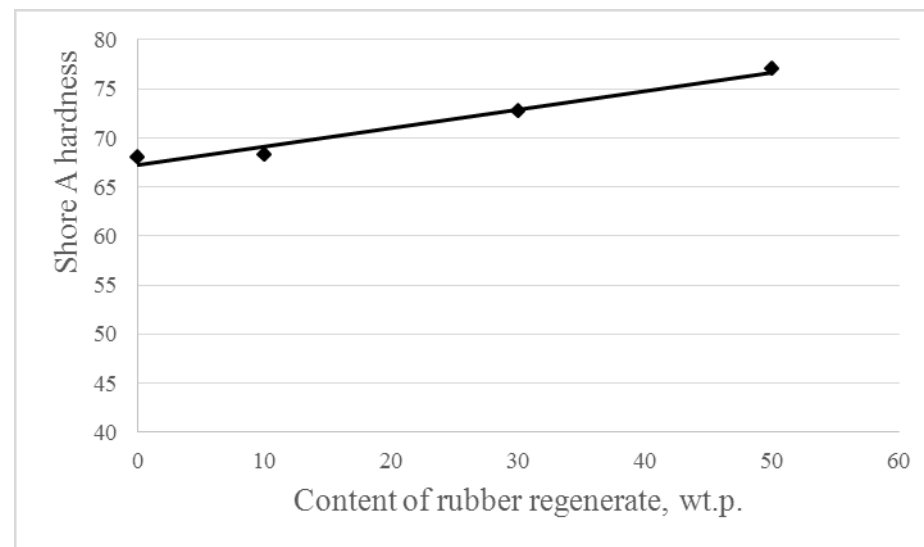
- Stress at 100% relative elongation (according to GOST 270-75);
- Conventional tensile strength (according to GOST 270-75);
- Relative elongation at break (according to GOST 270-75);
- Tear resistance (according to GOST 262-93);
- Shore A hardness (according to GOST 263-75);
- Resilience by rebound (according to GOST 269-66);
- Dynamic endurance (according to GOST 261-79);
- Resistance to thermal aging (according to GOST 9.024-74).

Vulcanization of rubber samples was carried out under conditions corresponding to the optimum, for which the vulcanization kinetics and resistance to premature vulcanization were preliminarily evaluated.

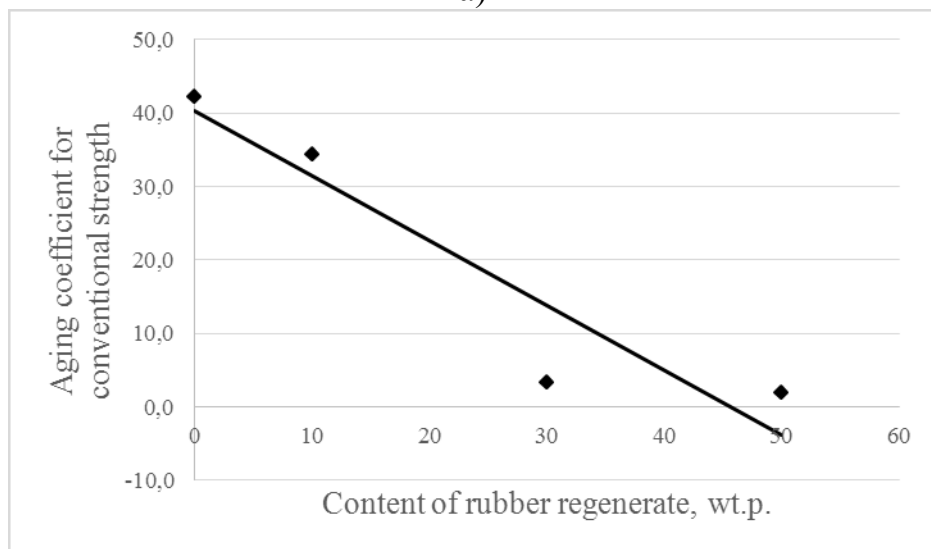
The dependence of some properties of BR-based rubbers on the amount of reclaimed rubber introduced to replace the primary rubber is shown in the figure.



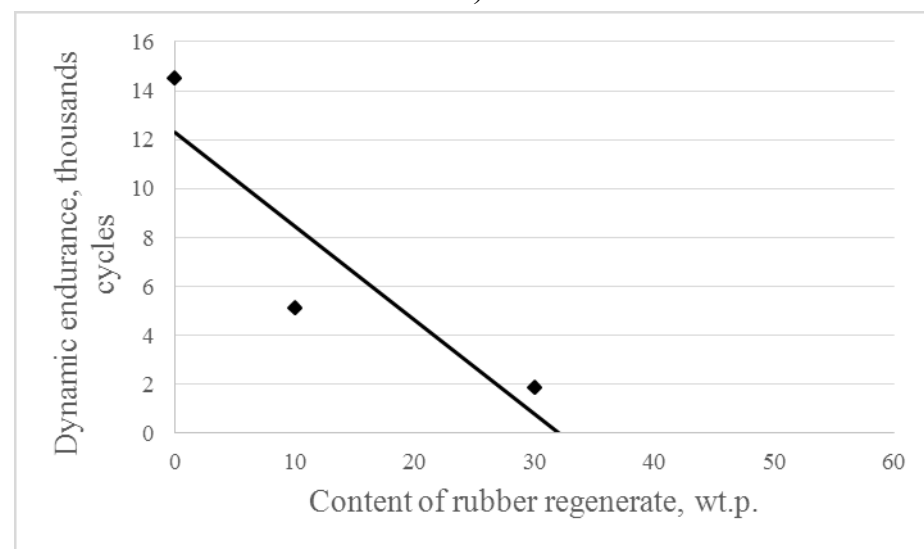
a)



b)



c)



d)

Fig. Influence of the content of regenerate introduced instead of primary rubber on some properties of rubbers

According to the obtained data, when replacing primary butyl rubber with reclaimed rubber, most of the physical and mechanical characteristics, describing the static modes of rubber operation are slightly changed. Thus, the stress at a given elongation, the conventional tensile strength, and Shore A hardness increase slightly. Elastic elasticity and elongation at break are reduced. In general, we can say that when replacing rubber with reclaimed rubber, there is a tendency to obtain tougher rubbers, but this effect is not critical and will not fundamentally affect the performance of rubbers in static conditions.

At the same time, a pronounced effect of improving the resistance of rubbers to thermal aging by replacing primary rubber with reclaimed rubber was found. This is obviously due to the fact that the unsaturated content of rubber molecules in any reclaimed rubber is reduced in comparison with primary rubber. Reclaimed rubber is a product of recycling of already vulcanized rubbers, and during the chemical reaction of vulcanization, it is obvious, that multiple bonds are consumed. In addition, the reclaimed rubber contains anti-aging agents that protect rubber from various types of aging, while the mixtures containing primary rubber used in this study do not include the introduction of anti-aging agents.

The obvious negative impact of replacing primary rubber with reclaimed rubber on the dynamic endurance of rubbers is very important. This, of course, is also related to the prehistory of the rubber phase forming the regenerate structure. The degradation process that occurs during the production of reclaimed rubber from rubbers is associated with the destruction of cross-links bonds and rubber molecules. Such degradation of the molecular structure cannot but affect the properties of the final composition, which, as can be seen from experimental data, is manifested precisely in a sharp decrease in the dynamic endurance of rubbers.

Thus, the principal possibility of replacing butyl rubber with a reclaimed rubber based on butyl rubber is shown. When using rubbers in which the primary rubber has been replaced with reclaimed rubber, it is necessary to choose their operating conditions very carefully. The best option will be those areas of rubber application in which intensive dynamic loads are not provided. Rubbers in which part of the primary rubber is replaced with reclaimed rubber are recommended to be operated under static loading conditions. At the same time, an acceptable set of physical and mechanical properties and resistance to thermal aging are achieved, ensuring the required durability of products.

### References

1. Grishin B. S. Materials of the rubber industry (information and analytical database). Kazan : KSTU Publishing House, 2010. (in Russian).
2. Evaluation of waste tire devulcanization technologies / A. C. Lloyd, R. Marin, L. Moulton-Patterson, et al. // California Environmental Protection Agency, C. 2004. Vol. 2. No. 4.
3. Ground tire rubber thermo-mechanically devulcanized in the presence of waste engine oil as asphalt modifier / Y. Li, A. Shen, Z. Lyu, et al. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.06.162 // Constr. Build. Mater. 2019. Vol. 222. P. 588–600.

4. Degradation of ozonized tire rubber by aniline – degrading *Candida methanosorbosa* BP6 strain / O. Marchut-Mikołajczyk, P. Drożdżyński, B. Januszewicz, et al. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.12.045 // Hazard. Mater. 2019. Vol. 367. P. 8–14.
5. Microbial desulfurization of ground tire rubber (GTR): Characterization of microbial communities and rheological and mechanical properties of GTR and natural rubber composites (GTR/NR) / V. Tatangelo, I. Mangili, P. Caracino, et al. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2018.12.021 // Polym. Degrad. Stab. 2019. Vol. 160. P. 102–109.
6. Influence of microwave treatment conditions of GTR on physico-mechanical and structural properties of NBR/NR/GTR composites / J. Canãvate, X. Colom, M. R. Saeb, et al. // AFINIDAD. 2019. Vol. 76. No. 587. P. 171–179.
7. Koshelev F. F., Kornev A. E., Bukanov A. M. General technology of rubber. Moscow : Khimiya, 1978. 528 p. (in Russian).
8. GRP company website [Internet resource]. – URL: <https://www.grpweb.com/> (assessed: 27.03.2025).

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАСЛЯНЫХ ЭКСТРАКТОВ ЗВЕРОБОЯ**

**А. И. Муравьева, А. И. Фокина**

*Вятский государственный университет,  
г. Киров, Россия, [anymuraveva@gmail.com](mailto:anymuraveva@gmail.com)*

В статье представлен опыт исследования физико-химических свойств масляных экстрактов зверобоя продырявленного. Установлено, что экстракт листьев имеет максимальные, по сравнению с экстрактами других частей растения, антиоксидантные свойства. Спектральный анализ подтвердил наличие веществ-антиоксидантов.

Ключевые слова: зверобой продырявленный, масляный экстракт, физико-химические свойства.

Зверобой (*Hypericum perforatum*) – широко используемое лекарственное растение с выраженными седативными, противовоспалительными и антиоксидантными свойствами. Основными биологически активными веществами зверобоя являются гиперин, гиперфорин, флавоноиды и эфирные масла. Гиперин обладает антидепрессивным и противовирусным действием, ингибируя обратный захват нейромедиаторов и повреждая вирусные оболочки. Гиперфорин также действует как антидепрессант и, кроме того, обладает антибактериальными свойствами. Флавоноиды, включая рутин и кверцетин, проявляют антиоксидантную и противовоспалительную активность, защищая клетки от окислительного стресса. Эфирные масла зверобоя содержат терпены и летучие соединения с антисептическими и противовоспалительными свойствами. На основе зверобоя производится множество биологически активных добавок и фармацевтических препаратов. К ним относятся экстракты, капсулы, масла, чай, а также комбинированные средства, такие как «Ново-

Пассит». В косметологии используются кремы, мази, массажные масла, шампуни и бальзамы с экстрактом зверобоя. Все эти продукты находят применение благодаря комплексному лечебному воздействию растения на организм. Масляный экстракт зверобоя применяется в медицине, пищевой и косметической промышленности, однако вопросы его стандартизации и оптимальных условий получения остаются недостаточно изученными [1–5].

Поэтому цель исследования заключалась в разработке рецептуры масляного экстракта зверобоя и изучении его физико-химических свойств.

Объектом исследования служили цветки, стебли, листья и корни зверобоя продырявленного, собранного в Советском районе Кировской области в 2024 г. в период цветения. Масляный экстракт получали путем распаривания измельченной травы на водяной бане, заливания растительного сырья подсолнечным маслом с последующим нагреванием на водяной бане при температуре 70–80 °С в течение 5 часов. Далее у экстрактов были определены следующие показатели: концентрация антиоксидантов (перманганатометрия), кислотное число (алкалиметрия), снята спектрограмма с масляных экстрактов после добавления к ним хлорида железа(III).

Наибольшее содержание антиоксидантов выявлено в экстракте листьев, что значительно превышает показатели других экстрактов и подсолнечного масла (табл. 1).

При этом кислотное число экстракта листьев оказалось ниже, чем у подсолнечного масла, что свидетельствует о его меньшей склонности к окислению (табл. 2). Меньше, чем у контроля, кислотное число также в экстрактах корней и стеблей.

*Таблица 1*

**Концентрация антиоксидантов в масляных экстрактах  
из различных частей зверобоя**

| Вариант            |        | Концентрация антиоксидантов, мг/л |
|--------------------|--------|-----------------------------------|
| Масло подсолнечное |        | 81,1±0,2                          |
| Масляные экстракты | Корни  | 71,5±0,8                          |
|                    | Стебли | 99,0±0,9                          |
|                    | Цветки | 96,5±0,7                          |
|                    | Листья | 220±36                            |

*Таблица 2*

**Величина кислотного числа масляных экстрактов зверобоя**

| Вариант            |        | Кислотное число, мг КОН/г |
|--------------------|--------|---------------------------|
| Масло подсолнечное |        | 0,19±0,02                 |
| Масляные экстракты | Корни  | 0,12±0,02                 |
|                    | Стебли | 0,10±0,02                 |
|                    | Цветки | 0,22±0,02                 |
|                    | Листья | 0,14±0,02                 |

Спектральный анализ подтвердил наличие антиоксидантных соединений в экстракте листьев, в частности  $\beta$ -каротина и веществ, содержащих в молекулах ароматические кольца.

В целом установлено, что масляный экстракт из листьев зверобоя является наиболее перспективным для дальнейшего исследования благодаря высоким антиоксидантным свойствам.

#### Библиографический список

1. Зверобоя трава (*Hyperici herba*) : описание / Справочник лекарственных средств VIDAL [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.vidal.ru/drugs/hyperici\\_herba\\_\\_30243](https://www.vidal.ru/drugs/hyperici_herba__30243) (дата обращения: 05.04.2025).
2. Показания активного вещества Зверобоя трава / Справочник лекарственных средств VIDAL [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.vidal.ru/drugs/hyperici\\_herba\\_\\_30243](https://www.vidal.ru/drugs/hyperici_herba__30243) (дата обращения: 05.04.2025).
3. Самылина И. А., Сорокина А. А., Пятигорская Н. В. Зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum*) // Фарматека. 2010. № 11. С. 107–109.
4. Пат. 2 278 154 С2. РФ, МПК С11В 5/00 (2006.01). Антиоксидант : № 2004125663/13 : заявл. 23.08.2004 : опубл. 20.06.2006 / Коротченко В. И. 5 с.
5. Налимова Н. В., Ефейкина Н. Б. Содержание биологически активных веществ в *Hypericum perforatum* и фармакотерапевтическое действие препаратов на его основе (обзор) // Acta medica Eurasica. 2019. № 3. С. 24–36.

### РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ГЕЛЕЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЛАБАЗНИКА ВЯЗОЛИСТНОГО

*Д. М. Топорова, С. С. Козачок, А. И. Фокина*  
Вятский государственный университет,  
г. Киров, Россия, [toporova.dariaa@gmail.com](mailto:toporova.dariaa@gmail.com)

В статье представлены результаты разработки рецептур гелей на основе экстрактов лабазника, в состав которых входят экологически безопасные компоненты. Изучены свойства гелей: выход полифенолов в диализную среду и антиокислительная активность биологически активных веществ, содержащихся в гелях, по отношению к пероксиду водорода.

Ключевые слова: лабазник, гель, состав, экологичность.

Современная фармацевтическая и косметическая промышленности уделяют большое внимание разработке рецептур гелей. В настоящее время при производстве гелей используется много компонентов синтетического происхождения, в том числе потенциально опасных для человека, вызывающих аллергические реакции и весьма серьезные изменения, например, в эндокринной системе [1, 2]. Перспективным направлением исследования является испытание натуральных растительных экстрактов, обладающих широким спектром биологической активности без применения потенциально опасных компонентов. Одними из объектов являются экстракты лабазника (*Filipendula*

*ulmaria*). Лабазник вязолистный традиционно используется в народной медицине благодаря своим противовоспалительным, антисептическим и ранозаживляющим свойствам.

Цель исследования – извлечение биологически активных веществ из лабазника методом экстракции, разработка рецептур гелей на основе экстрактов, определение физико-химических свойств гелей с помощью различных методов анализа.

Сырье собирали в сухую погоду в период цветения в июле 2024 г. вблизи г. Советска Кировской области. Сушили на воздухе при температуре окружающей среды в затененном месте. После высушивания сырье разбирали на части – цветки, листья и стебли, и измельчали.

Для получения спиртового экстракта использовали 1 г измельченного сырья и 30 мл 60% водного раствора этилового спирта. Смесь нагревали, поддерживая слабое кипение в течение 30 минут, фильтровали в колбу вместимостью 250 мл и доводили растворителем до метки [2]. Для получения водного экстракта использовали 1 г измельченного сырья и 20 мл воды, нагревали и настаивали на кипящей водяной бане при частом помешивании 30 мин, фильтровали в колбу вместимостью 250 мл и доводили водой до метки [3].

Для получения гелей использовали следующую методику. Воду дистиллированную (45,0 мл) смешивали с гелеобразователем «КМЦ» (1,5 г) при постоянном перемешивании. Далее вливали экстракт (30,0 мл) небольшими порциями в водную фазу, промешивая миксером и добиваясь полной однородности.

В экстрактах определяли концентрацию полифенолов спектрофотометрически с реактивом Фолина – Чокальтеу (стандарт – галловая кислота), антиоксидантов в экстрактах – методом перманганатометрии, в гелях – методом инверсионной вольтамперометрии (стандарт – кверцетин, в качестве активной формы кислорода использовали пероксид водорода). Степень высвобождения полифенолов из гелей изучали методом Крувчинского [4], диализной средой служил 50% водно-спиртовой раствор.

В результате определения концентрации полифенолов и антиоксидантов в экстрактах лабазника установлено, что экстракты содержат их в количествах, указанных в таблице 1.

Таблица 1

**Концентрация полифенолов и суммы антиоксидантов  
в экстрактах лабазника, мг/л**

| Вариант            |        | Полифенолы | Антиоксиданты |
|--------------------|--------|------------|---------------|
| Спиртовый экстракт | Листья | 39±10      | 1100±275      |
|                    | Цветки | 57±14      | 1950±488      |
| Водный экстракт    | Листья | 8,3±2,1    | 1560±390      |
|                    | Цветки | 12,0±3,0   | 1500±375      |

В результате определения концентрации полифенолов в диализной среде посчитаны величины выделения БАВ с единицы площади геля за минуту (табл. 2).



**Характеристики гелей**

| Вариант            |        | Степень высвобождения полифенолов, мкг/(см <sup>2</sup> ·мин) | Содержание антиоксидантов в геле, мг/г |
|--------------------|--------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Спиртовый экстракт | Листья | 4,9±1,3                                                       | 85,5±5,7                               |
|                    | Цветки | 17,5±4,3                                                      | 32,5±1,8                               |
| Водный экстракт    | Листья | 4,5±0,4                                                       | 17,8±0,4                               |
|                    | Цветки | 2,8±2,0                                                       | 16,2±0,7                               |

Таким образом, полученные результаты (табл. 2) показывают, что самый высокий выход полифенолов из геля на основе спиртового экстракта цветков лабазника; выход полифенолов из остальных гелей значительно ниже, и значения достоверно не отличаются между собой. Установлено, что количество высвобождающихся из геля полифенолов коррелирует с содержанием БАВ в экстрактах ( $R = 0,83$ ). Выявлено, что наиболее перспективно применение спиртовой экстракции из цветков.

Полифенолы в экстрактах лекарственных растений являются многофункциональными соединениями, проявляющими антибактериальные и противогрибковые свойства. Они также могут поддерживать здоровье сердечно-сосудистой системы и содействовать снижению воспаления. Эти свойства делают полифенолы важными компонентами для поддержания общего здоровья и профилактики различных заболеваний.

Содержание веществ с антиокислительной активностью по отношению к пероксиду водорода в гелях не коррелирует с установленной суммой антиоксидантов в экстрактах, что может быть связано с разницей в определяемых компонентах методом перманганатометрии (в экстрактах) и инверсионной вольтамперометрии (в гелях) или компонентами геля, обуславливающими изменение отклика антиоксидантов геля. В любом случае наибольшей антиокислительной активностью обладает гель на основе спиртового экстракта листьев, за ним следует гель на основе спиртового экстракта цветков. Гели на основе водных экстрактов не отличаются по степени выделения полифенолов и антиокислительной способности и в целом по этим показателям отстают от спиртовых аналогов.

Таким образом, установлена перспективность гелей на основе экстрактов лабазника с учетом их использования в качестве источника БАВ. Рецептуры могут быть рекомендованы для дальнейшего исследования.

**Библиографический список**

1. Sharifzadeh G., Hosseinkhani H. Biomolecule-responsive hydrogels in medicine. DOI: 10.1002/adhm.201700801 // Adv. Healthc. Mater. 2017 Vol. 6. No. 24.
2. Parabens and their effects on the endocrine system / K. Nowak, W. Ratajczak-Wrona, M. Górská, E. Jabłońska. DOI: 10.1016/j.mce.2018.03.014 // Mol. Cell. Endocrinol. 2018. Vol. 15. No. 474. P. 238–251.
3. ОФС.1.5.3.0006.15. Определение содержания экстрактивных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах [Электронный

ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia-projects/izdanie-13/1/1-5/1-5-3/1-5-3-6/?vers=856> (дата обращения: 04.04.2025)

4. Разработка состава и технологии дерматологического геля сухого экстракта босвелии пильчатой / М. Н. Анурова, Е. О. Бахрушина, Н. Б. Демина и др. // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2016. № 4. С. 127–132.

## **СВОЙСТВА ЖИРОВОСКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ СО СМОЛОЙ ЕЛИ КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ КАРАНДАШЕЙ**

***А. И. Фокина<sup>1</sup>, А. Р. Киреева<sup>1</sup>, С. А. Харина<sup>1</sup>,  
В. В. Шишкина<sup>1</sup>, Е. С. Измestъев<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup> Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,*

*<sup>2</sup> Институт химии Коми НЦ УрО РАН,  
г. Сыктывкар, Россия, 89531387372v@gmail.com*

В статье представлены результаты исследования состава смолы ели и физико-химических свойств лекарственных карандашей, в состав которых она входит. Установлено, что лекарственные карандаши с содержанием смолы до 15% соответствуют требованиям безопасности по кислотному числу. Доказано наличие высвобождения биологически активных веществ из композиций карандашей в водно-спиртовые растворы.

Ключевые слова: смола ели, лекарственный карандаш, состав, свойства.

Смола (живица, терпентин) – это вязкое вещество с характерным хвойным запахом. Терпентин – активный природный антиоксидант, обладающий противомикробным, противовоспалительным, иммуностимулирующим и ранозаживляющим действием [1].

Смола представляет собой сложную смесь смоляных кислот (абиетиновой, неоабиетиновой, дегидроабиетиновой, пимаровой, изопимаровой, левопимаровой, сандракопимаровой, палюстриновой и некоторых других кислот) и лигнанов (пино-, ларици-, матайрезинола и *n*-гидроксикоричной кислоты), обладающих противомикробными, ранозаживляющими и улучшающими регенерацию кожи свойствами [2]. В свежей живице содержится 55–60% дитерпеновых (смоляных) кислот, 38–42% монотерпеновых углеводов, 2–3% дитерпеноидов [3]. Смоляные кислоты – это группа веществ, распространенных в хвойных деревьях и играющих важную роль в их защите от паразитов и инфекций [4].

Цель работы – исследовать состав смолы ели и лекарственных карандашей с ее включением.

Смолу ели собирали с нескольких деревьев, расположенных под деревней Трушковой Слободского района Кировской области в августе 2024 года.

Методом ГХ-МС в растворе смолы (растворитель диэтиловый эфир) определены такие вещества, как абиетиновая кислота,  $\alpha$ - и  $\beta$ -пинены, карен,  $\alpha$ -лимонен,  $\alpha$ -фелландрен,  $\alpha$ -терпинеол, нафтален,  $\delta$ -кадинен, 1-фенантренкарбоновая кислота. Абиетиновая кислота обладает потенциалом для ле-

чения онкологических заболеваний, пинены проявляют противовирусную и противовоспалительную активности. Пинены ( $\alpha$ - и  $\beta$ -) проявляют антисептические, бактерицидные, дезинфицирующие, противопаразитарные, противогнилостные свойства. Это делает смолу источником важных компонентов для создания фармацевтических субстанций, в том числе лекарственных карандашей.

Карандаши лекарственные – твердая лекарственная форма в виде карандаша цилиндрической или конической формы с закругленным концом, предназначенная для наружного применения с целью оказания местного действия [5]. Во время контакта с кожными покровами человека происходит миграция биологически активных веществ, в том числе антиоксидантов и полифенолов, в ткани.

Изготавливали карандаши методом выливания. Компоненты расплавляли на водяной бане при постоянном перемешивании до получения однородной массы и заливали в подготовленные формы до полного застывания. Для изготовления карандашей использовали следующие компоненты: пчелиный воск, вазелин ветеринарный, масло подсолнечное рафинированное, смолу ели обыкновенной, парафин. Композиции имели различное содержание смолы (от 0 до 15%). Состав композиций представлен в таблице.

*Таблица*

**Состав карандашей (указаны массовые соотношения)**

| Массовая доля, % | Воск | Масло | Вазелин | Смола | Парафин |
|------------------|------|-------|---------|-------|---------|
| Без смолы        | 9,0  | 10,0  | 13,0    | –     | –       |
| 1,0              | 8,7  | 10,0  | 13,0    | 0,3   | –       |
| 2,5              | 8,2  | 10,0  | 13,0    | 0,8   | –       |
| 5,0              | 7,4  | 10,0  | 13,0    | 1,6   | –       |
| 10,0             | 6,8  | 9,5   | 12,5    | 3,2   | 7,6     |
| 15,0             | 6,7  | 9,0   | 12,0    | 4,8   | 7,6     |

*Примечание:* «–» – компонент не добавляли.

Безопасность композиций определяли по методикам, описанным в ГОСТ 31649-2012 для определения показателей: кислотное число, рН, температура каплепадения. Кроме того, определено содержание антиоксидантов и полифенолов, экстрагируемых водно-спиртовым раствором. Использовали методики для установления физико-химических свойств лекарственных карандашей: потенциометрия, кондуктометрия, спектрофотометрия и инверсионная вольтамперометрия.

Было установлено, что показатели безопасности соответствуют ГОСТ.

Для определения экстрагируемых спиртом антиоксидантов и полифенолов предварительно наносили по 0,07 г каждой композиции тонким слоем на фильтровальную бумагу, опускали в 15 мл 70%-ного водно-этанольного раствора и термостировали при 37 °С в течение 35 мин. Далее в экстракте определяли антиоксиданты, полифенолы, электропроводность.

Установлено, что количество экстрагируемых полифенолов (в пересчете на галловую кислоту) – 14,8 мг/г карандаша в варианте, не содержащем смолу, и 8,2 мг/г – в варианте с массовой долей смолы 15%.

Методом кондуктометрии установлено, что наибольшей электропроводностью обладает раствор с массовой долей смолы 10% (удельная электропроводность раствора на 35-ую минуту контакта композиции с водно-этанольной смесью была равна 1,680 мкСм/см).

Метод инверсионно-вольтамперометрического определения антиоксидантов основан на учете степени снижения площади пика электровосстановления пероксида водорода на вольтамперограмме после введения вытяжки из материала карандаша. Концентрация пероксида водорода в электрохимической ячейке до введения вытяжки с антиоксидантами была 0,016 мг/мл. В качестве стандарта брали раствор абиетиновой кислоты с концентрацией 1 мг/мл. Согласно полученным данным, содержание антиоксидантов возрастает по мере увеличения массовой доли смолы в карандашах и находится в диапазоне от 108 (без добавления смолы ели в композицию) до 321 мг/г карандаша (с массовой долей смолы 15%). Методика проверена по характеристикам: линейность, повторяемость и правильность.

Таким образом, установлено, что лекарственные карандаши с включением смолы ели обладают потенциалом для использования в лечебных целях.

#### **Библиографический список**

1. Гривенко С. Г., Усманова Т. И. Обоснование применения биологически активных перевязочных материалов для местного лечения гнойных ран и трофических язв // Таврический медико-биологический вестник. 2018. Т. 21. № 2–1. С. 93–100.
2. Jokinen J. J., Sipponen A. Refined spruce resin to treat chronic wounds: rebirth of an old folkloristic therapy. DOI: 10.1089/wound.2013.0492.2016 // Adv. Wound Care. 2016. Vol. 5. No. 5. P. 198–207.
3. Флейшер В. Л., Черная Н. В. Модифицированная канифоль: получение, свойства и применение. Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2019. С. 11–12.
4. Strategy of coniferous needle biorefinery into value-added products to implement circular bioeconomy concepts in forestry side stream utilization / L. Klavins, K. Almonaitytė, A. Šalaševičienė, et al. DOI: 10.3390/molecules28207085 // Molecules. 2023. Vol. 28. No. 20. Article No. 7085.
5. ОФС.1.4.1.0028. Карандаши лекарственные [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-4/1-4-1-lekarstvennye-formy/karandashi-lekarstvennye/?ysclid=mb9cewsync153432732> (дата обращения 31.03.2025)

# АКТИВНОСТЬ ВНЕКЛЕТОЧНЫХ ЦЕЛЛЮЛАЗ ШТАММОВ *IRPEX LACTEUS* (Fr.) Fr. ПРИ ЖИДКОФАЗНОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ НА ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛКАХ

**О. В. Чемерис**

Донецкий государственный университет,  
г. Донецк, Россия, chemeris07@rambler.ru

Исследована активность внеклеточных ферментов целлюлозолитического действия штаммов базидиального гриба *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. при жидкофазном культивировании на древесных опилках хвойных пород и опилках яблони. Установлено, что древесные опилки могут выступать в качестве индукторов синтеза ферментов целлюлазного комплекса гриба *I. lacteus*. Вид растительного сырья и продолжительность культивирования оказывают влияние на активность целлюлозолитических ферментов штаммов *I. lacteus*.

Ключевые слова: гриб, *Irpex lacteus*, целлюлазы, внеклеточные ферменты, древесные опилки.

Целлюлазы нашли достаточно широкое применение в различных отраслях промышленности, в частности, в текстильной и целлюлозно-бумажной, в сельском хозяйстве и в производстве биотоплива [1]. В настоящее время большую часть ферментных препаратов целлюлаз получают с помощью низших грибов *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Humicola* и др. [2]. Высокая секреторная способность, широкое разнообразие продуцируемых ферментов с различной субстратной специфичностью характерно для данных грибов.

Отмечено, что высшие базидиальные грибы являются достаточно перспективными объектами для получения ферментных препаратов целлюлаз [3, 4]. Свойства и состав ферментного комплекса гриба-деструктора определяется растительным субстратом. Помимо непосредственного использования базидиальных грибов в качестве источников ферментов, известны варианты использования ферментных препаратов целлюлаз и гемицеллюлаз из базидиальных грибов [5].

Целлюлазы – это индуцибельные ферменты и регуляция их биосинтеза контролируется механизмами активации и репрессии [6], а их биосинтез индуцируется целлюлозосодержащими субстратами. В связи с этим необходимы исследования по изучению влияния лигноцеллюлозного субстрата на процессы биосинтеза ферментов целлюлазного комплекса активным продуцентом с целью повышения его выхода.

Целью данной работы была оценка влияния лигноцеллюлозного сырья на биосинтез внеклеточных целлюлаз штаммами базидиального гриба *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. при жидкофазном культивировании.

Штаммы *I. lacteus* 1082, 1631 и 1632 культивировали в колбах Эрленмейера объемом 100 мл. В качестве лигноцеллюлозного субстрата использо-

вали воздушно-сухие опилки хвойных пород (размер частиц 2–3 мм) и яблони (размер частиц 5–7 мм), которые вносили из расчета 30 г/л. Культивирование продуцентов проводили в течение 30 сут. при температуре 32 °С. Активность ферментов целлюлазного комплекса определяли в культуральной жидкости (КЖ) штаммов *I. lacteus* через каждые 5 сут., начиная с 5-х по 30-е сут. культивирования.

Активность целлюлозолитических ферментов штаммов *I. lacteus* определяли относительно следующих субстратов: фильтровальная бумага (общая целлюлозолитическая активность), Na-карбоксиметилцеллюлоза (эндоглюканазная активность). Состав реакционных смесей для определения целлюлозолитической активности и условия проведения реакций соответствовали общепринятым методикам [7–9]. За единицу целлюлозолитической активности (Ед) принимали такое количество фермента, которое образовывало 1  $\mu\text{mol}$  редуцирующих сахаров на протяжении 1 ч в условиях опыта ( $t = +37^\circ\text{C}$ ). Удельную активность (Ед/мг) определяли отношением общей активности культуральной жидкости (Ед/мл) к содержанию белка в КЖ (мг/мл). Редуцирующие сахара определяли методом Шомодьи – Нельсона (калибровочный график строили по глюкозе) [7, 8, 10].

Содержание белка в КЖ определяли по методу Бредфорда [11]. Полученные экспериментальные данные подвергали статистической обработке.

Установлено, что общая целлюлозолитическая активность исследованных штаммов *I. lacteus* находилась на уровне  $\sim 2,0$  Ед/мг и ниже при культивировании на хвойных опилках (рис. 1, а). Однако на 5-е сут. культивирования максимальные значения общей целлюлозолитической активности КЖ на уровне 7,5 Ед/мг выявлены для штамма *I. lacteus* 1082. К 30-м сут. отмечено снижение целлюлозолитической активности относительно фильтровальной бумаги для штаммов *I. lacteus* 1082 и 1631. Наименьшими значениями целлюлозолитической активности  $\sim 0,2\text{--}0,9$  Ед/мг в течение всего периода культивирования характеризовался штамм *I. lacteus* 1632.

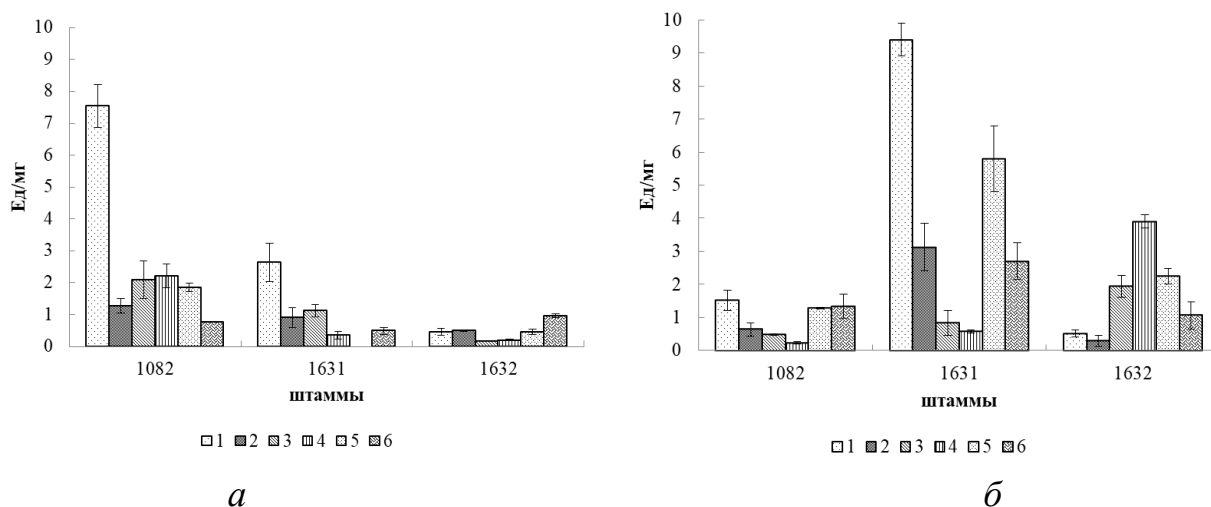


Рис. 1. Удельная общая целлюлозолитическая активность штаммов *I. lacteus* при культивировании на хвойных опилках (а) и опилках яблони (б): 1 – 5 сутки, 2 – 10 сутки, 3 – 15 сутки, 4 – 20 сутки, 5 – 25 сутки, 6 – 30 сутки

При использовании в качестве лигноцеллюлозного субстрата опилок яблони отмечено два пика высоких значений общей целлюлозолитической активности штаммов *I. lacteus* – на 5-е и 25-е сут. культивирования для штаммов 1082 и 1631. Максимум ферментативной активности на 5-е сут. культивирования на опилках яблони установлен для штамма 1631. Для штамма *I. lacteus* 1632 максимальные значения общей целлюлозолитической активности отмечены на 20-е сут. культивирования

Эндоглюканазная активность штамма *I. lacteus* 1082 при культивировании на хвойных опилках была низкой и к 30-м суткам практически не выявлялась (рис. 2, а). Для штаммов *I. lacteus* 1631 и 1632 активность эндоглюканаз была высокой на 5-е и 10-е сутки культивирования и составляла от ~110,0 Ед/мг до 150 Ед/мг. Активность внеклеточных эндоглюканаз снижалась к 30-м суткам и составляла 25,6 Ед/мг.

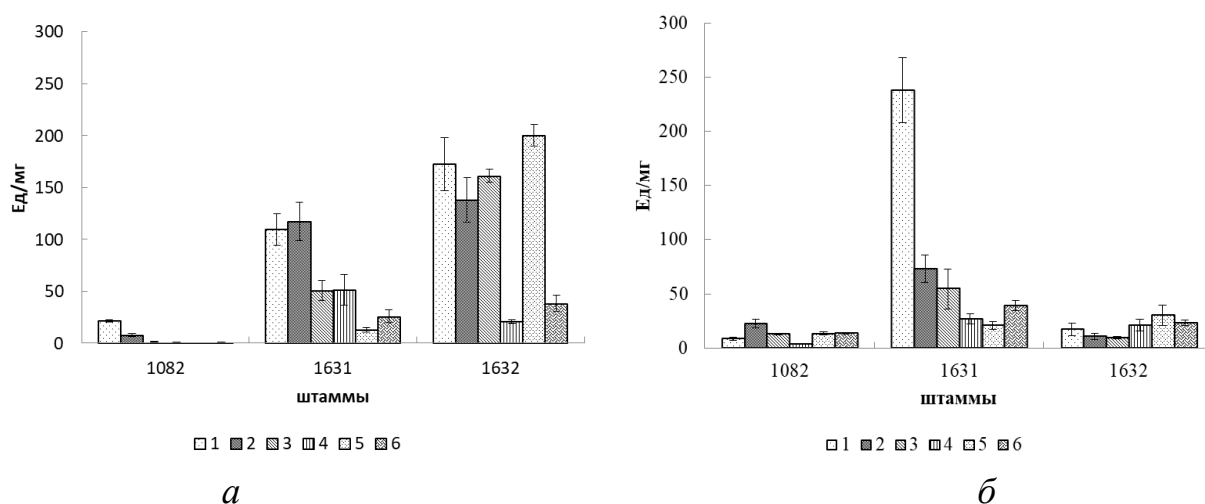


Рис. 2. Удельная эндоглюканазная активность штаммов *I. lacteus* при культивировании на хвойных опилках (а) и опилках яблони (б): 1 – 5 сутки, 2 – 10 сутки, 3 – 15 сутки, 4 – 20 сутки, 5 – 25 сутки, 6 – 30 сутки

При культивировании штамма *I. lacteus* 1082 на опилках яблони активность внеклеточных эндоглюканаз была выше, чем при использовании хвойных опилок, а штамм *I. lacteus* 1632 характеризовался более низкими значениями ферментативной активности (рис. 2, б). На 5-е сутки культивирования штамма *I. lacteus* 1631 наблюдался максимум эндоглюканазной активности, который совпадал с максимальными значениями удельной общей активности целлюлаз (рис. 1, б) и составлял 238,0 Ед/мг. При дальнейшем культивировании данного штамма активность внеклеточных эндоглюканаз снижалась более чем в 3 раза.

Таким образом, штаммы *I. lacteus* способны к синтезу ферментов целлюлозолитического действия при жидкофазном культивировании на древесных опилках хвойных пород и опилках яблони. Вид лигноцеллюлозного субстрата и длительность культивирования продуцента оказывают значительное влияние на активность целлюлаз.

Исследование проводилось по теме государственного задания (№ госрегистрации 124012400346-5).

### Библиографический список

1. Ejaz U., Sohail M., Ghanemi A. Cellulases: from bioactivity to a variety of industrial applications. DOI: 10.3390/biomimetics6030044 // Biomimetics. 2021. Vol. 6. No. 3. Article No. 44.
2. Биоконверсия возобновляемого растительного сырья в полезные продукты – оптимизация состава целлюлазного ферментного комплекса / А. П. Сеницын, И. А. Шашков, А. В. Гусаков и др. // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2018. Т. 3. № 1. С. 219–224.
3. Борисенко И. В., Шубакова А. А., Кочева Л. С. Действие ферментов на солому злаков // Химия растительного сырья. 2011. № 4. С. 19–23.
4. Волчатова И. В., Александрова Г. П., Хамидуллина Е. А. Биотрансформация древесины березы базидиальными грибами в зоне воздействия выбросов алюминиевого завода // Микология и фитопатология. 2005. Т. 39. № 4. С. 61–67.
5. Чемерис О. В. Ферментативный гидролиз отходов переработки початков кукурузы целлюлазами штамма *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. 2434. DOI: 10.5281/zenodo.14543836 // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2024. № 4. С. 77–81.
6. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology / L. R. Lynd, P. J. Weimer, W. H. van Zyl, I. S. Pretorius. DOI: 10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002 // Microbiol. Mol. Biol. Rev. 2002. Vol. 66. P. 506–577.
7. Сеницын А. П., Гусаков А. В., Черноглазов В. М. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов : учеб. пособие. М. : Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
8. Сеницын А. П., Черноглазов В. М., Гусаков А. В. Методы изучения и свойства целлюлозолитических ферментов // Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология. 1993. Т. 25. 152 с.
9. Ghose T. K. Measurement of cellulase activities // Pure and Applied Chemistry. 1987. Vol. 59. No. 2. P. 257–268.
10. Nelson N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. DOI: 10.1016/s0021-9258(18)71980-7 // Journal of Biological Chemistry. 1944. Vol. 153. No. 2. P. 375–379.
11. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. DOI: 10.1016/0003-2697(76)90527-3 // Anal. Biochem. 1976. Vol. 72. P. 248–254.

## КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ УКСУСНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ *GLUCONOBACTER OXYDANS* НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ РОСТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БИОТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

**В. В. Федина, С. В. Алферов**

Лаборатория экологической и медицинской биотехнологии  
НИЦ «БиоХимТех» ТулГУ, г. Тула, Россия, [agarovaweronica@yandex.ru](mailto:agarovaweronica@yandex.ru)

Биотопливные элементы – это устройства, благодаря которым возможна генерация электрической энергии с одновременной очисткой сточных вод путем окисления органических и неорганических соединений с помощью различных биокатализаторов. В данной работе в качестве анодного биокатализа-



тора использовали бактерии *Gluconobacter oxydans*, в мембране которых содержится большое количество ферментов, за счет чего открывается перспектива использования различных субстратов в биоэлектрохимических системах.

Ключевые слова: биотопливный элемент, бактерии *Gluconobacter oxydans*, чистая электроэнергия.

В настоящее время с развитием новых технологий каждый год спрос на электроэнергию возрастает. Основная часть этого спроса удовлетворяется путем использования ископаемого топлива, работы АЭС, но при этом возникают проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды и глобальным потеплением. Одним из возможных путей решения сложившихся проблем является разработка экологически чистых источников электрической энергии – биотопливных элементов (БТЭ) [1]. БТЭ представляют собой привлекательную альтернативу для создания устойчивых систем преобразования энергии, имеющих широкий спектр применений – от биосенсоров и биоэлектроники до автономных движущихся устройств с одновременной очисткой сточных вод [2].

Для функционирования БТЭ с высокой производительностью необходим подбор условий и биокатализаторов. Хороший материал для электродов должен обладать следующими характеристиками: устойчивость к коррозии, биосовместимость, электропроводность, высокая механическая прочность, нетоксичность, химическая стабильность, большая площадь поверхности и низкие эксплуатационные расходы [3, 4]. Учитывая эти свойства, наиболее часто используются материалы на основе углерода [5] и/или металлов. Они являются материалами с высокой проводимостью и повышают энергоэффективность БТЭ [3]. В данной работе использован биотопливный элемент, содержащий анод, катод, электролит, который заполняет анодное и катодное пространства, разделенные протонселективной мембраной. Когда глюкоза окисляется мембранлокализованным ферментом PQQ-дегидрогеназой бактерии *Gluconobacter oxydans*, дальнейший перенос электронов возможен непосредственно к искусственному акцептору электронов – 2,6-дихлорфенолиндифенолу (2,6-ДХФИФ), он захватывает электроны из цепи переноса электронов и восстанавливается. Восстановленный медиатор переносит электроны к поверхности анода, возвращаясь в свое первоначальное окисленное состояние, чтобы снова вступить в процесс передачи электронов. При замкнутой внешней цепи электроны с анода перемещаются к катоду через внешнюю нагрузку, поток электронов вызывает электрический ток (рис. 1) [6].

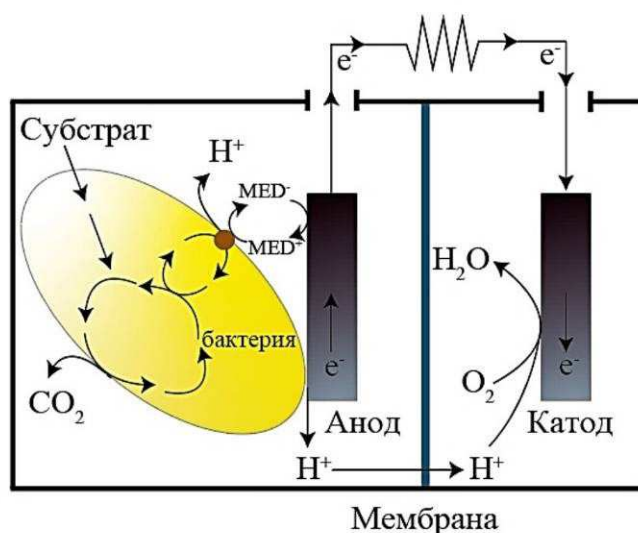


Рис. 1. Общая схема работы биотопливного элемента

Уксуснокислые бактерии играют важную роль в биотрансформациях [7], поэтому в последние 20 лет штаммы *Gluconobacter* активно применялись благодаря своей уникальной способности не полностью окислять сахара и спирты. Эти бактерии представляют собой отдельную категорию немодельных микроорганизмов, которые используются в качестве биокатализаторов в различных промышленно значимых реакциях [8, 9] или биоэлектрохимических устройствах [10, 11]. Бактерии *Gluconobacter oxydans* sbsp. *industrius* (ВКМ В-1280) содержат в мембране комплекс окислительных ферментов, благодаря которым в биоэлектрохимических системах открывается возможность использования широкого спектра субстратов. Целью данной работы является оценка энергетических параметров биотопливного элемента с применением бактерий *Gluconobacter oxydans* в анодном пространстве.

На первом этапе работы представляло интерес получение кривой роста клеток бактерий *Gluconobacter oxydans* для определения фаз роста и выявления наибольшей каталитической эффективности бактерий при их использовании в качестве биокатализатора в биотопливном элементе. Для получения кривой роста бактерий проводили измерения зависимости оптической плотности клеточной суспензии в зависимости от времени культивирования. Хотя закон Бугера – Ламберта – Бера, связывающий концентрацию раствора с поглощением, строго не применим для растворов, сильно рассеивающих свет, существует зависимость между поглощением света бактериальной суспензией и количеством клеток в ней. Измерение роста клеток после достижения экспоненциальной фазы роста затруднено, что приводит к увеличению ошибки при определении оптической плотности. Однако зависимость оптической плотности от времени достоверно показывает общий характер роста культуры микроорганизмов (рис. 2).

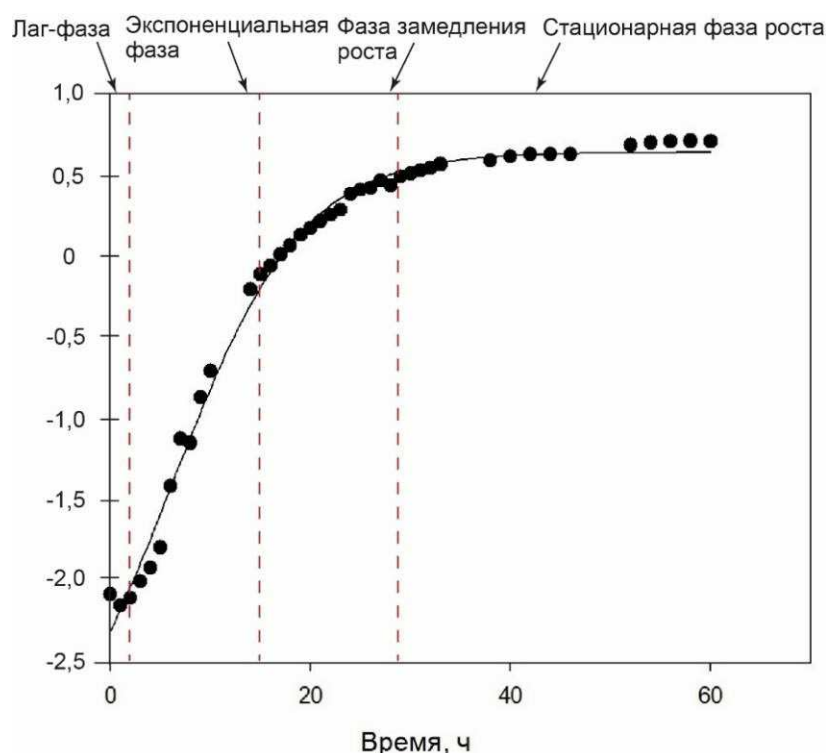


Рис. 2. Кривая роста клеток бактерий *Gluconobacter oxydans*

График зависимости оптической плотности от продолжительности культивирования имеет сигмоидальную форму, характерную для кривых роста микроорганизмов. На графике можно выделить типичные фазы роста: лаг-фаза (от 0 до 2 ч) – период между заражением и началом размножения клеток; экспоненциальная фаза роста (от 2 до 18 ч) – период времени, характеризующийся максимальной постоянной скоростью размножения бактерий и увеличением их числа в геометрической прогрессии; фаза замедления роста (от 18 до 28 ч), стационарная фаза роста (свыше 28 ч) – период, при котором число живых клеток в культуре не меняется.

Представлялось важным провести оценку каталитической эффективности бактерий *Gluconobacter oxydans* на разных стадиях роста в условиях работы БТЭ. Для этого в процессе культивирования проводили отбор суспензии клеток и добавляли в анодное пространство БТЭ. В качестве субстрата использовали глюкозу, в качестве медиаторов – 2,6-дихлорфенолиндофенол в анодном пространстве и гексацианоферрат(III) калия в катодном пространстве. Измерения проводили в режиме замкнутой внешней цепи при внешнем сопротивлении 50 кОм. Зависимость генерируемого потенциала от времени культивирования используемого биокатализатора представлена на рисунке 3.

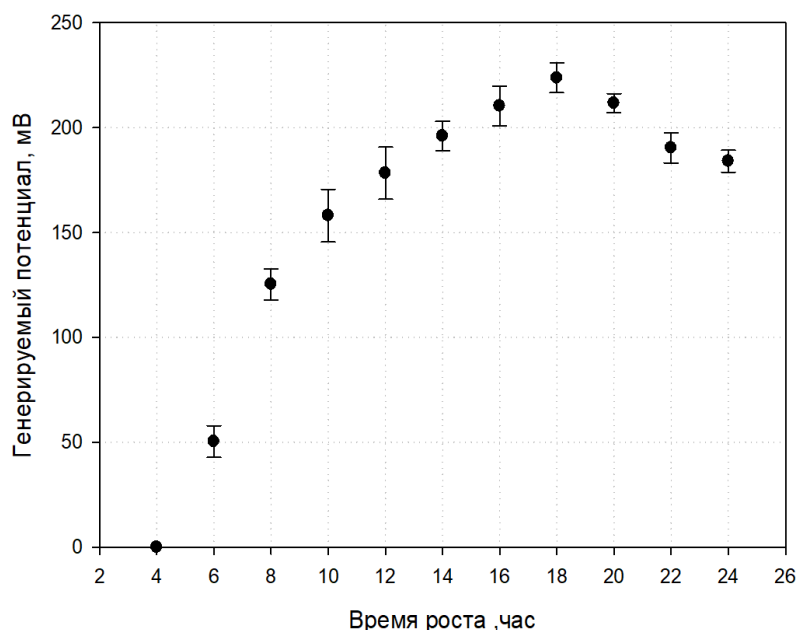


Рис. 3. Каталитическая эффективность бактерий *Gluconobacter oxydans* на разных стадиях роста в условиях работы биотопливного элемента

В диапазоне времени культивирования биомассы от 4 до 18 ч наблюдается возрастание величины генерируемого потенциала, что обусловлено увеличением активности ферментных систем бактерий в экспоненциальной, линейной фазах и фазе замедления роста. После 18 ч культивирования величина генерируемого потенциала снижается. Это связано с переходом бактериальной культуры в стадию стационарного роста и началом фазы отмирания культуры бактерий. Максимальный потенциал ( $212 \pm 6$ ) мВ при использовании двух медиаторов в БТЭ развивается при использовании в качестве биокатализатора клеток бактерий *Gluconobacter oxydans* в поздней стадии замедления роста после 18 ч культивирования. Согласно литературным источникам [12], для достижения высокой эффективности биоэлектрохимических систем используют целые клетки бактерий *Gluconobacter oxydans*, которые были выращены до завершения экспоненциальной фазы роста. В связи с этим, при использовании клеточной суспензии в качестве биокатализатора для анодного пространства БТЭ, бактерии культивировали в течение 16–18 ч.

Полученная после отделения культуральной среды биомасса была использована в качестве анодного биокатализатора в макете микробного биотопливного элемента. В результате эксперимента, который был выполнен в пяти повторностях для статистического анализа данных, получили график зависимости потенциала от времени, представленный на рисунке 4.

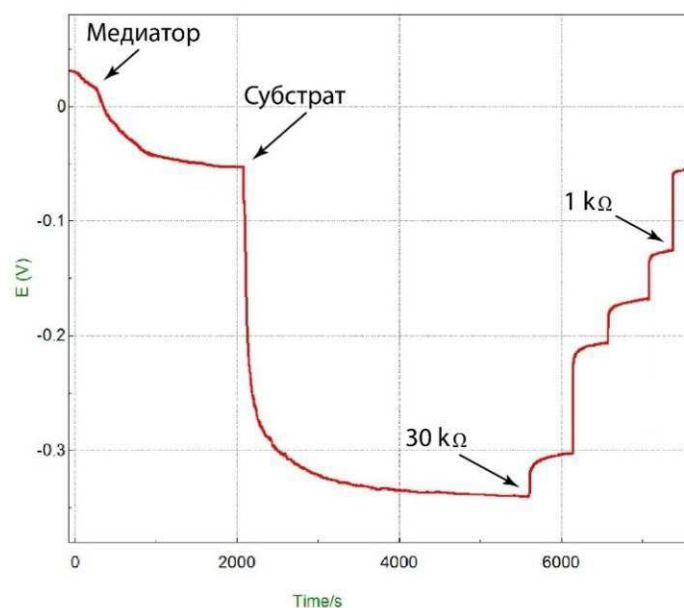


Рис. 4. График зависимости потенциала от времени с использованием в качестве анодного биокатализатора бактерии *Gluconobacter oxydans*

При равенстве внешнего и внутреннего сопротивления получали максимальную мощность, которую рассчитывали по формуле:

$$P_{\max} = \frac{E^2}{R},$$

где  $P_{\max}$  – максимальная мощность БТЭ (Вт),  $E^2$  – генерируемый потенциал (мВ),  $R$  – сопротивление (кОм).

В результате измерений получили следующие энергетические параметры БТЭ. Генерируемый потенциал в режиме замкнутой цепи составлял  $(60 \pm 6)$  мВ. Максимальная мощность достигалась  $(6,6 \pm 0,5) \times 10^{-7}$  Вт с приложенным сопротивлением 13 кОм. Таким образом, полученные данные показывают успешную работу МТЭ с аэробными бактериями *Gluconobacter oxydans*.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № FEWG-2024-0003 (Биокаталитические системы на основе клеток микроорганизмов, субклеточных структур и ферментов в сочетании с наноматериалами).*

#### Библиографический список

1. Liu H., Cheng S., Logan B. E. Power generation in fed-batch microbial fuel cells as a function of ionic strength, temperature and reactor configuration. DOI: 10.1021/es050316c // Environ. Sci. Technol. 2005. Vol. 39. No. 14. P. 5488–5493.
2. Magnetohydrodynamic enhancement of biofuel cell performance / G. Salinas, T. Safarik, M. Meneghello, et al. DOI: 10.1002/chem.202403329 // Chemistry. 2025. Vol. 31. No. 9. Article No. e202403329.
3. An overview of microbial fuel cell usage in wastewater treatment, resource recovery and energy production / C. Munoz-Cupa, Y. Hu, C. Xu, A. Bassi. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142429 // Sci. Total Environ. 2021. Vol. 754. Article No. 142429.

4. Microbial fuel cells: An overview of current technology / A. J. Slate, K. A. Whitehead, D. A. C. Brownson, C. E. Banks. DOI: 10.1016/j.rser.2018.09.044 // Renewable Sustainable Energy Rev. 2019. Vol. 101. P. 60–81.
5. Comparison of different chemical treatments of brush and flat carbon electrodes to improve performance of microbial fuel cells / E. U. Fonseca, W. Yang, X. Wang, et al. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125932 // Bioresour. Technol. 2021. Vol. 342. Article No. 125932.
6. Polymer-based conductive nanocomposites for the development of bioanodes using membrane-bound enzyme systems of bacteria *Gluconobacter oxydans* in biofuel cells / V. Fedina, D. Lavrova, T. Dyachkova, et al. DOI: 10.3390/polym15051296 // Polymers. 2023. Vol. 15. No. 5. Article No. 1296.
7. Dehydrogenases of acetic acid bacteria / Z. Qin, S. Yu, J. Chen, J. Zhou. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2021.107863 // Biotechnol Adv. 2022. Vol. 54. Article No. 107863.
8. Influence of different bacteria *Inocula* and temperature levels on the chemical composition and antioxidant activity of prickly pear vinegar produced by surface culture / I. Es-Sbata, R. Castro, Y. Carmona-Jiménez, et al. DOI: 10.3390/foods11030303 // Foods. 2022. Vol. 11. No. 3. Article No. 303.
9. Dihydroxyacetone production via heterogeneous biotransformations of crude glycerol / M. Ripoll, E. Jackson, J. A. Trelles, L. Betancor. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2021.08.011 // J. Biotechnol. 2021. Vol. 340. P. 102–109.
10. Cyanide sensitivity in direct electron transfer-type bioelectrocatalysis by membrane-bound alcohol dehydrogenase from *Gluconobacter oxydans* / T. Adachi, K. Sowa, Y. Kitazumi, et al. DOI: 10.1016/j.bioelechem.2021.107992 // Bioelectrochemistry. 2022. Vol. 143. Article No. 107992.
11. Bioelectrodes based on pseudocapacitive cellulose/polypyrrole composite improve performance of biofuel cell / M. Kizling, K. Stolarczyk, P. Tammela, et al. DOI: 10.1016/j.bioelechem.2016.01.004 // Bioelectrochemistry. 2016. Vol. 112. P. 184–190.
12. Improved selectivity of microbial biosensor using membrane coating. Application to the analysis of ethanol during fermentation / J. Tkac, I. Vostiar, L. Gorton, et al. DOI: 10.1016/S0956-5663(02)00244-0 // Biosens. Bioelectron. 2003. Vol. 18. No. 9. P. 1125–1134.

## КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ФАКТОРА ПОЛЕМОСТРЕССА В ДОНБАССЕ НА 2025–2027 ГОДЫ

**А. И. Сафонов<sup>1</sup>, Е. А. Гермонова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Донецкий государственный университет,  
г. Донецк, Россия, andrey\_safonov@mail.ru,

<sup>2</sup> Донецкий национальный технический университет,  
г. Донецк, Россия, germonova@mail.ru

На основании выявленных устойчивых тенденций изменения фитоиндикационных показателей в 2022–2024 гг., связанных с фактором военных событий в Донбассе, построена пространственная картографическая модель дальнейшего развития полевострессовой ситуации на следующие три вегетационных сезона. Высказано предположение о диффузном проникновении нео-фактора беспокойства вглубь мониторинговой сети региона.

Ключевые слова: экологический мониторинг, полевостресс, Донбасс, оценка состояния среды, фитоиндикация, прогноз загрязнения.

В актуальном представлении территория Донбасса является зоной затяжного социально-политического конфликта, негативными последствиями которого являются глубокая трансформация природных и исторически сформированных природно-техногенных систем, требующих внедрения прогрессивных технологий восстановления: как функциональной структуры, так и возможности полноценного пользования ресурсным потенциалом региона [1]. Картографическое моделирование постконфликтных зон и (или) процессов милитаризации является востребованной научно-прикладной задачей и реализуется в несколько этапов: при разработке методики визуализации [2] с последующей квантификацией риска и выделения источников опасности [3].

Цель работы – предложить способ построения картографической модели с демонстрацией развития фактора полемостресса в Центральном Донбассе в краткосрочном прогнозе, основываясь на устойчивых тенденциях предыдущего периода наблюдений.

В качестве методической базы для выполнения ГИС-анализа факторов неблагоприятных последствий антропогенных вмешательств в природные балансовые процессы были использованы аналогичные подходы из геоинформационного мониторинга очагов заболеваемости населения [4], гидрогеологических изысканий в условиях импакта объектов техногенеза [5], а также непосредственных разработок ботанико-экологического содержания в регионе [6]. Созданная пространственная визуализация также основывается на многоступенчатом временном анализе комплекса факторов геохимического контраста в Донбассе за годы, предшествующие идентификации полемостресса [7, 8] и в период возникновения новых геохимических аномалий благодаря ретроспективному анализу [9], что также создает предпосылки выстраивать прогнозный сценарий развития доминирующего фактора. Первые целевые попытки моделировать (вычленить) фактор полемостресса по данным фитоиндикационного мониторинга [10] были основаны на уровне проявления атипичного строения индикаторов (тератогенеза) с корреляционным анализом по ингредиентному составу в тканях растений токсичных концентраций элементов предположительно нового генезиса для природных сред.

К анализу выделенного специфического фактора военных событий (полемики, полемостресса) были привлечены характеристики морфолого-функционального статуса 45 индикаторных видов растений, включая представителей мохообразных и цветковых, проявляющих структурную пластичность фенотипического характера в новых геопатогенных зонах.

На рисунке показаны участки мониторинговой сети, ранжированные по 5-ступенчатому интервальному градиенту, совмещающие критерии сохраняющегося техногенного загрязнения с добавлением факторов военного вмешательства на ближайшие три года (2025–2027).



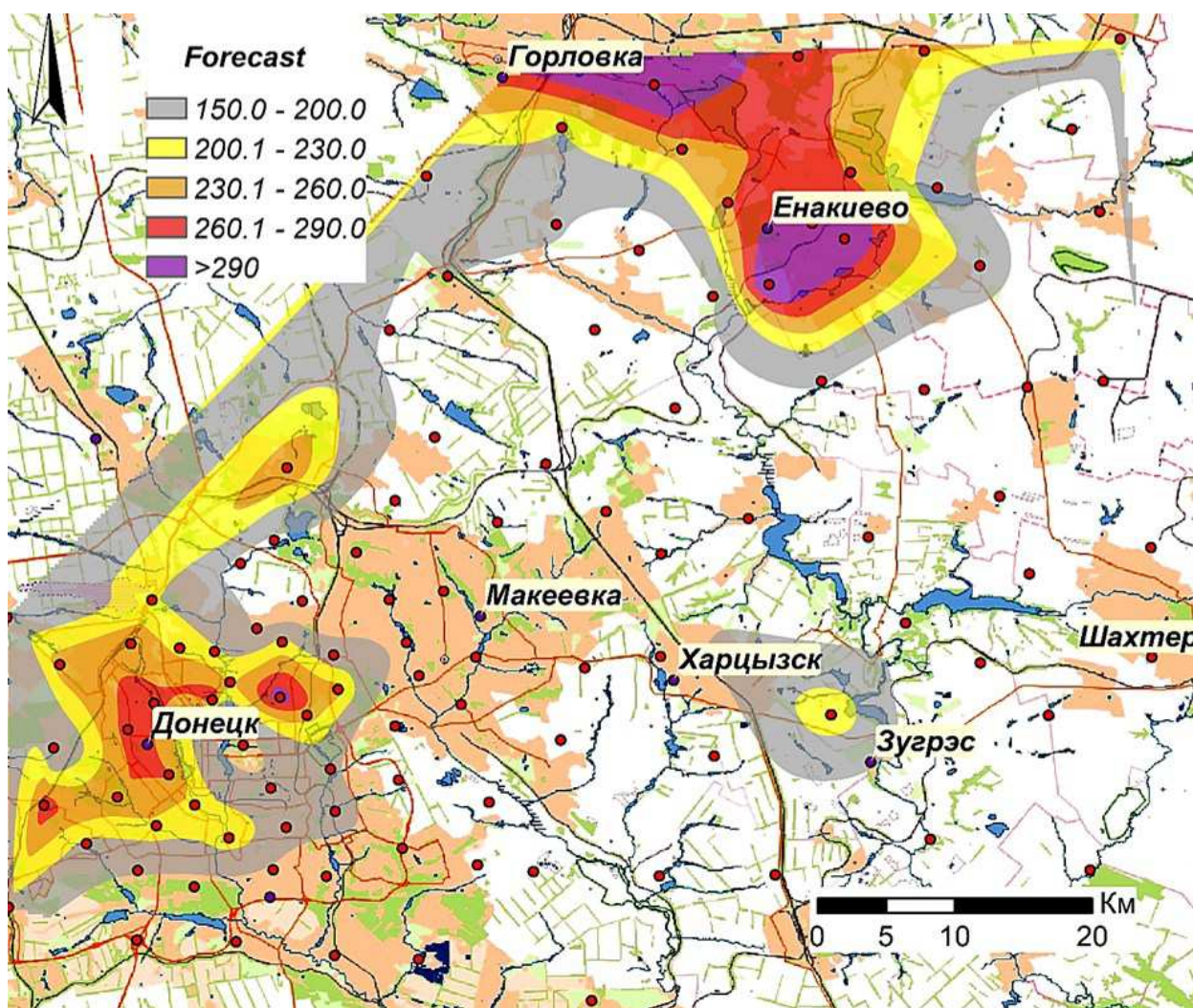


Рис. Прогнозная модель динамики проявления фактора полемостресса в 2025–2027 гг. на территории Центрального Донбасса

Поскольку зоны техногенного импакта сохраняют за собой территориальные ареолы многочисленной регистрации фитопатологий, то под фактором полемостресса на карте (рис.) подразумевается первый визуализированный барьер между неокрашенной частью картосхемы и началом ее заполнения, если значения суммарного тератогенного эффекта выше 150 у.е., но не превышают уровня 200. Квантификация единиц измерения проведена как эмпирически установленный предел всех накопленных атипичных проявлений в учетных стационарах – узлах общей сети мониторинга. Последующие интервалы равноступенчатого увеличения значений (с шагом по 30 у.е.) уже представляют те места, где фактор полемостресса пространственно интегрируется с негативными последствиями техногенеза. Поэтому именно интервал 150–200 является той зоной, в которой происходят новые преобразования, в большинстве случаев нетипичные ранее регистрируемым для растений в условиях промышленного загрязнения.

Предполагаемая специфика смещения полей милитаризационной нагрузки на регион будет характеризоваться диффузным и неравномерным



продвижением вглубь мониторинговой сети от линии соприкосновения противоборствующих лагерей, которая на геополитических конструктах соответствует на сегодня трансекте, соединяющей города Горловку, Ясиноватую, Авдеевку и северные районы Донецка.

Наибольшим информационным ресурсом характеризуются признаки в строении растений семейств астровых и капустных, однако за счет использования мохообразных в осенне-зимний период обеспечивается непрерывный процесс накопления новых данных, корректирующих общую условно фитотоксикологическую ситуацию для всей территории наблюдения. Среди признаков, имеющих ведущее значение в т. ч. при полевой диагностике, выделены тератные проявления вегетативных и генеративных органов растений: фасциация, дистопия, олигомеризация, петализация, гипоплазия, структурные син- и схизо-вариации отдельных парных частей при разных уровнях проявления асимметрии (листовой пластинки, ветвления, архитектоники модульных составляющих тест-организмов). Функциональными критериями также являлись частые случаи проявлений разных категорий хлорозов и некрозов, которые также по своему узору проявлений могут диагностировать специфические загрязнители, или группы токсикантов.

Долгосрочный эксперимент фитоиндикационного мониторинга, целенаправленно проводимого в Донбассе задолго (20 лет) до начала военных событий 2014 г., был нацелен на выделение таких характеристик в строении и функциональной организации растительных организмов широкой экологической амплитуды, которые соответствовали бы требованиям обратной пластичности, то есть являлись бы фенотипическими реакциями на действие факторов техногенного напряжения. Такие признаки за годы многоразовых транслокаций в геолокалитетах были использованы и для идентификации новых признаков возмущения в экотопах, однако для корректных выводов необходимо еще в ближайшие 4–5 лет выполнять проверку, будет ли затронут при этом аппарат наследования. Из предварительных наблюдений уже сделаны выводы, что комплексный химизм милитаризации в Донбассе является причиной первоочередного накопления цинка, кобальта, меди и марганца, а также провоцирует многочисленные абортивные процессы в реализации генеративного способа размножения растений, что также существенным образом трансформирует стратегии выживания видов в нестабильных экологических условиях и стимулирует появление новых адаптивных механизмов с целью самосохранения и поддержания популяционных структур.

*Исследование выполнено в рамках темы «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКТР 124051400023-4).*

#### **Библиографический список**

1. Биоремедиация техногенно деградированных земель после завершения специальной военной операции на территории новых субъектов Российской Федерации / Т. Я. Ашихмина, Л. И. Домрачева, И. П. Погорельский и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-209-217 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 209–217.

2. Пантелеев Д. А., Базарский О. В., Кочетова Ж. Ю. Методика картирования загрязнения почв военных полигонов со значительно измененным рельефом. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-607-618 // Региональные геосистемы. 2023. Т. 47. № 4. С. 607–618.
3. Анализ экологической безопасности военных полигонов по факторам рельефа и геохимического загрязнения почв / Д. А. Пантелеев, О. В. Базарский, Ж. Ю. Кочетова и др. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-2-221-235 // Региональные геосистемы. 2024. Т. 48. № 2. С. 221–235.
4. Геоинформационный мониторинг формирования очагов экологически-обусловленной заболеваемости населения крупных городов при воздействии факторов окружающей среды / С. А. Епринцев, О. В. Клепиков, Н. А. Дьякова и др. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2024/3/135-141 // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2024. № 3. С. 135–141.
5. Мониторинг подземных и поверхностных вод в районе предприятий по утилизации опасных промышленных отходов / Т. Я. Ашихмина, Е. В. Дабах, Г. Я. Кантор и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-4-105-114 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 4. С. 105–114.
6. Влияние новых антропогенных факторов на состояние древесных растений города Донецка / В. О. Корниенко, Р. В. Кишкань, А. С. Яицкий, А. О. Шкиренко. DOI: 10.55355/snv2024134104 // Самарский научный вестник. 2024. Т. 13. № 4. С. 26–32.
7. Morphogenetic abnormalities of bryobionts in geochemically contrasting conditions of Donbass / A. I. Safonov, A. S. Alemasova, I. I. Ziniovsciaia, et al. DOI: 10.1134/s0016702923100117 // Geochem. Int. 2023. Vol. 61. No. 10. P. 1036–1047.
8. Neutron activation analysis of rare earth elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the diagnosis of ecosystems of Donbass / I. Ziniovsciaia, A. Safonov, A. Kravtsova, et al. DOI: 10.1134/S1547477124020158 // Phys. Part. Nuclei Lett. 2024. Vol. 21. No. 2. P. 186–200.
9. Phytomonitoring in Donbass for identifying new geochemical anomalies / I. I. Ziniovsciaia, A. I. Safonov, N. S. Yushin, et al. DOI: 10.1134/S1070363224130048 // Russ. J. Gen. Chem. 2024. Vol. 94. No. 13. P. 3472–3482.
10. Гермонова Е. А., Сафонов А. И. Детализация результатов фитомониторинга полевостресса в Донбассе с использованием ГИС-технологий // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2024. № 1. С. 8–14.

**СЕКЦИЯ 5**  
**ЦИФРОВИЗАЦИЯ:**  
**НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**HYPERSPECTRAL IMAGING COMBINED WITH DEEP LEARNING  
MODELS FOR THE PREDICTION OF GEOGRAPHICAL ORIGIN AND  
FUNGAL CONTAMINATION IN MILLET**

*J. Wang, W. Gao*

*Cangzhou Normal University, Cangzhou, P. R. China,  
wangjian3790@126.com*

This paper firstly develops a deep learning model (wavelet transformation-attention mechanism long short-term memory, WT-ALSTM) by combining hyperspectral imaging to achieve the best prediction effect, the wavelet transformation algorithm effectively eliminates noise in the spectral data, while the attention mechanism module improves the interpretability of the prediction model by selecting spectral feature bands. The integrated model (WT-ALSTM) based on selected feature bands achieves optimal prediction of millet origin, with its accuracy exceeding 99% on both the training and prediction datasets. The combination of hyperspectral imaging with a deep learning model has great potential for rapid quality assessment of millet. This study provides new technical references for developing portable and rapid hyperspectral imaging inspection technology for on-site assessment of agricultural product quality in the future.

**Keywords:** millet, hyperspectral imaging, deep learning model, geographical origin, fungal contamination.

Millet is the seed of the grass species in the family of Poaceae, and it is considered one of the oldest cultivated crops [1]. It originated in the Yellow River basin of China and became one of the major cereal crops in ancient China. At present, China is the main production area for millet, accounting for 80% of the world's production [2]. Millet has rich nutrients and provides various essential amino acids, fats, vitamins, minerals, and other nutritional components for the human body [3–6]. Many pharmacological studies have indicated that millet has various health benefits, including lowering blood glucose levels [7], anti-tumor properties [8], reducing cholesterol levels, as well as antiinflammatory effects [9]. Attributed to its combined medicinal and nutritional value, millet is highly favored in several regions of China [10].

This study aims to: (1) establish a large-scale hyperspectral database for millet from multiple origins; (2) compare the effectiveness of long short-term memory

(LSTM) with traditional machine learning models such as random forest (RF), support vector machine (SVM), and partial least squares discriminant analysis (PLSDA or PLSR) in predicting the origin of millet and the content of fungal toxins, to determine the optimal prediction model; (3) reveal the effects of combining different denoising methods, including multiplicative scatter correction (MSC), wavelet transformation (WT), and standard normal variate (SNV), with prediction models, and determine the optimal combination; (4) evaluate the effectiveness of the deep learning attention mechanism (AM) algorithm in selecting feature bands, to provide more options for reducing the dimensionality of hyperspectral imaging (HSI) data and improving the interpretability of prediction models in the future. This study attempts to achieve rapid quality inspection of millet by combining HSI with deep learning models, thereby providing references for the further development of portable, intelligent agricultural product inspection equipment in the future.

Millet samples were collected from 12 major production areas in 9 provinces of China from October 2022 to January 2023, including three high-quality samples from regions designated with PGI status (Table). In the sample collection, uniformly sized and clean millet seeds were selected and naturally air-dried. All the samples were collected from 10 plots in each production area, and 5 parallel samples (500 g each) were selected from each plot. Finally, 50 samples ( $10 \times 5$ ) were collected from each production area, and 600 sets of HSI data ( $10 \times 5 \times 12$ ) were acquired from all 12 production areas. In terms of origin prediction, to ensure the stability of the samples, the test samples are stored at a low temperature of 4 °C for a long time. Regarding fungal toxin contamination, millet samples were processed in a controlled environment with a temperature of 20 °C and a humidity of 70% for 30 days, resulting in toxin enrichment. After data collection, all samples were processed into 50-mesh powder (stored at a low temperature of 4 °C) for subsequent chemical content analysis (600 sets) to benchmark and correct the prediction effect of the established model.

*Table*

**The distribution of twelve production areas of millet**

| Production areas                                       | Longitude and latitude        |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Mizhi County, Shaanxi Province (SXMZ)                  | 37°48'32"N/110°22'35"E        |
| Longjiang County, Heilongjiang Province (HLJLJ)        | 47°15'55"N/123°12'51"E        |
| Yi'nan County, Shandong Province (SDYN)                | 35°31'31"N/118°20'31"E        |
| Daning County, Shanxi Province (SXDN)                  | 36°28'10"N/110°45'27"E        |
| Shouyang County, Shanxi Province (SXSX)                | 36°42'23"N/112°50'1"E         |
| <b>Wu'an City, Hebei Province (HBWA)</b>               | <b>36°41'48"N/114°17'13"E</b> |
| Yu County, Hebei Province (HBYX)                       | 40°4'2"N/115°0'52"E           |
| <b>Chaoyang City, Liaoning Province (LNCY)</b>         | <b>41°37'51"N/120°31'39"E</b> |
| Qingyang City, Gansu Province (GSQY)                   | 35°42'23"N/107°42'31"E        |
| Fuxin City, Liaoning Province (LNFX)                   | 42°3'28"N/121°6'53"E          |
| Chifeng City, Inner Mongolia Autonomous Region (NMGCF) | 42°16'5"N/118°57'58"E         |
| <b>Qin County, Shanxi Province (SXQX)</b>              | <b>36°42'23"N/112°50'1"E</b>  |

*Note:* The areas marked in bold are regions designated with PGI status.

The LSTM model is a classic deep-learning neural network that can capture long-term dependencies in information. It addresses the common issue of gradient vanishing or explosion in large amounts of spectral data by introducing gate mechanisms. In this study, an LSTM model with 64 hidden units was constructed, and its detailed architecture is illustrated (Fig. 1). In the LSTM layer, two types of states were constructed: the output state (at time step  $t$  denoted as  $ht$ ) and the cell state (at time step  $t$  denoted as  $ct$ ). These states are controlled by input gates ( $it$ ), forget gates ( $ft$ ), cell candidate gates ( $gt$ ), and output gates ( $ot$ ). These gates enable the network to determine whether to discard or add information, thus forgetting and remembering the corresponding information. In the model training process, the LSTM model combines input weights, recurrent weights, and bias parameters with a dropout strategy to ensure a balance between performance and computational complexity, thus preventing overfitting [11]. In the LSTM layer initializer, the parameter settings include “Orthogonal” and “Dropout rate = 0.2.” In the fully connected initializer, the parameter settings include “Kaiming” and “Batch size = 40.” The parameter settings of the optimizer are “Adam,” “Loss = MSE (content prediction),” and “Loss = Cross Entropy (origin prediction).”

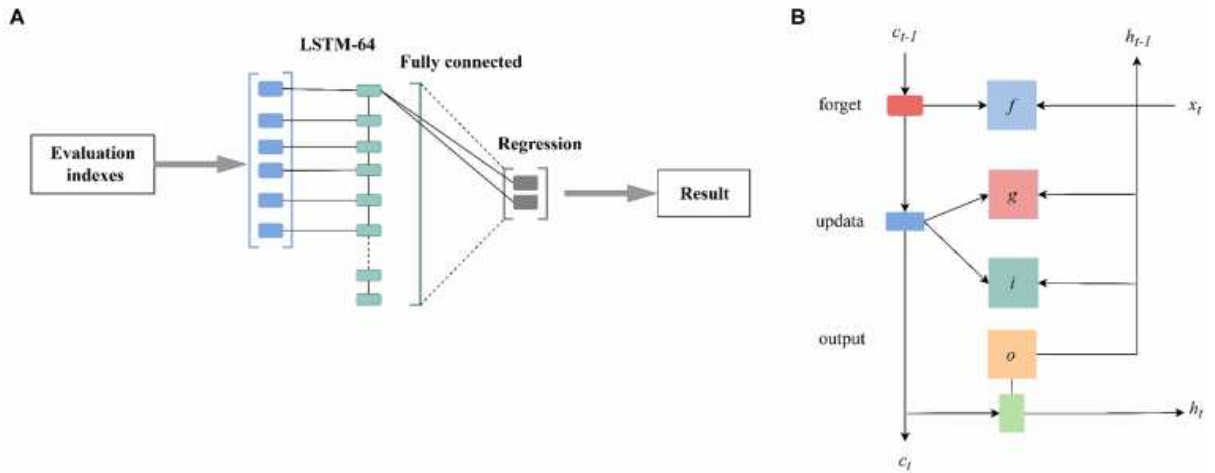


Fig. 1. The structure of the LSTM model.

The LSTM layers have 64 hidden units; two states, namely the output state (time step  $t$  as  $ht$ ) and the cell state (time step  $t$  as  $ct$ ), are constructed in the LSTM layer, and both states are controlled by the input gate ( $it$ ), the forget gate ( $ft$ ), the cell candidate ( $gt$ ), and the output gate ( $ot$ )

The AM originated from research on human vision and it can be employed to extract the important features for variable selection. The screening process of AM involves two steps: (1) calculating the attention distribution on all input information, and (2) computing the weighted average of input information based on the attention distribution [12] (Fig. 2). AM can help the LSTM model eliminate redundant information based on the information content and importance of the target value, thereby enhancing the model’s generalization performance.

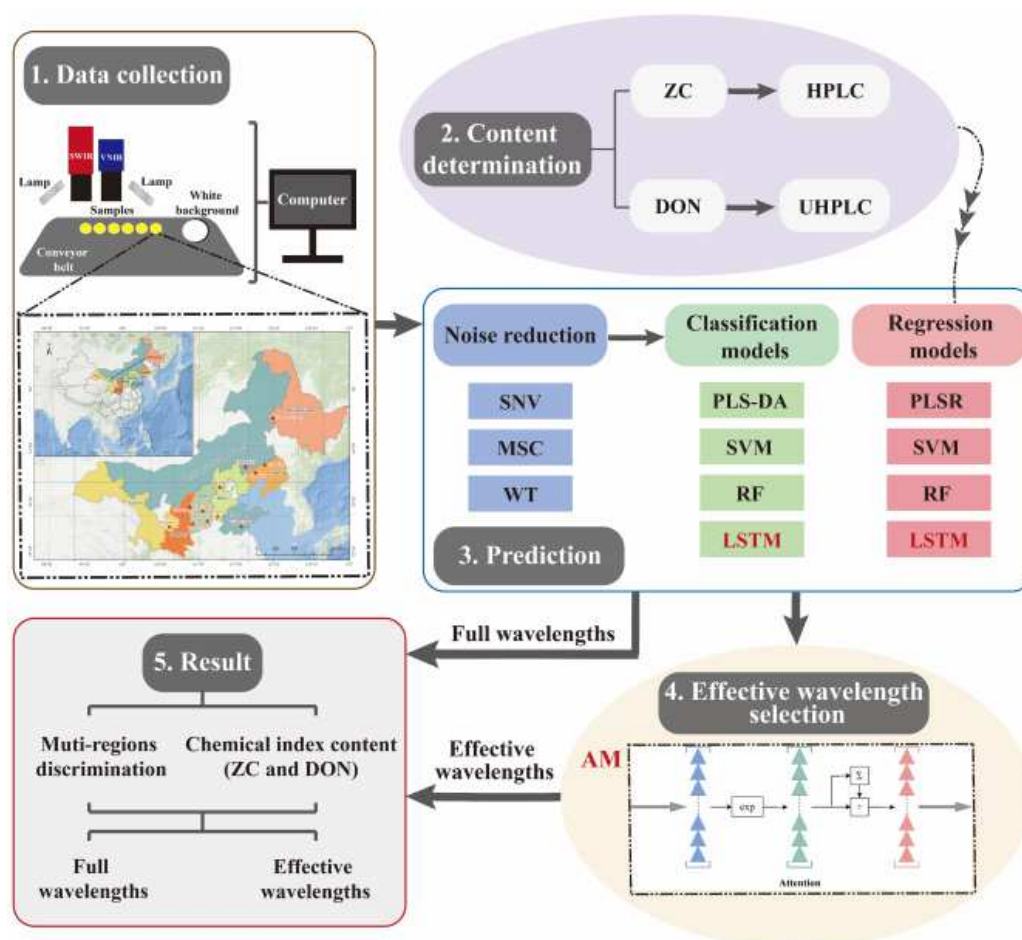


Fig. 2. The workflow of the proposed method.

It mainly includes spectral data acquisition, chemical composition analysis, model prediction (including data denoising, origin discrimination, and content regression prediction), and feature wavelength selection by the AM algorithm (AM focuses on the important part of the target while ignoring the rest by calculating the attention distribution and weighting the average value based on all input information)

In future research, considering the great challenges posed by external environmental factors, simultaneously normalizing and denoising both spectral and chemical content data can suppress the impact of individual differences. Meanwhile, collecting more representative samples from various geographical origins can further improve the applicability and reliability of prediction models. Compared to traditional spectral techniques, HSI has the advantage of acquiring both spectral and image information from samples. With the prominent advantages of deep learning techniques in processing image information, it is necessary to integrate image and spectral information to further develop prediction models for millet samples, thereby broadening the application scope of HSI technology. Moreover, based on the effective wavelengths selected by the AM module in HSI, further efforts should be made to develop specialized, portable, and miniaturized hyperspectral systems to meet the demand for on-site rapid testing in future markets.

## References

1. Early millet use in northern China / X. Yang, Z. Wan, L. Perry, et al. DOI: 10.1073/pnas.1115430109 // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2012. Vol. 109. No. 10. P. 3726–3730.
2. Wu L., Qu L. A review on the resource and processing of the millet. DOI: 10.5555/20183280206 // Food Res. Dev. 2018. Vol. 39. P. 191–196.
3. Feasibility of ergosterol as an index to estimate grain safety degree / X. He, D. Guo, S. Lan, et al. // Grain Storage. 2007. Vol. 6. P. 22–26.
4. Dasa F., Binh L. N. Relation among proximate compositions, rheological properties and injera making quality of millet varieties // Adv. Crop. Sci. Technol. 2020. Vol. 8. Article No. 453.
5. Comparison of nutritional compositions of foxtail millet from the different cultivation regions by UPLC-Q-Orbitrap HRMS based metabolomics approach / L. Yang, R. Li, Y. Cui, et al. DOI: 10.1111/jfbc.13940 // J. Food Biochem. 2021. Vol. 45. No. 10. Article No. e13940.
6. Understanding the multi-scale structure and physicochemical properties of millet starch with varied amylose content / P. Shi, Y. Zhao, F. Qin, et al. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.135422 // Food Chem. 2023. Vol. 410. Article No. 135422.
7. Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) as alternative source of starch and phenolic compounds: a study on twenty-five worldwide accessions / D. Balli, M. Bellumori, A. Masoni, et al. DOI: 10.3390/molecules28176339 // Molecules. 2023. Vol. 28. No. 17. Article No. 6339.
8. Millets as smart future food with essential phytonutrients for promoting health / S. Saleem, N. Mushtaq, W. Shah, et al. DOI: 10.1016/j.jfca.2023.105669 // J. Food. Compos. Anal. 2023. Vol. 124. Article No. 105669.
9. Onipe O., Ramashia S. Finger millet seed coat – a functional nutrient-rich cereal by-product. DOI: 10.3390/molecules27227837 // Molecules. 2022. Vol. 27. Article No. 227837.
10. Millet starch: a review / P. Mahajan, M. B. Bera, P. S. Panesar, A. Chauhan. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.03.063 // Int. J. Biol. Macromol. 2021. Vol. 180. P. 61–79
11. Driver stress detection via multimodal fusion using attention-based CNN-LSTM / L. Mou, C. Zhou, P. Zhao, et al. DOI: 10.1016/j.eswa.2021.114693 // Expert Syst. Appl. 2021. Vol. 173. Article No. 114693.
12. Hybrid lightweight deep-learning model for sensor-fusion basketball shooting-posture recognition / J. Fan, S. Bi, R. Xu, et al. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.110595 // Measurement. 2022. Vol. 189. No. 5. Article No. 110595.

## ВИ-СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

**А. Р. Яворский, В. А. Бродский, И. А. Гордионов, В. А. Василенко**  
*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
г. Москва, Россия, yavorskiy.ya@mail.ru*

В статье представлен опыт разработки интерактивного дашборда на основе данных, полученных в рамках проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для одной из металлургических компаний. Описаны этапы создания аналитической системы, включая сбор, обработку и визуализацию данных. Результаты демонстрируют возможность использования ВИ-инструментов для повышения эффективности управления технологи-

ческими процессами в металлургической отрасли. Предложены рекомендации по дальнейшему внедрению подобных решений.

Ключевые слова: ВІ, металлургическая промышленность, дашборд, визуализация данных.

Металлургическая промышленность – одна из наиболее ресурсоемких отраслей, где ключевыми аспектами являются контроль и оптимизация технологических процессов. В условиях ужесточения экологических норм и требований к качеству продукции предприятия сталкиваются с необходимостью внедрения современных инструментов для анализа и управления данными. Одним из таких инструментов являются ВІ-системы, которые позволяют визуализировать и анализировать большие объемы данных [1–2].

Актуальность данного исследования заключается в том, что использование ВІ-инструментов для анализа данных, полученных в рамках НИОКР, позволяет не только повысить эффективность управления процессами, но и выявить скрытые закономерности, которые могут быть использованы для оптимизации производства. Применение таких систем особенно ценно для металлургических предприятий, где традиционные методы анализа часто не обеспечивают необходимую скорость и глубину обработки информации [1–2].

Цель исследования – разработка интерактивного дашборда для анализа данных, полученных в рамках НИОКР, и демонстрация его применения для повышения эффективности управления технологическими процессами в металлургической компании.

Объектом исследования стали данные, полученные в ходе проведения НИОКР на одном из металлургических предприятий. Данные включали информацию об отслеживаемых показателях технологического процесса очистки сточных вод, таких как: концентрация химических веществ в составе очищаемого стока, качественный и количественный состав вводимых веществ и осадков и др. Для обеспечения полноты анализа были учтены параметры работы оборудования и режимные показатели на каждом этапе очистки. Схема самого технологического процесса представлена на рисунке 1.

Были взяты 2 серии образцов очищаемого стока на каждом функциональном узле, представленном на технологической схеме (рис. 1), с разницей в 2 месяца. Это было сделано для того, чтобы проследить изменчивость состава очищаемого стока и режима очистного оборудования. Измерение массовой концентрации ионов в растворах осуществляли по стандартизированной методике на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ-АФА с пламенным атомизатором и дейтериевым корректором [3]. Полученные данные были подготовлены для загрузки в ВІ-систему, проведены их группировки по различным признакам [4]:

- принадлежность к функциональному узлу;
- вводимые реагенты;
- осадки;



- ионы или вещества, от которых не удалось очистить сток;
- ионы или вещества, которыми сток был повторно загрязнен.

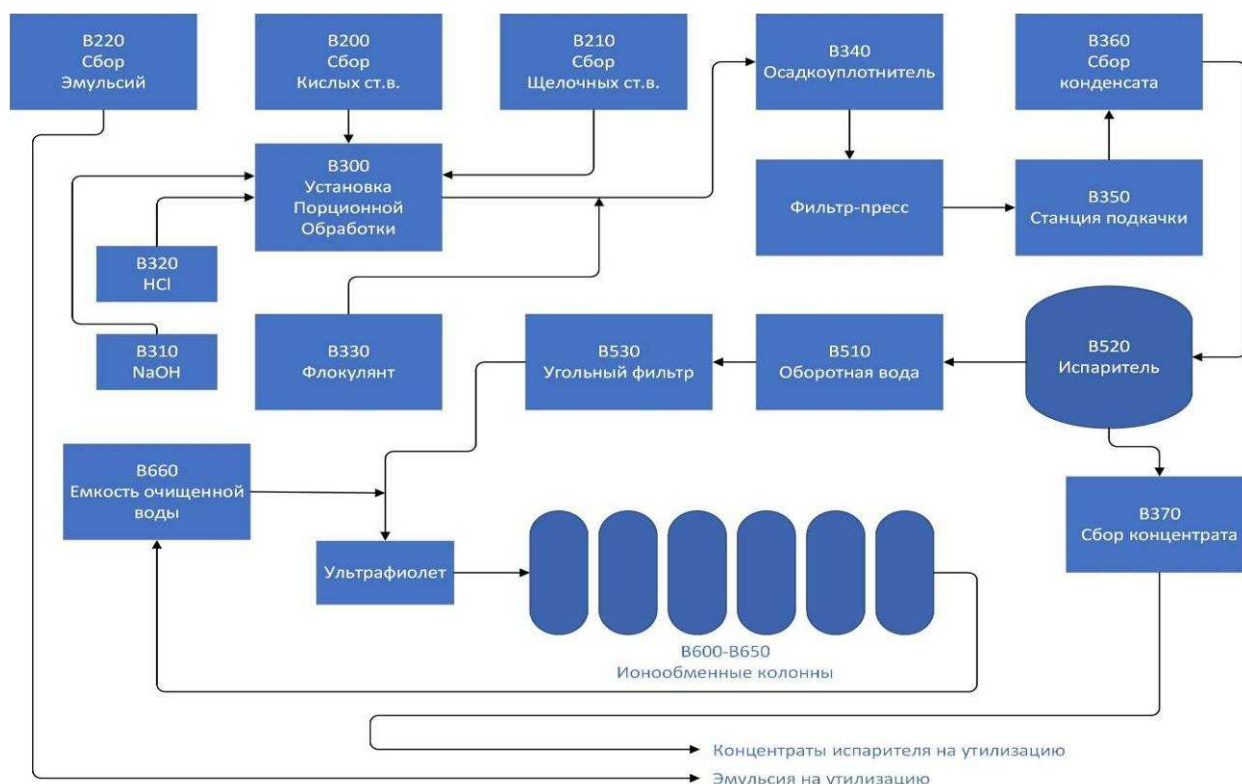


Рис. 1. Действующая технологическая схема очистки

Для анализа данных была использована одна из популярных BI-платформ – Power BI, которая позволяет интегрировать данные из различных источников, создавать динамические отчеты и визуализировать ключевые показатели [2, 4]. Особое внимание при настройке визуализаций было уделено реализации фильтрации данных по стадиям очистки и качественному составу стока, что обеспечило детальный анализ каждого аспекта технологического процесса. В рамках исследования были выполнены следующие этапы:

1. Сбор и предварительная обработка данных.
2. Разработка модели данных (схема представлена на рисунке 2).
3. Создание интерактивного дашборда для визуализации показателей.
4. Анализ данных и выявление закономерностей.

После первого этапа была реализована прямая интеграция между источником данных (в нашем случае использовался MS Excel) и Power BI. MS Excel был выбран в качестве источника в виду того, что выборка данных была малого объема. Также была проведена разработка и построение модели данных.

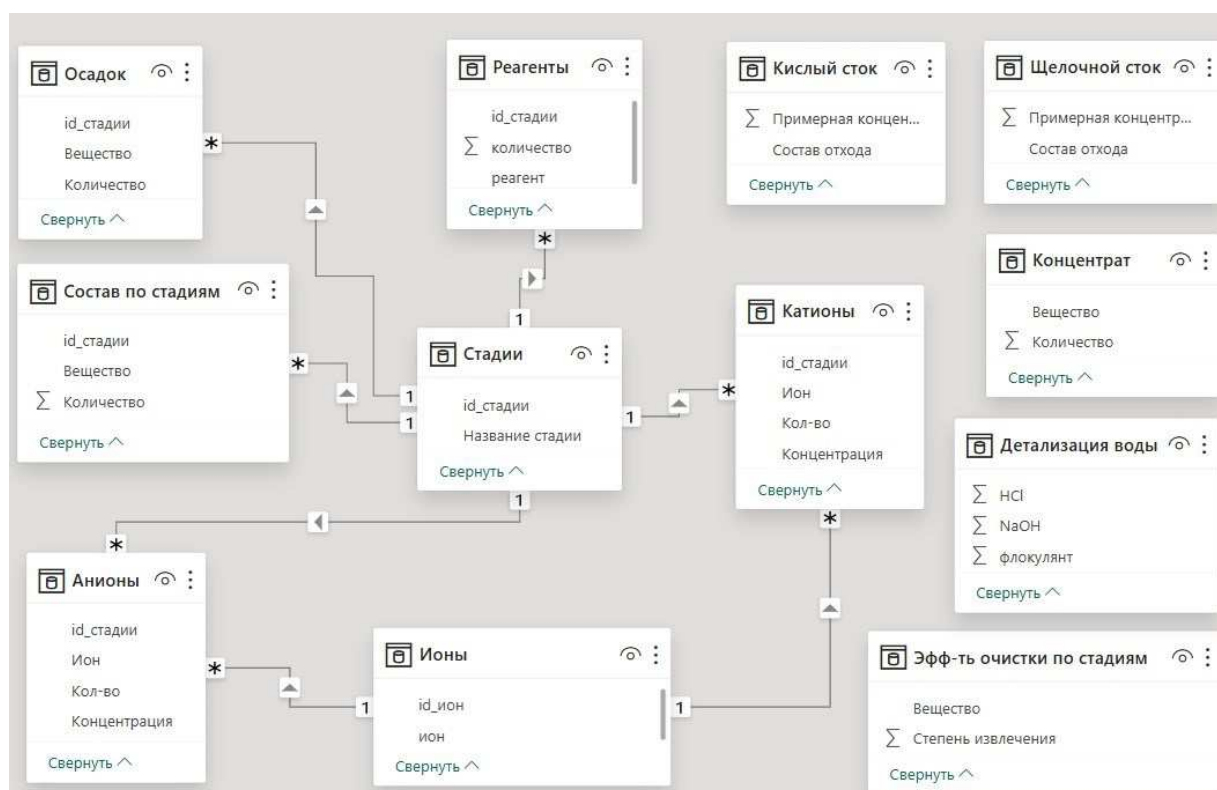


Рис. 2. Логическая модель данных для интерактивного отчета

Применяемая модель данных представляет собой гибридную версию, сочетающую элементы как классической «снежинки» (snowflake schema), так и «звезды» (star schema). К классическим видам схем добавлены ветвления измерений и частично денормализованные таблицы [2].

К преимуществам гибридной модели можно отнести:

- гибкость (можно добавлять детализацию, как в «снежинке»);
- простота запросов к основным фактам, как в «звезде».

К недостаткам относится сложность поддержки из-за комбинации нормализованных и денормализованных таблиц.

В результате проведенного исследования был разработан интерактивный отчет, который позволяет отслеживать ключевые параметры технологических процессов. Одна из вкладок дашборда представлена на рисунке 3. Дашборд включает следующие элементы [4].

- Динамические графики, отображающие изменения концентраций химических веществ.
- Таблицы с историческими данными, позволяющие проводить сравнительный анализ.
- Интерактивные фильтры для детализации данных по конкретным этапам процесса и отслеживаемым показателям.

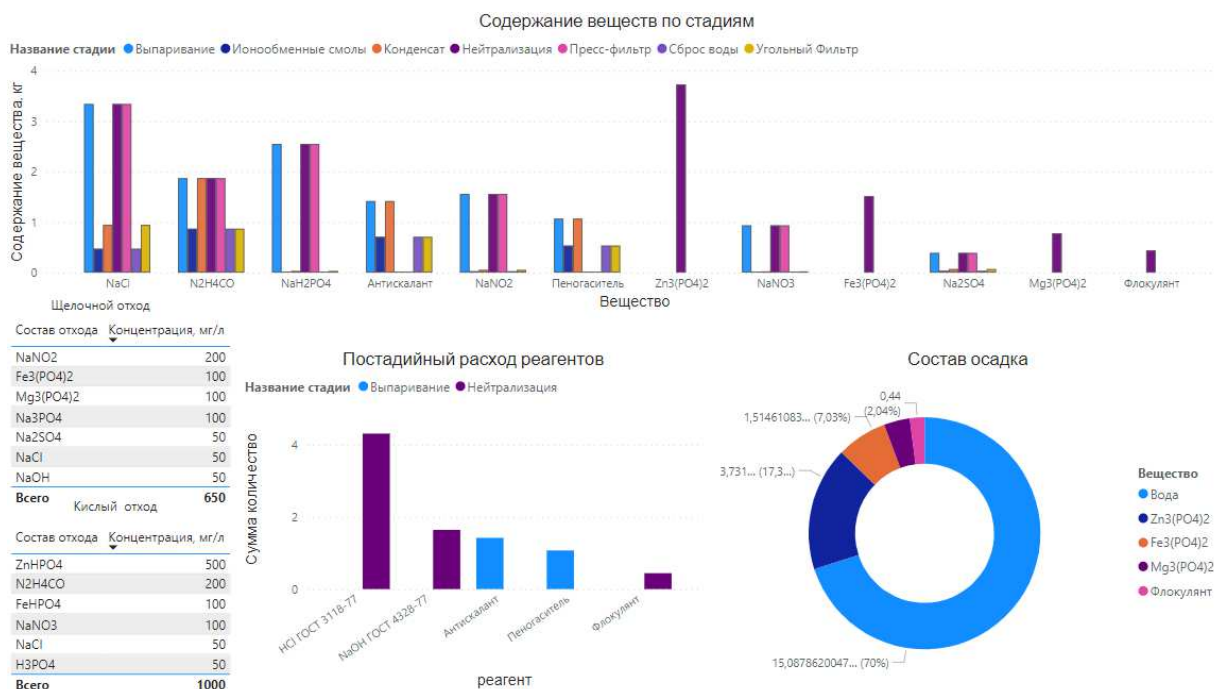


Рис. 3. Вкладка интерактивного отчета – «Общий слайд»

Было реализовано 3 вкладки отчета: «Детализация ионов-загрязнителей» «Общий слайд», «Детализация реагентов и осадков». Каждая вкладка посвящена своей тематике и содержит специализированные визуализации:

– «Детализация ионов-загрязнителей» содержит информацию об ионном составе стока на каждой стадии с возможностью просмотра как суммарного количественного состава, так и (с помощью фильтров) выбора конкретных ионов для отслеживания; вкладка дашборда представлена на рисунке 4.

– «Общий слайд» содержит основную информацию об очищаемом стоке и включает таблицы с отображением составов исходных стоков, гистограммы для отслеживания очистки веществ по стадиям и расхода реагентов, а также кольцевую диаграмму состава осадка.

– «Детализация реагентов и осадков» содержит подробную информацию по затрачиваемым реагентам, удаляемых из стока веществам и степени их извлечения, а также детализацию по расходу воды.

В ходе работ были выявлены недостатки действующей схемы очистки, а анализ данных с использованием дашборда позволил выявить несколько неявных проблем:

1. Нарушение режима работы оборудования и замены расходных материалов (отстойник, пресс-фильтр, угольный фильтр).
2. Отсутствие резервного оборудования, что приводило к остановке всего процесса очистки (угольный фильтр).
3. Снижение эффективности химических реакций (отстойник).
4. Повторное загрязнение (испаритель).

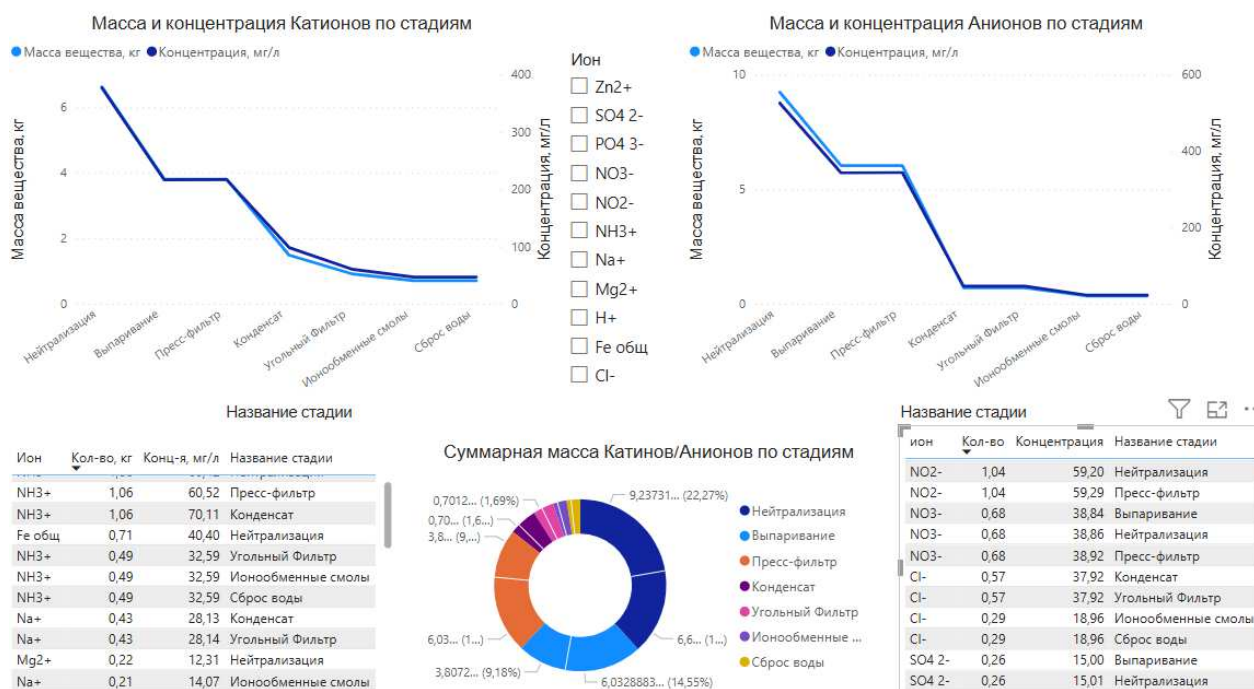


Рис. 4. Вкладка интерактивного отчета – «Детализация ионов-загрязнителей»

На основе полученных данных были предложены рекомендации по оптимизации технологических процессов, включая внедрение резервного и дополнительного оборудования на некоторых этапах очистки (для обеспечения непрерывного процесса очистки) и внедрение автоматизированных систем контроля.

Исследование показало, что использование BI-инструментов для анализа данных, полученных в рамках НИОКР, позволяет повысить эффективность управления технологическими процессами в металлургической отрасли. Разработанный интерактивный отчет демонстрирует возможность интеграции данных из различных источников и их визуализации для оперативного принятия решений. В дальнейшем рекомендуется расширить функциональность дашборда за счет интеграции данных с других участков производства, что позволит создать централизованную систему мониторинга и повысить общую эффективность и прозрачность предприятия.

### Библиографический список

1. Соловьева А. В., Яшалова Н. Н. Необходимость цифровизации отрасли черной металлургии // Современные тенденции и инновации в науке и производстве : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (г. Междуреченск, 15 апреля 2020 г.). Междуреченск : Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева, 2020.
2. Разработка базы данных для информационного обеспечения переработки опасных промышленных отходов / Д. В. Ильин, Г. Н. Семенов, В. А. Бродский, А. В. Колесников // Успехи в химии и химической технологии. 2023. Т. 37. № 11 (273). С. 78–80.
3. Атомно-абсорбционный спектрометр Квант-АФА [Электронный ресурс]. – URL: <https://granat-e.ru/kvant-afa.html> (дата обращения: 25.03.2025).
4. Документация по Power BI – Power BI [Электронный ресурс] // Microsoft Learn. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/power-bi/> (дата обращения: 25.03.2025).

## ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ

**И. А. Гордионов, В. А. Бродский, А. Р. Яворский,  
А. Е. Лебедев, В. А. Василенко**

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
г. Москва, Россия, vladimir\_brodsky@mail.ru*

Проведены работы по разработке базы данных, веб-приложения и моделированию технологической линии по обезвреживанию промышленных кислых стоков, разработанной в Российском химико-технологическом университете имени Д. И. Менделеева. Для разработки базы данных использовалась объектно-реляционная система управления базами данных (СУБД) с открытым исходным кодом – PostgreSQL. Веб-приложение было написано на языке программирования Python с использованием фреймворка Django. Результатом разработки стала комплексная система веб-приложения для водоподготовки и очистки стоков, работа которого проверялась с помощью моделирования эксперимента процесса очистки хромсодержащего стока.

Ключевые слова: база данных, утилизация отходов, промышленные технологии.

Повсеместное использование воды в промышленности неизбежно приводит к образованию жидких техногенных отходов, содержащих широкий спектр загрязняющих веществ. Загрязненные стоки представляют серьезную угрозу для здоровья человека и окружающей среды. При попадании в водоемы загрязненные или недостаточно очищенные сточные воды приводят к загрязнению экосистем, распространению заболеваний и наносят ущерб экономике [1–2]. В связи с этим очистка сточных вод является критически важной задачей, требующей постоянного развития и совершенствования. Эффективные методы очистки позволяют удалять загрязняющие вещества из стоков, делая воду пригодной для повторного использования, снижая нагрузку на природные ресурсы и минимизируя негативное воздействие на окружающую среду.

Актуальность темы автоматизированного проектирования систем очистки сточных вод обусловлена растущим увеличением объемов производств и внедрением сложных многоступенчатых химико-технологических процессов, что приводит к образованию техногенных отходов сложного состава. Вариативность экологических требований различных регионов страны делает не в полной мере возможным применение шаблонных решений для переработки жидких отходов и сточных вод. Это стимулирует разработку автоматизированных и адаптивных технологических решений для проектирования [3–4]. Процессы разработки технологий очистки и водоподготовки можно



упростить с помощью использования разнообразных программных комплексов. Однако на данный момент существует не так много программного обеспечения (ПО), которое возможно использовать для данных целей. В качестве примера можно привести CHEMCAD и Aspen HYSIS [5–6]. Отечественный рынок ПО представлен узконаправленными продуктами для проектирования отдельных видов систем очистки (например, обратного осмоса – ROSA [7]).

Разрабатываемое программное обеспечение будет делиться на две части: Back-end и Front-end. Back-end включает в себя логическую часть, для реализации которой используются: язык программирования Python, база данных PostgreSQL, система поддержки принятия решений, веб-фреймворк Django. Работа с массивами и таблицами осуществляется с помощью библиотеки Pandas, для работы с анализом данных используется библиотека SciPy, а для математических расчетов – NumPy. Front-end состоит из графической части интерфейса, для реализации которой используются: язык гипертекстовой разметки для страниц веб-сайтов HTML, язык программирования JavaScript. Для оценки построения аппаратно-технологических схем будет использован CHEMCAD.

В статье описаны структура базы данных для водоподготовки, которая входит в состав ПО, а также процесс моделирования очистки кислых техногенных отходов. В разрабатываемой базе данных присутствует информация о классификации отходов по ФККО, нормативной документации, методах очистки, блок-схемах технологических процессов, реагентах, используемых для очистки сточных вод и отработанных технологических растворов, оборудовании, системах контроля и аппаратно-технологических схемах.

Разрабатываемое веб-приложение делится на две части – клиентская и серверная. Структура клиентской и серверной части представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Структура клиентской и серверной части базы данных

В клиентской части пользователь веб-приложения в начале работы вводит исходные данные по содержанию компонентов в стоках (ионы металлов, органические соединения, анионы кислотных остатков и другие). После цикла работы программы пользователь получит блок-схему и аппаратно-технологическую схему процесса очистки сточных вод, спецификацию оборудования и циклограмму Ганта. В серверную часть входят базы, в которых хранится информация о реактивах, методах очистки, оборудовании, ФККО, нормативных документах и базовых схемах очистки. Все таблицы, входящие в серверную часть, связаны между собой. Пример связей представлен на рисунке 2.

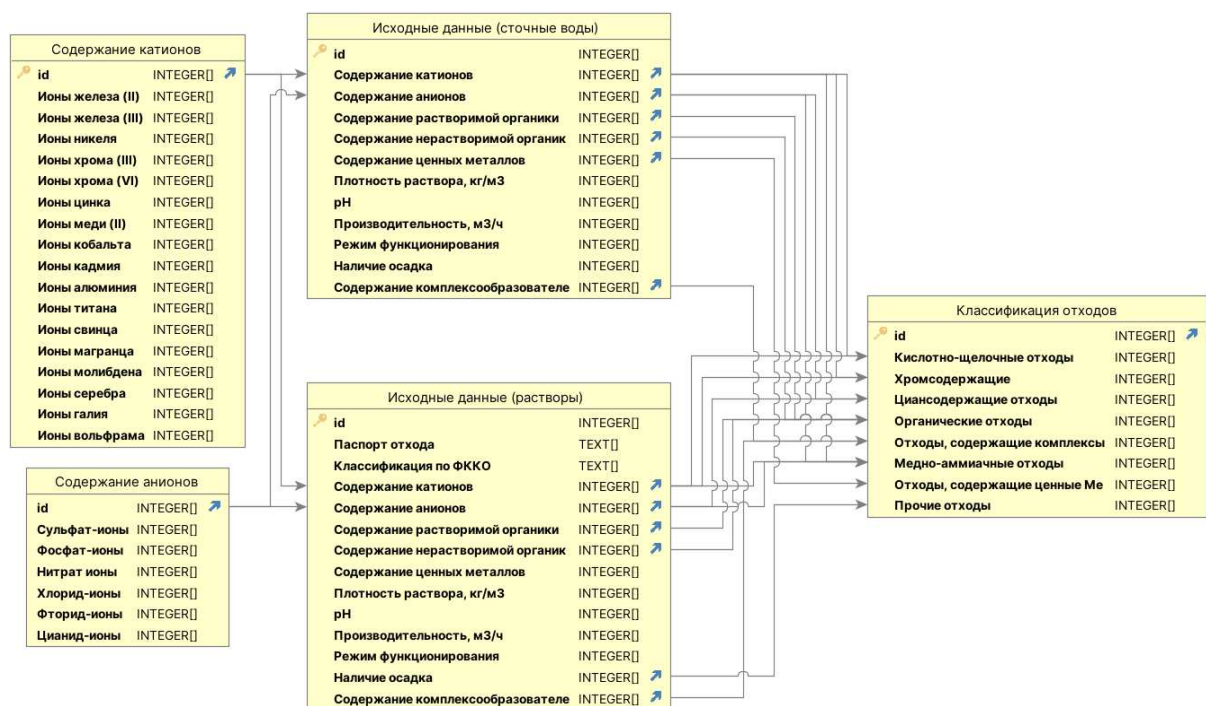


Рис. 2. Связи между таблицами базы данных в DBVisual

На рисунке 2 приведены несколько таблиц, с которых начинается работа веб-приложения. В первых двух таблицах представлен состав катионов и анионов, которые могут содержаться в сточных водах. Работа веб-приложения разделена на две части: очистка разбавленных сточных вод и очистка концентрированных технологических растворов. Таблицы с исходными данными относятся к клиентской части, т. к. в них содержатся категории, которые должен заполнить пользователь при работе с веб-приложением. Далее следует таблица классификации отходов.

После этого осуществляется выбор метода очистки и построение блок-схемы технологического процесса. На рисунке 3 представлен пример очистки хромосодержащих сточных вод, включающий три основные ступени. Первая ступень очистки состоит из стадии восстановления шестивалентного хрома. Во второй ступени происходит осаждение хрома и других черных металлов (железа, алюминия, титана, pH = 6–7). Третья ступень очистки заключается в

выделении цветных металлов, таких как никель, медь, цинк и др. с рН образования гидроксидов 9–10. Последней стадией является обессоливание растворов. Технология обессоливания подбирается в автоматическом режиме в зависимости от солевого фона.

| I ступень очистки |                              |                | II ступень очистки           |            |                              |                |                              | III ступень очистки |                              |                |                              |            |                              |                | Доочистка                    |
|-------------------|------------------------------|----------------|------------------------------|------------|------------------------------|----------------|------------------------------|---------------------|------------------------------|----------------|------------------------------|------------|------------------------------|----------------|------------------------------|
| 1                 | 2                            | 3              | 4                            | 5          | 6                            | 7              | 8                            | 9                   | 10                           | 11             | 12                           | 13         | 14                           | 15             | 16                           |
| Усреднение        | Коррекция рН до 2-3 значений | Восстановление | Коррекция рН до 6-7 значений | Усреднение | Коррекция рН до 2-3 значений | Восстановление | Коррекция рН до 6-7 значений | Усреднение          | Коррекция рН до 2-3 значений | Восстановление | Коррекция рН до 6-7 значений | Усреднение | Коррекция рН до 2-3 значений | Восстановление | Коррекция рН до 6-7 значений |

Рис. 3. Блок-схема технологического процесса очистки хромосодержащих сточных вод

Для описания полученной блок-схемы и дальнейших расчетов был написан код на языке программирования Python. Небольшой фрагмент кода представлен на рисунке 4.

```
def stage_2(previous_stage):
    """Стадия 2: Осаждение Cr(OH)3, Fe(OH)3 и Al(OH)3 при рН 6–7"""
    print("\nСтадия 2: Осаждение гидроксидов")
    masses = molecular_mass()
    concentrations = previous_stage["concentrations"].copy()

    # Добавление NaOH для поднятия рН
    naoh_mass = 100.0 # Условная потребность в NaOH (мг/л), расчет можно улучшить
    concentrations["OH1-"] += naoh_mass

    # Определяем осаждающиеся гидроксиды
    precipitates = {}
    for ion, hydroxide in {
        "Cr3+": "Cr(OH)3",
        "Fe3+": "Fe(OH)3",
        "Al3+": "Al(OH)3",
    }.items():
        if concentrations[ion] > 0:
            mol_per_liter = concentrations[ion] / masses[ion]
            precipitates[hydroxide] = mol_per_liter * masses[hydroxide]
            concentrations[ion] = 0 # После осаждения ионы удаляются из раствора
```

Рис. 4. Фрагмент кода 2 ступени очистки хромосодержащих сточных вод на языке программирования Python

Для описания процесса расчета очистки хромосодержащих сточных вод в коде, написанном на языке программирования Python, задавались молярные массы компонентов, которые участвуют в процессе очистки. На рисунке 4 в



фрагменте кода подробно описана вторая ступень очистки – выделения хрома, железа и алюминия из раствора в виде их гидроксидов при значениях pH в диапазоне от 6 до 7. С помощью модулей и библиотек, входящих в состав Python, удастся рассчитать точное количество щелочи (NaOH) для осаждения ионов черных металлов. Данные расчеты являются основой материального баланса в веб-приложении и необходимы для дальнейшего построения аппаратно-технологической схемы и составления заказной спецификации оборудования и реактивов.

Таким образом, в работе показаны основные этапы создания базы данных для автоматического проектирования систем переработки жидких отходов с использованием программных продуктов: PostgreSQL для разработки базы данных, DBVisual для отображения связей в таблицах базы данных, Python для математического описания технологического процесса. Заключительной задачей является создание оболочки клиентской части в Django и автоматизация подбора технологического оборудования, в т. ч. создание аппаратно-технологической схемы и циклограммы процесса с использованием материалов, загруженных в серверную часть базы данных.

#### **Библиографический список**

1. Wastewater treatment methodologies / M. E. A. Raouf, N. E. Maysour, R. K. Farag, A. R. M. Abdul-Raheim // *Int. J. Environ. Agric. Sci.* 2019. Vol. 3. No. 1. Article No. 18.
2. Опыт разработки и реализации промышленных технологий по утилизации отходов I и II классов опасности / В. А. Бродский, Д. А. Сахаров, А. В. Колесников, Ю. О. Малькова // *Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения* : сб. науч. трудов по материалам 2-й Всерос. науч.-практ. конф. Саратов : ООО «Амирит», 2022. С. 211–215.
3. Ghernaout D., Aichouni M., Alghamdi A. Applying Big Data in water treatment industry: a new era of advance // *International Journal of Advanced and Applied Sciences*. 2018. Vol. 5. P. 89–97.
4. Toward modeling and optimization of features selection in Big Data based social Internet of Things / A. Ahmad, M. Khan, A. Paul, et al. DOI: 10.1016/j.future.2017.09.028 // *Future Gener. Comput. Syst.* 2018. Vol. 82. P. 715–726
5. CHEMCAD | Chemical Engineering Simulation Software: [website]. – URL: <https://chemstations.com/chemcad> (accessed: 17.03.2025).
6. Aspen HYSYS | Process Simulation Software | AspenTech: [website]. – URL: <https://www.aspentech.com/en/products/engineering/aspen-hysys> (accessed: 17.03.2025).
7. ROSA Software: [website]. – URL: <https://www.dupont.com/water/resources/rosa-software.html> (accessed: 17.03.2025).

## СЕКЦИЯ 6 СОЦИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

### **SOCIAL ECOLOGY AND PUBLIC HEALTH: AN INTERDISCIPLINARY APPROACH TO SUSTAINABLE WELL- BEING**

***Dr. Rohan Singh Kushwah. PT***

*Dr. C. V. Raman University, Khandwa (M. P.), India,  
rohansinghkushwah@cvrump.ac.in*

Public health is significantly influenced by the interplay between social, environmental, and behavioural factors. Social ecology, as a framework, provides a comprehensive understanding of how these factors interact to shape health outcomes. This paper explores the relationship between social ecology and public health by examining various determinants such as socioeconomic status, urbanization, community networks, environmental sustainability, and policy interventions. Using primary and secondary data sources, this study highlights how social ecology can inform effective public health strategies. The findings suggest that an integrated, multi-level approach is essential for addressing public health challenges sustainably.

**Keywords:** social ecology, public health, environmental determinants, health policy, community well-being, sustainable health systems.

Public health is not solely a product of medical interventions; it is deeply influenced by social, economic, and environmental factors. The social ecological model (SEM) considers multiple levels of influence – individual, interpersonal, community, organizational, and policy levels – that shape human health. Understanding these interactions is critical for designing effective public health interventions.

This study investigates the role of social ecology in public health, with a focus on how social structures, community networks, and environmental factors contribute to health outcomes. The paper aims to provide evidence-based insights into the effectiveness of an ecological approach in addressing contemporary public health issues.

The Social Ecological Model (SEM), developed by Bronfenbrenner [1], provides a framework for analyzing how individuals interact with their social and physical environments. The model consists of five levels:

1) individual level: personal behaviours, genetic predispositions, and psychological factors affecting health;

- 2) interpersonal level: social relationships, family support, and peer influences on health behaviour;
- 3) community level: neighbourhood characteristics, social cohesion, and community resources;
- 4) organizational level: workplace, educational institutions, and healthcare systems' role in shaping health outcomes;
- 5) policy level: government regulations, public health policies, and international health frameworks.

Environmental determinants of public health. The environment plays a crucial role in public health, with factors such as air and water quality, housing conditions, and access to green spaces influencing overall well-being. Studies have shown that environmental stressors contribute to chronic diseases, mental health disorders, and reduced life expectancy [2].

Socioeconomic and behavioural factors. Economic disparities significantly impact health outcomes. Low-income communities often experience higher rates of malnutrition, infectious diseases, and mental health issues due to limited access to healthcare and education [3]. Behavioural factors such as diet, exercise, and substance use are also influenced by social and economic conditions.

Role of community engagement in public health. Community participation enhances the effectiveness of public health initiatives. Programs that involve local stakeholders in decision-making processes tend to have higher success rates in disease prevention and health promotion [4].

This research follows a mixed-method approach combining both qualitative and quantitative data.

Primary data collection. Survey was conducted among 500 individuals across different socioeconomic backgrounds in urban and rural settings to assess their health behaviours and environmental conditions. Public health officials, community leaders, and environmental experts were interviewed with semi-structured interviews. Community health programs that have successfully implemented social ecological strategies were analysed.

Secondary data collection. We reviewed public health reports: data from WHO, CDC, and national health organizations, as well as examined demographic trends and their impact on health (census data analysis). We also evaluated health policies from different countries that integrate social ecology principles.

Survey results revealed that individuals from lower-income groups had significantly higher rates of chronic diseases such as diabetes and hypertension. Lack of access to healthcare and unhealthy living conditions were major contributing factors.

Data indicated that air pollution and poor sanitation in densely populated urban areas led to increased respiratory diseases and waterborne infections. Green spaces were found to have a positive impact on mental and physical health.

Case studies of community-driven health initiatives showed that strong social networks improved vaccination rates and preventive healthcare behaviors. Rural

communities with active local health volunteers had better maternal and child health outcomes.

Analysis of global health policies revealed that countries with integrated social-ecological health policies, such as Sweden and Canada, had better public health indicators than those relying solely on biomedical interventions.

### **Recommendations**

1. Integrated Policy Frameworks: Governments should adopt a multi-level approach that includes environmental sustainability, economic support, and social empowerment in health policies.

2. Community-Based Health Programs: Strengthening community health initiatives can improve participation and ensure more sustainable health outcomes.

3. Environmental Health Improvements: Investments in clean air, water, and urban planning can significantly reduce disease burden.

4. Health Equity Strategies: Policies should focus on reducing health disparities by providing universal healthcare access and targeted social support.

5. Public Awareness Campaigns: Education on lifestyle changes, environmental conservation, and disease prevention should be prioritized.

The study reinforces the importance of a social ecological approach in public health. Health outcomes are determined not only by medical care but also by socio-economic conditions, environmental factors, and community structures. Integrating social ecology principles into public health policies and interventions can lead to more sustainable and effective health improvements. Future research should explore longitudinal impacts of social-ecological strategies on global health outcomes.

### **References**

1. Bronfenbrenner U. The ecology of human development: experiments by nature and design. DOI: 10.4159/9780674028845. Cambridge, MA : Harvard University Press, 1979. 330 p.
2. World Health Statistics 2023 : monitoring health for the SDGs, sustainable development goals [Internet resource]. – URL: <https://digitallibrary.un.org/record/4050652?v=pdf> (assessed: 04.03.2025).
3. Marmot M. The health gap: the challenge of an unequal world. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)00150-6 // Lancet. 2015. Vol. 386. No. 10011. P. 2442–2444.
4. Putnam R. D. Bowling alone: the collapse and revival of American community. New York, Simon & Schuster Paperbacks, 2000. 541 p.

# OPTIMIZING NUTRITION AND LIFESTYLE IN POLYCYSTIC OVARY DISORDER (PCOD): A COMPREHENSIVE APPROACH TO WOMEN'S HEALTH

***Dr. Fiona Edwards (P.T)***

*Dr. C. V. Raman University, Khandwa (M. P.), India,  
fionaarisedwards7@gmail.com*

This paper explores the relationship between nutrition, lifestyle, and polycystic ovary disorder (PCOD) management, examining evidence for various dietary approaches and lifestyle interventions in symptom alleviation. It reveals that personalized nutrition planning, emphasizing whole foods, fruits, vegetables, whole grains, lean proteins, and healthy fats, can improve insulin sensitivity, hormone regulation, and overall health in women with PCOD. Additionally, lifestyle modifications such as regular physical activity, stress management techniques, and adequate sleep can further alleviate symptoms and enhance quality of life. It shows that lifestyle modification, including dietary changes and physical activity, can lead to significant improvements in PCOD symptoms, including weight loss, improved insulin sensitivity, and enhanced hormone regulation.

**Keywords:** PCOD, nutrition strategy, lifestyle modification, quality of life, women's health, insulin sensitivity, hormone regulation.

Polycystic ovary disorder (PCOD) is a complex and multifaceted endocrine disorder that affects millions of women worldwide. Characterized by hormonal imbalances, ovulatory dysfunction, and metabolic complications, PCOD can have a profound impact on a woman's quality of life, fertility, and overall health [1].

PCOD remains poorly understood, and many women struggle to access accurate diagnosis, effective treatment, and comprehensive care. The symptoms of PCOD can be debilitating, ranging from irregular menstrual cycles, weight gain, and acne to infertility, anxiety and depression [2].

The complexity and variability of PCOD symptoms necessitate a multidisciplinary approach to care, incorporating medical, nutritional, and lifestyle interventions [3].

This paper aims to provide a comprehensive overview of the current addressing PCOD symptoms, highlighting the interconnections between medical, nutritional and lifestyle interventions.

Common PCOD symptoms: irregular periods, infertility, anxiety, weight gain, depression, acne, hair loss, fatigue, cravings, skin tags, mood swings, unwanted hair, poor body image [4].

PCOD is associated with an increased risk of fertility, metabolic syndrome, type 2 diabetes, and cardiovascular disease.

Methods to address PCOD symptoms may be divided into three groups.

1. Medical interventions:

- Hormonal therapies investigate the efficacy of hormonal therapies, such as birth control pills, anti-androgens, and fertility medications, in managing PCOD symptoms;

- Anti-diabetic medications examine the effects of anti-diabetic medications, such as metformin, on insulin sensitivity and PCOD symptoms;

- Fertility treatments evaluate the effectiveness of fertility treatments, such as ovulation induction and in vitro fertilization(IVF), in women with PCOD.

## 2. Lifestyle interventions:

- Exercise and physical activity investigate the effects of regular exercise and physical activity on PCOD symptoms, insulin sensitivity, and cardiovascular risk factors.

- Stress management techniques examine the effects of stress management techniques, such as yoga, medication, or cognitive-behavioural therapy, on PCOD symptoms and quality of life.

- Sleep hygiene and duration evaluate the effects of sleep hygiene and duration on PCOD symptoms and metabolic health.

## 3. Alternative therapies:

- Acupuncture investigate the effects of acupuncture on PCOD symptoms, ovulation and fertility.

- Herbal supplements examine the effects of herbal supplements, such as berberine or saw palmetto, on PCOD symptoms and metabolic health.

- Mixed-methods studies combine qualitative and quantitative methods to provide a comprehensive understanding of PCOD symptoms and effective interventions [5–7].

Nutritional strategies for PCOD involve the following interventions:

- Focusing on consuming a well-balanced diet comprising whole foods that are rich in nutrients. A low-carbohydrate diet, low-GI diet, and Mediterranean diet have been shown to improve insulin sensitivity and hormone regulation.

- Include plenty of fruits, vegetables, whole grains, lean proteins(such as poultry, fish, tofu, and legumes), and health fats (found in avocados, nuts, seeds, and olive oil)

- Avoid or limit processed foods, sugary snacks, refined carbohydrates, and foods high in saturated and trans-fats.

- Contacting a registered dietician or nutritionist for personalized dietary advice tailored to specific needs and preferences [8].

## Lifestyle Modification for PCOD:

- Regular physical activity, such as cardio and strength training, can improve insulin sensitivity, hormone regulation, and overall health.

- Yoga, meditation, deep breathing exercises, and other stress-reducing activities can help manage stress and promote relaxation.

- Getting adequate sleep (7–8 hours) and practicing relaxation techniques can help regulate hormones and improve overall health.

- Chronic stress can disrupt hormone regulation, exacerbating PCOD symptoms. Practicing mindfulness, self-care, and self-compassion can help manage stress promote relaxation, and improve overall well-being.

- Practice self-care rituals such as taking warm baths, including in massage therapy, practicing aromatherapy, or pampering with skincare routines [9].

Regular check-ups for PCOD:

- Schedule regular check-ups with healthcare provider, including primary care physician, gynaecologist, endocrinologist or reproductive endocrinologist.

- Discuss PCOD symptoms, concerns, and treatment options with healthcare treatment and follow their instructions for on-going monitoring and management.

- Stay up to date with routine health screenings, blood tests, and diagnostic procedures as recommended based on individual health status and risk factors.

Implications for women's health:

- Improved insulin sensitivity: a well-planned nutrition strategy and regular physical activity can improve insulin sensitivity, reducing the risk of developing insulin resistance and type 2 diabetes.

- Enhanced hormone regulation: a balanced diet and regular physical activity can help regulate hormones, improving menstrual regularity, fertility, and overall reproductive health.

- Better weight management: a comprehensive approach to nutrition and lifestyle can support healthy weight management, reducing the risk of obesity-related complications.

- Improved mental health: stress management techniques and adequate sleep can help alleviate symptoms of anxiety and depression, promoting overall mental well-being [10].

By emphasizing the importance of nutrition strategy and lifestyle modification in PCOD management, healthcare providers can empower women to take an active role in their care, promoting optimal women's health outcomes and improving overall quality of life.

PCOD is a complex endocrine disorder characterized by hormonal imbalances, ovulatory dysfunction, and metabolic complications. PCOD can have a profound impact on a woman's quality of life, fertility, and overall health. Despite its prevalence, PCOD remains poorly understood, and many women struggle to access accurate diagnosis, effective treatment, and comprehensive care. The need for a holistic approach to care, incorporating the physical, emotional, and psychological aspects of the disorder. This paper highlights the importance of a comprehensive approach to nutrition and lifestyle modification for PCOD symptom management. It suggest that a personalized nutrition plan, combined with regular physical activity, stress management, and adequate sleep, can lead to significant improvements in PCOD symptoms, and patient-centered approaches to PCOD care, ultimately improving the health, well-being, and quality of life for women with PCOD.

This highlights the crucial role of nutrition strategy and lifestyle modification in optimizing women's health outcomes in PCOD.

A well-planned nutrition strategy, combined with lifestyle modification, can improve insulin sensitivity, hormone regulation, and overall health in women with PCOD.

### References

1. Clinical guidelines “Polycystic Ovary Syndrome” / L. V. Adamyan, E. N. Andreeva, Y. S. Absatarova, et al. DOI: 10.14341/probl12874 // Probl. Endokrinol. (Mosk). 2022. Vol. 68. No. 2. P. 112–127 (in Russian).
2. Polycystic ovary syndrome: a disorder of reproductive age, its pathogenesis, and a discussion on the emerging role of herbal remedies / L. H. Zeng, S. Rana, L. Hussain, et al. DOI: 10.3389/fphar.2022.874914 // Front. Pharmacol. 2022. Vol. 13. Article No. 874914.
3. Mauvais-Jarvis P., Bricaire C. Pathophysiology of polycystic ovary syndrome. DOI: 10.1016/0022-4731(89)90494-9 // J. Steroid. Biochem. 1989. Vol. 33. No. 4B. P. 791–794.
4. Diagnosis and management of polycystic ovary syndrome / Eds. N. R. Farid, E. Diamanti-kandarakis. Springer Science Business Media, 2009. 275 p.
5. Harris C., Carey A. PCOS: A woman’s guide to dealing with polycystic ovary syndrome. London : Thornsons, 2000. 211 p.
6. Escobar-Morreale H. F. Polycystic ovary syndrome: definition, aetiology, diagnosis and treatment // Nat. Rev. Endocrinol. 2018. Vol. 14. No. 5. P. 270–284.
7. Exercise therapy in polycystic ovary syndrome: A systematic review / C. L. Harrison, C. B. Lombard, L. J. Moran, H. J. Teede. DOI: 10.1093/humupd/dmq045 // Hum. Reprod. Update. 2011. Vol. 17. No. 2. P. 171–183.
8. Low glycemic index vegan or low-calorie weight loss diets for women with polycystic ovary syndrome: a randomized controlled feasibility study / G. M. Turner-McGrievy, C. R. Davidson, E. E. Wingard, D. L. Billings. DOI: 10.1016/j.nutres.2014.04.011 // Nutr. Res. 2014. Vol. 34. No. 6. P. 552–558.
9. Liang J., Liu S. The role of circadian rhythms in polycystic ovary syndrome. DOI: 10.54097/hset.v54i.9752 // Highlights in Science, Engineering and Technology. 2023. Vol. 54. P. 165–173.
10. Insulin resistance in nonobese patients with polycystic ovarian disease / R. J. Chang, R. M. Nakamura, H. L. Judd, S. A. Kaplan. DOI: 10.1210/jcem-57-2-356 // J. Clin. Endocrinol. Metab. 1983. Vol. 57. No. 2. P. 356–359.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ, СОЗДАВАЕМЫХ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ ЗЕМНЫМИ СТАНЦИЯМИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

***Н. И. Калинина, Е. Н. Дубровская, К. Е. Костина***

*Федеральное бюджетное учреждение науки «Северо-Западный научный  
центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора,  
г. Санкт-Петербург, Россия, n.kalinina@s-znc.ru*

В статье представлены результаты исследования электромагнитной обстановки, создаваемой земными станциями спутниковой связи (ЗССС), в окружающей среде. ЗССС относятся к источникам электромагнитных полей (ЭМП) радиочастотного диапазона, которые являются источниками экологического загрязнения окружающей среды.



Ключевые слова: земные станции спутниковой связи, электромагнитные поля, измерения.

Земная станция спутниковой связи – станция радиосвязи, предназначенная для связи с космическими или другими земными станциями через космические станции или объекты, установленные на искусственных спутниках Земли. ЗССС служат для передачи информации через специализированные телекоммуникационные спутники и предназначены для функционирования и безопасности единой сети электросвязи Российской Федерации [1, 2]. Земные станции спутниковой связи выполняют функции узлов связи и абонентского оборудования подвижной спутниковой радиосвязи с доступом абонентов к системе подвижной спутниковой радиосвязи, широкополосного доступа в информационно-телекоммуникационную сеть Интернет с использованием искусственных спутников Земли, находящихся на негеостационарных орбитах, устанавливают связь в сети связи общего пользования и технологических сетях связи [3–5]. ЗССС относятся к радиоэлектронным средствам (РЭС), имеют в своем составе передатчик, антенную систему и другое оборудование, устанавливаются на территории аэропортов и морских терминалов, на объектах государственных контрольных служб, селитебных территориях. Антенны ЗССС размещаются, как правило, на крышах зданий, реже на специальных постах. Режим работы ЗССС круглосуточный.

В современных условиях техногенные электромагнитные поля являются распространенным неблагоприятным фактором в среде обитания человека. Это обусловлено большим количеством источников ЭМП, массовостью контингентов лиц, подвергающихся воздействию электромагнитных полей, и высокой биологической активностью фактора. Увеличение территориальной плотности размещения радиоэлектронных средств приводит к формированию сложной электромагнитной обстановки в окружающей среде. Расширяется контингент лиц, подвергающихся хроническому воздействию ЭМП, прослеживается тенденция приближения источников электромагнитного излучения непосредственно к человеку. Термин «электромагнитное загрязнение среды», введенный Всемирной Организацией Здравоохранения, отражает реальную экологическую ситуацию в плане воздействия ЭМП на человека и все элементы биосферы [6, 7]. ЗССС как источники электромагнитных полей радиочастотного диапазона являются источниками экологического загрязнения окружающей среды. Система мероприятий по защите от техногенных ЭМП базируется на гигиенических нормативах, представленных в СанПиН 1.2.3685-21 [8]. В связи с тем, что антенны ЗССС являются источниками ЭМП в окружающей среде, на условия их размещения разрабатывается проектная документация с расчетами санитарно-защитной зоны и зоны ограничения [9].

Целью работы являлось исследование электромагнитной обстановки, создаваемой земными станциями спутниковой связи различных типов. Программа исследования включала изучение проектов размещения ЗССС на различных территориях, анализ технических характеристик, проведение измере-

ний электромагнитных полей. Для инструментального контроля использовался измеритель электромагнитных излучений ПЗ-42, прибор внесен в государственный реестр средств измерения и проходит ежегодную поверку.

Анализ полученных данных показал, что антенны ЗССС размещены на крыше зданий на технической территории, передатчики работают в диапазоне 0,3–300 ГГц, имеют фазовую модуляцию QPSK, оснащены антеннами большого диаметра, имеют высокий коэффициент усиления антенны, излучение в пространство направляется узким лучом (табл. 1).

Таблица 1

**Технические характеристики земных станций спутниковой связи различной модификации**

| № п/п | Технические характеристики                                               | ЗССС Gilat Ku-диапазона | ЗССС АЗС-ЦФС                          | ЗССС «МОСТ-УС»                                |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1     | Диапазон частот, МГц                                                     | 13750–14000             | 14000–14500                           | 5957–6493                                     |
| 2     | Мощность передатчика, Вт                                                 | 4,0                     | 16,0                                  | 20,0                                          |
| 3     | Тип модуляции                                                            | QPSK                    | QPSK                                  | QPSK                                          |
| 4     | Тип антенны / диаметр, м                                                 | параболическая / 1,2 м  | двухзеркальная прямофокусная / 1,65 м | параболическая двухзеркальная диаметром 5,0 м |
| 5     | Мощность, подаваемая на антенну, Вт                                      | 3,0                     | 45,0                                  | 6,54                                          |
| 6     | Коэффициент усиления антенны, дБи                                        | 43,0                    | 46,0                                  | 46,5                                          |
| 7     | Диаграмма направленности в горизонтальной/вертикальной плоскостях, град. | 1,2/1,2                 | 0,87/0,74                             | 0,9/0,9                                       |
| 8     | Азимут излучения, град.                                                  | 231                     | 202                                   | 189,9                                         |
| 9     | Угол места, град.                                                        | 15                      | 9                                     | 29,8                                          |
| 10    | Высота установки от поверхности земли/кровли, м                          | 4,5/1,5                 | 7,0/2,0                               | 6,2/2,0                                       |

По результатам расчетного прогнозирования организация санитарно-защитной зоны от ЗССС не требуется. Зона ограничения по направлению излучения диаграммы направленности антенны в ее азимуте формируется в виде узконаправленного цилиндра и может иметь большую протяженность от условного центра – от 450 до 630 м. Нижние границы прогнозируемой зоны ограничения, в зависимости от высоты установки антенны, находятся в пределах 5,0–7,0 м. Ближайшие здания и строения в зону излучения не попадают.

Были выполнены измерения уровней ЭМП от антенн ЗССС – станций сети VSAT (англ. Very Small Aperture Terminal) фиксированной спутниковой связи. Технология широкополосной спутниковой связи VSAT считается самой передовой в мире, в ее основе используется абонентский терминал с антенной малого диаметра, находящийся под управлением центральной земной станции спутниковой связи (ЦЗССС). Регистрировались уровни плотности потока энергии (ППЭ) ЭМП от антенного поста «Стела М-200», обеспечивающего работу подсети абонентских станций, и от ЗССС «Стела М-100», кото-

рая размещается непосредственно у абонентов и предназначена для передачи данных, телефонного трафика, телефаксных сообщений (табл. 2).

Таблица 2

**Технические характеристики земных станций спутниковой связи  
сети VSAT фиксированной спутниковой связи**

| №<br>п/п | Технические<br>характеристики                        | ЗССС «Стела М-100»<br>абонентская станция               | ЗССС «Стела М-200»<br>узловая станция                   |
|----------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1        | Диапазон частот, МГц                                 | 14044,2                                                 | 14187,3                                                 |
| 2        | Мощность передатчика, Вт                             | 2,0                                                     | 2,0                                                     |
| 3        | Тип модуляции                                        | частотная                                               | частотная                                               |
| 4        | Тип антенны / диаметр, м                             | однозеркальная, офсет-<br>ная / 2,4 м                   | двухзеркальная прямо-<br>фокусная / 3,7 м               |
| 5        | Эффективная изотропно<br>излучаемая мощность, дБВт   | 50,0                                                    | 61,45                                                   |
| 6        | Коэффициент усиления<br>антенны, дБи                 | 35,0                                                    | 35,2                                                    |
| 7        | Поляризация излучения                                | линейная горизонталь-<br>ная/линейная вертикаль-<br>ная | линейная горизонталь-<br>ная/линейная верти-<br>кальная |
| 8        | Азимут излучения, град.                              | 168,14                                                  | 168,99                                                  |
| 9        | Угол места, град.                                    | 21,47                                                   | 21,47                                                   |
| 10       | Высота установки от по-<br>верхности земли/кровли, м | 21,0/1,0                                                | 28,0/2,5                                                |

Антенны сети VSAT фиксированной спутниковой связи были размещены на антенной площадке на крыше производственных зданий. Регистрация ППЭ ЭМП от антенн ЗССС «Стела М-100» и «Стела М-200» проводилась на крыше зданий на высоте от 0,5 до 2,0 м от уровня кровли (в этих пределах определялась высота, на которой регистрируется наибольшая интенсивность ЭМП), а также на территории на высоте 2,0 м от поверхности земли. Согласно СанПиН 1.2.3685-21, предельно допустимые уровни для населения в диапазоне частот 0,3–300 ГГц составляют 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Измерения показали, что зарегистрированные значения электромагнитных полей во всех точках были значительно ниже предельно допустимого уровня.

По результатам проведенных исследований электромагнитной обстановки, создаваемой земными станциями спутниковой связи различных типов, в окружающей среде превышения гигиенических нормативов не было установлено. Вместе с тем, в связи с увеличением загрязнения среды обитания человека электромагнитными полями радиочастотного диапазона, особенно в условиях мегаполисов, воздействие излучений радиоэлектронных средств на население является актуальной проблемой [10]. Поэтому для контроля источников неионизирующего излучения и отслеживания изменения электромагнитного фона на обследуемой территории, несомненно важна роль проведения изучения размещения, технических характеристик радиоизлучающего оборудования, измерения и оценки реальных параметров электромагнитных полей радиочастотного диапазона.

### Библиографический список

1. Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 13 декабря 2023 года № 1080 «Об утверждении Требований к применению земных станций спутниковой связи и вещания» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1305515462> (дата обращения: 11.03.2025).
2. ОСТ 45.56-95 «Станции земные для линий спутниковой связи, работающие с ИСЗ на геостационарной орбите в диапазонах частот 6/4 ГГц и 14/11-12 ГГц. Типы, основные параметры. Технические требования» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200043932> (дата обращения: 11.03.2025).
3. Метод оценивания электромагнитной совместимости земных станций фиксированной спутниковой службы с низкоорбитальными многоспутниковыми системами связи / М. С. Ворона, Ю. Н. Копалов, А. Г. Маслик, А. Ю. Онуфрей. DOI 10.18127/j03209601-202406-02 // Антенны. 2024. № 6 (292). С. 14–23.
4. Зайцева И. Н., Барамыков А. И. Тестирование основных параметров антенн земных станций спутниковой связи // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2018. Т. 9. № 4. С. 41–50.
5. Симонина О. А. Оценка тенденций использования новых и текущих диапазонов частот современных спутниковых систем связи // СПБНТОРЭС : труды ежегодной НТК. 2021. № 1 (76). С. 252–255.
6. Электромагнитная безопасность населения. Национальные и международные нормативы электромагнитных полей радиочастотного диапазона / О. А. Григорьев, В. Н. Никитина, В. Н. Носов и др. DOI 10.35627/2219-5238/2020-331-10-28-33 // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 10 (331). С. 28–33.
7. Никитина В. Н., Калинина Н. И., Дубровская Е. Н. Анализ научных исследований о влиянии электромагнитных полей радиочастотного излучения на здоровье населения (научный обзор). DOI 10.47843/2074-9120\_2023\_3\_15 // Профилактическая и клиническая медицина. 2023. № 3 (88). С. 15–23.
8. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 12.03.2025).
9. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения: 12.03.2025).
10. Нормативно-методическое обеспечение и инструментальный контроль уровней электромагнитных полей базовых станций сотовой связи на селитебных территориях / В. Н. Никитина, Н. И. Калинина, Е. Н. Дубровская, В. П. Плеханов // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2021. Т. 16. № 1. С. 234–242.

# АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ТЕТРАЦИКЛИНА В СОЧЕТАНИИ С ФИТОХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ И РАСТИТЕЛЬНЫМИ ЭКСТРАКТАМИ

**В. А. Сычёва<sup>1</sup>, Е. В. Товстик<sup>1</sup>, А. М. Шеромов<sup>1</sup>,  
В. А. Козвонин<sup>1,2</sup>, А. С. Олькова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Вятский государственный университет,  
г. Киров, Россия, [vikasuch2005@gmail.com](mailto:vikasuch2005@gmail.com),

<sup>2</sup> Кировский государственный медицинский университет,  
г. Киров, Россия

Комбинации тетрациклина с фитохимическими веществами (галловая кислота, дегидрохверцетин) и растительными экстрактами (женьшень, родиола розовая) протестированы с помощью биосенсора «Эколюм» на основе *Escherichia coli*. Показано усиление антибактериальной активности тетрациклина (125 мг/л) в сочетании с веществами природного происхождения (50 мг/л) в такой закономерности: галловая кислота > родиола розовая > женьшень > дегидрохверцетин.

Ключевые слова: биосенсор, Эколюм, *Escherichia coli*, галловая кислота, дегидрохверцетин, женьшень, родиола розовая.

В последнее время наблюдается значительный рост исследований, посвященных эффективности фитотерапии в схемах лечения [1]. Отмечается, что фитохимические вещества (ФВ) могут уменьшить последствия поражения легких, вызванного коронавирусом 2 (SARS-CoV-2). Обсуждаются данные о возможном потенциальном противовирусном действии ФВ, в том числе против SARS-CoV [2].

Часть работ посвящена использованию ФВ в сочетании с антибиотиками в комплексной терапии. Установлено, что совместное применение тетрациклина с галлатом эпигаллокатехина позволяет усилить активность антибиотика против резистентных стафилококков [3], с кверцетином – разрушить оболочку бактериальной клетки тестового штамма *E. coli*, что приводит к повышению проницаемости и лизису клеток [4].

Обнаружение новых синергетических эффектов ФВ и антибиотиков может открыть перспективы в разработке более эффективных терапевтических схем их применения в борьбе с инфекциями. Кроме того, комбинирование антибиотиков с ФВ потенциально позволит снизить терапевтические дозы лекарственных средств, что уменьшит их побочные эффекты и сократит частоту появления резистентных к антибиотикам штаммов микроорганизмов [5–7].

При исследовании терапевтического действия антибиотиков ключевым параметром оценки является их антимикробная активность. Подобные испытания проводят на стандартных образцах тест-культур в соответствии с меж-

дународными биологическими стандартами [8]. Вместе с тем отдельные методы биотестирования, аттестованные в Российской Федерации для целей государственного экологического мониторинга окружающей среды, также можно адаптировать для анализа противомикробного действия антибиотиков. Одним из них является биотест, проводимый с помощью бактериального препарата лиофилизированных бактерий *Escherichia coli* (Migula) – «Эколюм», с помощью которого можно интерпретировать результат как антибактериальную активность тестируемой пробы [9].

В представленной работе данным адаптированным методом исследовали антибиотик широкого спектра действия – тетрациклин (ОАО «Тюменский химико-фармацевтический завод», Россия). Среди антибиотиков он наиболее часто обнаруживается в окружающей среде, в настоящее время в большей степени используется в животноводстве [10].

Целью данной работы явилась оценка синергетического эффекта антибактериальной активности тетрациклина в сочетании с фитохимическими веществами и растительными экстрактами по реакции препарата на основе *E. coli*.

Рабочая концентрация антибиотика составляла 250 мг/л. Раствор тетрациклина комбинировали в соотношении 1:1 по объему с растворами ФВ – галловая кислота и дегидрохверцетин, а также с экстрактами женьшеня и родиолы розовой в концентрации 100 мг/л. Контролем служил раствор антибиотика, смешанный в таких же объемных соотношениях с дистиллированной водой. В приготовленных смесях концентрация антибиотика составляла 125 мг/л, ФВ / растительных экстрактов – 50 мг/л.

Для анализа антимикробной активности растворов использовали биосенсор на основе лиофилизированных люминесцентных бактерий *E. coli* или ферментных систем из этих бактерий серии «Эколюм» в комплексе с портативным измерительным прибором – люминометром «Биотокс-10» (Россия). Критерием оценки служило уменьшение интенсивности свечения в исследуемой пробе по сравнению с контрольной средой (дистиллированная вода), рассчитываемое как токсический эффект или антибактериальная активность. Количественную оценку параметра тест-реакции выражали индексом токсичности (Т, у.е.). Проводили параллельное измерение трех пар контроль-опыт.

Статистическую обработку результатов измерений проводили согласно ГОСТ Р 8.736-2011. Расчеты выполняли в программе Microsoft Excel. Данные представляли в виде средних значений  $\pm$  стандартные отклонения ( $n = 3$ ).

По результатам проведенных исследований установлено, что комбинирование тетрациклина с ФВ и растительными экстрактами в исследуемых концентрациях (125, 50 мг/л соответственно) повышает токсичность проб, косвенно свидетельствуя об усилении антибактериальной активности смесей (рис.).

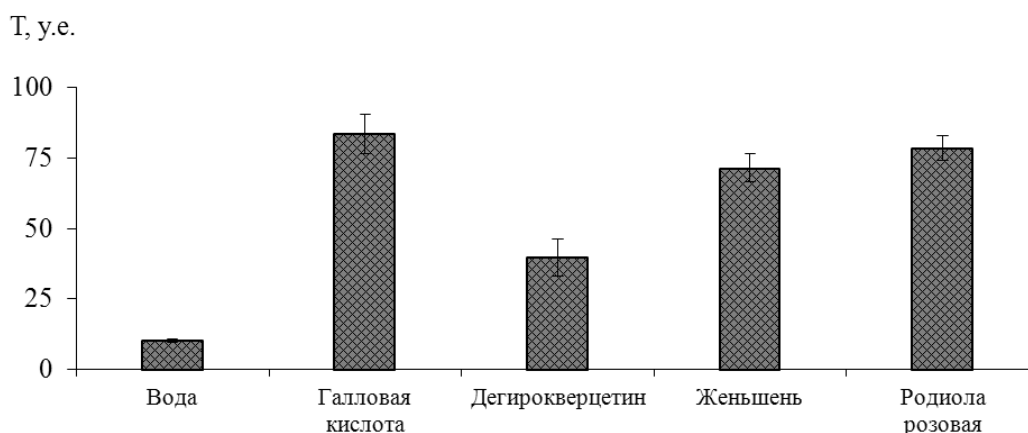


Рис. Антибактериальная активность комбинированных с тетрациклином растворов фитохимических веществ и растительных экстрактов

По степени антибактериальной активности комбинации «антибиотик – ФВ / растительный экстракт» расположились в следующий ряд: галловая кислота > родиола розовая > женьшень > дегидрокверцетин.

Таким образом, исследование сочетания синтетических антибиотиков и веществ природного происхождения является перспективным направлением поиска эффективных терапевтических схем в борьбе с инфекциями. Однако для интерпретации результатов необходима стандартизация методов определения взаимодействий, что облегчит сравнение результатов исследований.

#### Библиографический список

1. Ахмедов В. А., Меликов Т. И. Перспективы применения фитотерапии в лечении пациентов с неалкогольной жировой болезнью печени. DOI: 10.26295/OS.2020.87.84.008 // Лечащий врач. 2020. № 8. С. 54–56.
2. Phytochemicals: potential therapeutic interventions against coronavirus-associated lung injury / M. B. Majnooni, S. Fakhri, Y. Shokoohinia, et al. DOI: 10.3389/fphar.2020.588467 // Front. Pharmacol. 2020. Vol. 11. Article No. 588467.
3. Choudhury A. Potential role of bioactive phytochemicals in combination therapies against antimicrobial activity. DOI: 10.3831/KPI.2022.25.2.79 // J. Pharmacopuncture. 2022. Vol. 25. No. 2. P. 79–87.
4. Mechanism of synergy between tetracycline and quercetin against antibiotic resistant *Escherichia coli* / S. Qu, C. Dai, Z. Shen, et al. DOI: 10.3389/fmicb.2019.02536 // Front. Microbiol. 2019. Vol. 10. Article No. 2536.
5. Черничкина А. Д. Сравнительный анализ состава биологически активных веществ плодов и листьев рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia fructus*) и оценка перспектив в медицине и в фармацию. DOI: 10.26787/nydha-2713-2048-2020-1-10-11-12-58-62 // Глобальные проблемы современности. 2020. Т. 1. № 10–12. С. 58–62.
6. Синергизм [Электронный ресурс]. – URL: [https://chemistry\\_terms.-academic.ru/459/%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B7%D0%BC](https://chemistry_terms.-academic.ru/459/%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B7%D0%BC) (дата обращения: 10.02.2025).
7. Антибиотики [Электронный ресурс]. – URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc1p/5462> (дата обращения: 13.02.2025).
8. Тетрациклин [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.-regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-1/tetratsiklin-tetratsiklin-tetracyclinum/> (дата обращения: 03.03.2025).

9. ФР 1.39.2015.19241. Методика определения токсичности проб грунта и донных отложений экспресс-методом с использованием прибора серии Биотестер. СПб. : СЕКТР-М, 2015. 21 с.

10. Применение антибиотиков в сельском хозяйстве и альтернативы их использования / М. С. Мирошникова, Е. П. Мирошникова, А. Е. Аринжанов, Ю. В. Килякова. DOI: 10.28983/asj.y2021ipp65/70 // Аграрный научный журнал. 2021. № 5. С. 65–70.

## **ЛИЧНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ КАБИНЕТЫ СТУДЕНТОВ ПО ЗДОРОВЬЮ И ФИЗИЧЕСКОМУ РАЗВИТИЮ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

*Е. П. Никитенко<sup>1</sup>, Е. А. Копылова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Белорусско-Российский университет,  
г. Могилев, Беларусь, ep\_nikitenko@mail.ru,*

*<sup>2</sup> Белорусско-Российский университет,  
г. Могилев, Беларусь, elenakopylovamogilev@gmail.com*

В статье рассматриваются возможности использования личных электронных кабинетов для студентов по дисциплине «Физическая культура» для комплексной оценки состояния здоровья и физического развития студентов на основе антропометрических, физиологических, физических и психологических показателей.

Ключевые слова: цифровые технологии, личный электронный кабинет студента, образовательный процесс, физическое развитие, соматическое здоровье.

Состояние здоровья молодежи является одной из основных ценностей в жизни, оно является одним из приоритетных направлений в работе педагогов, социальных служб, медицинских работников. В современных условиях решение этой проблемы можно достичь путем создания и постоянного совершенствования имеющихся методов и способов оценки состояния здоровья студентов. Цифровые технологии способствуют решению этих проблем [1–4].

В настоящее время современное образование стремится к интеграции технологий, и личные электронные кабинеты студентов становятся важным инструментом для управления информацией о здоровье и физическом развитии. Эти кабинеты представляют собой интерфейсы, которые позволяют студентам отслеживать и управлять своими показателями здоровья, получать доступ к образовательным ресурсам и взаимодействовать с преподавателями и специалистами в области медицины [5].

Актуальность. Личные электронные кабинеты по здоровью и физическому развитию служат платформой для хранения и анализа данных о состоянии здоровья студентов. Они охватывают широкий спектр информации, включая медицинские анамнезы, прививки, наличие аллергии и результаты медицинских обследований. Личные кабинеты могут включать функции для



учета физического состояния на основе антропометрических, физиологических характеристик, отслеживать психоэмоциональное состояние. Студенты могут загружать результаты тестов, записывать информацию о посещении врачей и получать рекомендации по улучшению физического состояния. Все это способствует повышению уровня осведомленности студентов о собственном здоровье и предоставляет возможность брать ответственность за свое физическое развитие. Поскольку здоровье студентов напрямую влияет на их успеваемость и качество жизни, управление этой информацией становится крайне важной задачей.

Личные электронные кабинеты студентов предлагают разнообразные функции, улучшающие управление здоровьем и физическим развитием. Прежде всего, это возможность ведения личного дневника здоровья, где можно записывать свои наблюдения и самочувствие. Таким образом, студенты могут более четко выявлять изменения в своем состоянии и интегрировать эти данные в свою образовательную практику.

Цель работы – раскрыть возможности личных электронных кабинетов студентов по здоровью и физическому развитию как необходимого инструмента современного образовательного процесса для обеспечения здоровья и благополучия обучающихся.

Собранный банк данных может содержать разделы с полезной информацией о физическом развитии обучающихся. В вузах студенты сдают рейтинговые нормативы по физической подготовке, направленные на определение развития основных физических качеств (выносливости, быстроты, силы, гибкости, ловкости).

Также банк данных может содержать статьи, видео уроки и вебинары по различным темам, связанным со здоровьем, включая физические упражнения, тренировки, здоровое питание, психическое здоровье и техники релаксации. Студенты могут самостоятельно учиться и находить информацию, которая поможет им оставаться активными и заботиться о своем здоровье.

Еще одной важной функцией личных электронных кабинетов является возможность взаимодействия с преподавателями и медицинскими работниками. Студенты могут задавать вопросы, получать советы и рекомендации, а также записываться на медицинские обследования и консультации. В условиях удаленного обучения эта функция становится особенно актуальной, поскольку позволяет обеспечить доступ к медицинским услугам, даже если физическая связь невозможна [6].

Следующий важный аспект – это контроль. Личный кабинет позволяет не только отслеживать состояние здоровья, но и получать регулярные напоминания о важных мероприятиях: плановых обследованиях, вакцинациях и других медицинских процедурах. Такой подход помогает избежать упущений и несвоевременных обращений за медицинской помощью. Особенно это актуально для студентов, относящихся к специальной медицинской группе.

Более того, интеграция данных о здоровье с образовательными платформами позволяет преподавателям лучше понимать потребности студентов

и разрабатывать адаптивные образовательные программы. Это может включать индивидуальные рекомендации по учебному процессу на основе физического состояния студента.

В качестве главных параметров комплексной оценки состояния здоровья используются антропометрические показатели: длина и масса тела, обхватные размеры – талии, объема груди на вдохе и на выдохе (оценка физического развития и его соответствие возрастным нормам); физиологические показатели: пробы Штанге и Генчи (оценка здоровья легких и сердца), проба Мартине – Кушелевского (данная проба характеризуется степенью толерантности к гипоксии – оценка частоты пульса, частоты дыхания, артериального давления в покое); ортостатическая проба (оценивается состояние вегетативной нервной системы в активном состоянии). Стоит отметить, что для полной комплексной оценки также применяются наиболее достоверные психологические тесты: шкала диагностики СДВГ, шкала тревоги Спилбергера – Ханина. Необходимость психологических тестов заключается в том, чтобы получить наиболее широкую информацию о состоянии субъектов исследования для более точного прогнозирования дальнейшего развития и составления информации о возможных изменениях в будущем; общую оценку соматического состояния здоровья студентов.

Разумеется, следует учитывать факторы здоровья студентов, которые уже известны: хронические заболевания, врожденные патологии, заболевания, полученные на протяжении жизни, врожденные предрасположенности и склонности.

Подход, при котором для комплексной оценки здоровья применяются цифровые технологии, может способствовать первичной профилактике заболеваний, своевременному принятию мер по предотвращению критических факторов риска, возможности своевременного лечения.

Все собранные данные, соответственно, подвергаются объединению в базу данных, где хранится вся информация, полученная за время учебы в университете. Используя базу данных, сам студент имеет возможность просматривать, давать оценку, помимо оценки самой технологической системы, что способствует самоорганизации и самодисциплине, эффективному использованию времени.

Преподаватели могут использовать информацию для методически правильной организации учебного процесса и возможности обратной связи со студентами [7].

Облачные технологии, на базе которых строятся электронные кабинеты, обеспечивают надежную защиту конфиденциальной информации. Студенты могут быть уверены в том, что их данные надежно защищены и доступны только им и уполномоченным специалистам. Это создает доверие к системам и делает использование электронных кабинетов более привлекательным.

Использование информационных технологий (на примере личных электронных кабинетов студентов) является перспективным направлением развития в подходе к наблюдению соматического здоровья студентов.

Применение информационных технологий в высших учебных заведениях позволит полностью отказаться от бумажных видов медицинских и диагностических карт. В системе могут вводиться данные из баз, создаваться цифровые истории болезней и цифровые медицинские карты, что позволит соблюдать тайм-менеджмент. Полностью исключается вероятность потери бумажных носителей. Для устранения причин порчи баз необходимо внедрить системы резервного копирования данных, которые позволят снизить риски человеческого фактора при их использовании.

Внедрение цифровых технологий в сферу высшего образования позволит снизить риск суицида, оказать своевременную психологическую помощь студентам, а также упростит условия оценки физического и психологического состояния обучающихся заинтересованными сотрудниками учебного заведения.

Из всего вышесказанного следует, что личные электронные кабинеты студентов по здоровью и физическому развитию становятся необходимым инструментом в условиях современного высшего образования. Они помогут студентам активно управлять своим здоровьем, обеспечить доступ к актуальной информации и предоставят возможность взаимодействовать с преподавателями и медицинскими работниками. Несмотря на существующие вызовы, преимущества, которые предоставляют личные электронные кабинеты студентов, делают эти системы незаменимыми для обеспечения здоровья и благополучия студентов.

Совершенствование таких кабинетов, их адаптация к требованиям времени и внедрение новых технологий помогут создать качественно новую среду обучения для студентов, в которой здоровье и физическое развитие займут центральное место. С каждым годом электронные кабинеты будут становиться все более интегрированными и доступными, помогая студентам заботиться о себе и добиваться успеха в учебе.

Таким образом, личные электронные кабинеты студентов позволят комплексно оценивать состояние их здоровья, обеспечивать доступ к актуальной информации, выявлять ранние обострения болезней, заниматься профилактикой возникающих проблем, осуществлять личный самоконтроль, снизить нагрузку на организации здравоохранения.

Перспективы внедрения цифровых технологий (на примере личных электронных кабинетов студентов) в качестве комплексной оценки состояния здоровья практически безграничны. Внедрение в университетах личных электронных кабинетов будет способствовать созданию безопасной и здоровой среды обучения.

#### **Библиографический список**

1. Осипенко Е. В., Макеева В. С., Пушкина В. Н. Мониторинг физического состояния школьников и студентов : учеб. пособие. М. : Радио Софт, 2016. 315 с.
2. Решетов Д. В. Коровин И. М. Информационные цифровые технологии в системе физической культуры и спорта // Актуальные проблемы, современные тенденции развития физической культуры и спорта с учетом реализации национальных проектов : материалы

IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под научной ред. Л. Б. Андрющенко, С. И. Филимоновой. М., 2022. С. 236–240.

3. Белякова М. Ю., Дьяконов А. Д. Применение цифровых и информационных технологий в сфере физической культуры и спорта. DOI: 10/18334/sport.1.3.119785 // Экономика и управление в спорте. 2021. Т. 1. № 3. С. 133–148.

4. Гурьев С. В. Современные технологии в физическом воспитании : монография, 2017. 164 с.

5. Жилияк Н. А., Старовойтов И. А. Разработка веб-сервиса личного кабинета студента в условиях цифровизации образования // Импортозамещение, научно-техническая и экономическая безопасность : сб. статей V Междунар. науч.-технич. конф. «Минские научные чтения-2022». (г. Минск, 7–9 декабря 2022 г.) в 3 т. Т. 2. Минск : БГТУ, 2022. С. 321–325.

6. Сохранова М. А. Цифровые технологии в организации самостоятельной работы магистрантов в сфере физической культуры и спорта // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. 2024. № 1 (227). С. 215–221.

7. Хваржев В. М., Цебренько К. Н. Разработка концепции личного кабинета обучающегося с использованием технологий искусственного интеллекта. DOI: 10.244112/2500-1000 // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. № 5–4 (92). С. 147–150.

## **АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ВИТАМИНОВ ГРУППЫ В В ПЛОДАХ ШИПОВНИКА И ПРЕПАРАТАХ НА ЕГО ОСНОВЕ**

**И. А. Алексеев, О. В. Чернова**  
*Вятский государственный университет,  
г. Киров, Россия, Ilyaalexeev0203@mail.ru*

В статье представлены результаты количественного анализа содержания витаминов группы В в плодах шиповника майского (*Rosa majalis*) и препаратов на его основе с целью выбора эффективного фитопрепарата, обладающего наибольшим содержанием витаминов этой группы. Исследования проводили методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель-105М».

Ключевые слова: витамины группы В, шиповник, метод капиллярного электрофореза.

Изучение состояния и сохранения здоровья населения является важным показателем оценки социально-экономической ситуации страны. В связи с ухудшением экологической ситуации, изменением климата, а также увеличением физической и умственной нагрузки люди зачастую сталкиваются с нехваткой необходимых биологически активных веществ (БАВ).

В связи с этим актуальной задачей становится обеспечение населения продуктами, содержащими высокие концентрации БАВ. Несмотря на обилие различных витаминных комплексов на рынке, синтетические витамины не только не оказывают положительного воздействия на организм, но и вызывают побочные эффекты, поэтому потребители все больше обращают внимание на натуральные препараты растительного происхождения [1].

Одним из наиболее перспективных растений является шиповник. Он широко применяется в медицинской практике за счет богатого химического состава и разнообразной биологической активности.

Плоды шиповника содержат каротиноиды, витамины группы В, К<sub>1</sub>, С, Р, Е, полиненасыщенные жирные кислоты, пектиновые вещества. Весь комплекс витаминов группы В обеспечивает организму человека нормальную работу нервной системы и отвечает за энергетический обмен. От данной группы БАВ зависит функционирование иммунной системы и эффективность роста клеток [1, 2].

Современному человеку, испытывающему умственные и эмоциональные нагрузки, подверженному стрессам и хроническим заболеваниям, витамины группы В необходимы в значительных количествах.

На фармацевтическом рынке представлено огромное количество препаратов на основе шиповника: сиропы, масла и сами плоды. Но в последние годы на рынке появляются и новые виды, такие как водорастворимый экстракт, таблетированный и капсульный шиповник.

Цель данного исследования – проанализировать содержание витаминов группы В в плодах шиповника майского (*Rosa majalis*) и препаратах на его основе.

В качестве препаратов на основе шиповника были выбраны: 1 – сироп шиповника (ООО «Витамин Продукт»), 2 – таблетки «Шиповник форте» (ООО «Квадрат-С»), 3 – фильтр-пакеты «Шиповника плоды» (АО «СТ-Медиафарм»). Плоды шиповника (образец 4) собирали на территории Республики Коми в августе 2024 года. Замораживание плодов проводили согласно ГОСТ Р 53956-2010 «Фрукты быстрозамороженные»: упаковывали в полиэтиленовые пакеты и хранили в морозильной камере при температуре –18 °С. Размораживание исследуемых образцов проводили при температуре окружающей среды в течение 2–3 часов.

Для количественной оценки содержания витаминов группы В использовали метод капиллярного электрофореза (КЭ) на приборе «Капель-105М» «Люмэкс» (Россия), согласно методике [3].

Метод измерений основан на извлечении свободных форм водорастворимых витаминов из образцов, разделении, идентификации и определении массовых долей (массовых концентраций) витаминов методом КЭ. Определение витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>5</sub> (никотиновая кислота), В<sub>6</sub> и В<sub>9</sub> осуществляли в варианте капиллярного зонного электрофореза. Детектирование витаминов проводили по их собственному поглощению при длинах волн 200 и 267 нм, используя программируемое переключение длин волн. Сбор, обработку и вывод данных осуществляли с помощью персонального компьютера, на котором установлено специализированное программное обеспечение.

В процессе работы был проведен подбор условий экстракции водорастворимых витаминов. Основным экстрагентом для исследуемой группы веществ является дистиллированная вода. Однако для растворения некоторых изучаемых витаминов требуется создание дополнительных условий. Так, в

случае с фолиевой кислотой было найдено значение pH, при котором наблюдалось наиболее оптимальное растворение субстанции. Были изучены диапазоны pH от 7,5 до 10,0 с шагом в 0,5. Было выявлено, что наиболее оптимальный диапазон pH для экстракции фолиевой кислоты 9,0–10,0.

Контроль стабильности градуировочной характеристики проводили перед измерениями анализируемых образцов. Для этого использовали приготовленный контрольный раствор, который анализировали не менее двух раз.

Подготовленные пробы анализировали, регистрируя по одной электрограмме для каждой пробы. Используя программное обеспечение, проводили автоматическую идентификацию компонентов по совпадению времен миграции компонентов в пробе и контрольном растворе при ширине окна идентификации 5%. Методика была апробирована на четырёх образцах.

Массовую концентрацию витаминов B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>9</sub> вычисляли по формуле 1:

$$C = \frac{0,001 \times f \times C_{изм} \times Q \times V_k}{V_a}, \quad (1)$$

где  $C$  – массовая концентрация витамина в пробе (мг/дм<sup>3</sup>);  $f$  – фактор перерасчета;  $C_{изм}$  – массовая концентрация витамина в подготовленной пробе (мг/дм<sup>3</sup>);  $V_k$  – объем колбы (см<sup>3</sup>);  $V_a$  – объем аликвоты жидкой пробы (см<sup>3</sup>);  $Q$  – коэффициент дополнительного разбавления; 0,001 – коэффициент согласования размерности единиц массы.

Результаты исследования приведены в таблице.

*Таблица*

**Содержание (мг/100 г) витаминов группы В в исследуемых образцах**

| № образца | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>5</sub> | B <sub>9</sub> |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1         | 1,45±0,01      | 0,004±0,0001   | –              | –              | 0,05±0,005     |
| 2         | –              | –              | 0,209±0,032    | –              | 8,3±0,5        |
| 3         | 0,032±0,005    | 0,011±0,001    | –              | 25,00±0,89     | 0,368±0,034    |
| 4         | 0,020±0,001    | 0,139±0,020    | 4,38±0,33      | –              | –              |

*Примечание:* прочерк означает – за пределами обнаружения.

Таким образом, методом капиллярного электрофореза проведено количественное определение витаминов группы В в замороженных плодах шиповника и фитопрепаратах. Выявлено достаточное количество витаминов этой группы в изучаемых образцах, что подтверждает перспективность их применения в качестве источника БАВ. Содержание витаминов в замороженных плодах согласуется с данными [4].

Данное исследование имеет практическое значение для разработки новых лекарственных форм на основе шиповника для поддержания иммунной системы организма человека.

**Библиографический список**

1. Сравнительная характеристика препаратов на основе плодов шиповника / Е. Е. Зотова, Е. И. Рябина, А. Ф. Ливанова, А. Д. Сальникова. DOI: 10.18499/2070-9277-

2023-26-2-101-1102023 // Прикладные информационные аспекты медицины. 2023. Т. 26. № 2. С. 101–110.

2. Тринеева О. В., Рудая М. А., Сливкин А. И. Определение в лекарственном растительном сырье витаминов группы В (на примере плодов облепихи крушиновидной и листьев крапивы двудомной) // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2017. № 3. С. 131–134.

3. Методика М 04-72-2011 (методика измерений содержания свободных форм водорастворимых витаминов в премиксах, витаминных концентратах, смесях и добавках, в том числе жидких, методом капиллярного электрофореза (КЭ)). URL: [https://www.lumex.ru/complete\\_solutions/11ar03\\_13\\_03\\_1.php?ysclid=m4zp5x3fd0110457945](https://www.lumex.ru/complete_solutions/11ar03_13_03_1.php?ysclid=m4zp5x3fd0110457945) (дата обращения: 02.03.2025).

4. Бруйло А. С., Шешко П. С. Еще раз о шиповнике // Агропанорама. 2001. № 3. С. 36–39.

## СЕКЦИЯ 7 ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ВОСПИТАНИЕ

### TRANSFORMATIVE PEDAGOGIES IN ENVIRONMENT EDUCATION: A CONFLUENCE OF PROJECT-BASED LEARNING AND TECHNOLOGY INTEGRATION

**Pooja Bhalerao**

*Dr. C. V. Raman University, Khandwa (M. P.), India,  
pooja.bhaleraocvr@gmail.com*

Innovative teaching methods in zoology education embrace a synergistic blend of Project-Based Learning and Technology Integration to provide students with immersive and practical learning experiences. PBL initiatives, such as wildlife conservation projects, virtual zoo designs, and animal behaviour studies, engage students in hands-on, real-world scenarios. Concurrently, technology integration incorporates simulations, virtual reality, and bioinformatics tools, offering students dynamic platforms to explore virtual zoos, track wildlife, and participate in citizen science initiatives. This amalgamation of experiential and technology-enhanced learning establishes a dynamic educational environment, equipping students with the critical thinking and collaborative skills necessary for real-world applications in wildlife conservation, research, and habitat management.

**Keywords:** innovative teaching methods, project-based learning, virtual zoo design, virtual reality.

Zoology education stands at the forefront of innovation as educators seek dynamic approaches to engage students in the study of animal life. This research paper explores the integration of Project-Based Learning (PBL) and cutting-edge technologies in zoology education, aiming to provide students with immersive and practical learning experiences. By intertwining hands-on projects with technological tools, this approach not only addresses the evolving needs of today's learners but also prepares them for real-world applications in wildlife conservation, research, and habitat management.

The paper delves into specific PBL initiatives within zoology, such as wildlife conservation projects, virtual zoo designs, and animal behaviour studies. These projects are meticulously designed to simulate real-world scenarios, fostering collaboration and interdisciplinary teamwork among students with backgrounds in biology, ecology, and environmental science. The incorporation of project-based assessments ensures a comprehensive evaluation of both practical and theoretical knowledge, enriching the students' understanding of zoological concepts.



Furthermore, the integration of technology in zoology education is explored, encompassing virtual reality (VR), augmented reality (AR), wildlife tracking apps, bioinformatics, and virtual dissection software. Through virtual zoo tours and augmented reality habitats, students can explore exhibits, observe animal behaviours, and understand the intricacies of animal habitats in an immersive and interactive manner. This technological integration not only enhances the learning experience but also contributes to real-world conservation efforts through citizen science initiatives and fieldwork using wildlife tracking apps.

**Objectives of the study:**

- To Assessing the Effectiveness of Project-Based Learning
- To Exploring Integration of Technology in Zoology Curriculum
- To Investigating Interdisciplinary Collaborative Learning
- To Developing Innovative Teaching Strategies
- To Evaluating Student Learning Outcomes
- To Examining Student Perceptions and Engagement
- To Promoting Environmental Awareness and Conservation
- To Identifying Best Practices and Recommendations

Dimitra Kokotsaki et al. [1] explore the literature on PBL topic talk about ‘Project-based learning (PBL) is an active student-centred form of instruction which is characterised by students’ autonomy, constructive investigations, goal-setting, collaboration, communication and reflection within real-world practices.

Patrick Farren in [2] they focused on the studies is language teacher education. ‘Transformative pedagogy’ enhances the social-psychological model of autonomous language teaching and learning by underpinning it with an intercultural and moral-philosophical foundation.

Anis Rahmawati, Nunuk Suryani, Muhammad Akhyar, and Sukarmin [3] explain about a systematic literature review focuses on describing how technology integrated with PBL along with the investigation of what influencing the successfulness on PBL’s implementation by integration of technology.

Anazifa & Djukri [4] explaining about technology to enhance PBL is a learning model that engages students in real-world problem-solving activities allowing them to take ownership of their learning to create real product.

**Project-Based Learning (PBL) in Zoology:**

1. Wildlife Conservation Project. Design a project where students research and develop conservation plans for a specific endangered species. Tasks can include creating habitat models, assessing threats, and proposing practical conservation strategies. Encourage collaboration by assigning students to interdisciplinary teams, including biology, ecology, and environmental science majors.

2. Zoo Design Project. Have students collaborate on designing a virtual zoo, considering the ecological needs of different species. Include elements such as enclosure design, enrichment activities, and educational programs for visitors. This project can incorporate biology, ecology, and design elements, fostering teamwork and creativity.

3. Animal Behaviour Study. Assign groups of students to observe and docu-

ment the behaviour of a specific animal species. Use technology tools like wildlife cameras, GPS trackers, or sensors to gather data. Have students analyse the data to draw conclusions about the animal's behaviour and present their findings.

### **Technology Integration in Zoology:**

1. Virtual Zoo Tours. Utilize VR or AR applications to create immersive virtual zoo experiences. Students can explore different exhibits, observe animal behaviours, and learn about conservation efforts through interactive elements.

2. Wildlife Tracking Apps. Introduce students to mobile apps that use GPS and mapping technology to track wildlife movements. Students can engage in fieldwork to track and document the locations of animals, contributing to real-world conservation efforts [5].

3. Bioinformatics and DNA Analysis. Integrate bioinformatics tools and software for DNA analysis into the curriculum. Have students analyse genetic data to understand species relationships, genetic diversity, and population dynamics.

4. Citizen Science Initiatives. Engage students in citizen science projects using technology platforms that allow them to contribute to real scientific research. Examples include participating in bird counts, butterfly migrations, or wildlife monitoring programs through online platforms.

5. Virtual Dissections. Use virtual dissection software to enhance the learning of anatomy and physiology. This technology allows students to explore the internal structures of animals without the need for physical specimens.

6. Augmented Reality Habitats. Develop AR applications that overlay information about animal habitats when students point their devices at specific locations. This interactive tool can help students visualize and understand the relationship between animals and their environments.

### **Finding of the study**

This literature review effectively conveys the essence of the content it promises to deliver. It combines two key elements, PBL and technology integration, which are increasingly recognized as transformative pedagogical approaches in education.

The phrase “Transformative Pedagogies” suggests an innovative and impactful shift in teaching methods, which will likely intrigue educators seeking new approaches to engage students effectively. The mention of “Zoology Education” provides specificity, indicating the focus area of the content.

The use of “Confluence” highlights the synergy between project-based learning and technology integration, implying a harmonious blending of these methodologies. This suggests that the paper will explore how these approaches intersect and complement each other, offering readers insights into their combined potential in zoology education.

1. Educational Psychology Perspective. From this viewpoint, the integration of project-based learning and technology in zoology education can be seen as catering to diverse learning styles and fostering active engagement. Project-based learning encourages hands-on exploration and problem-solving, which aligns with constructivist theories of learning. Technology integration offers opportunities for in-

teractive simulations, multimedia resources, and virtual labs, enhancing students' understanding and retention of complex zoological concepts.

2. **Cognitive Science Perspective.** Cognitive science research suggests that active learning methods, such as project-based learning, promote deeper understanding and long-term retention of information compared to traditional lecture-based approaches. By engaging students in authentic zoological investigations and technological tools, educators can leverage cognitive processes like memory encoding, retrieval, and transfer, thereby facilitating more effective learning outcomes.

3. **STEM Education Perspective.** In the context of STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) education, the integration of technology and project-based learning in zoology classrooms aligns with broader efforts to promote interdisciplinary learning and real-world problem-solving skills. This approach fosters connections between zoological concepts and related fields such as ecology, genetics, and conservation biology, preparing students for careers that require cross-disciplinary competencies [6].

4. **Pedagogical Innovation Perspective.** Scholars focusing on pedagogical innovation may view the convergence of project-based learning and technology integration in zoology education as a response to the changing landscape of teaching and learning in the digital age. By embracing innovative methodologies, educators can adapt to students' evolving needs, enhance motivation and engagement, and better prepare them for the complexities of contemporary scientific inquiry and communication.

5. **Ecological Education Perspective.** From an ecological education standpoint, the incorporation of technology and project-based learning in zoology classrooms can facilitate experiential learning opportunities that promote ecological literacy and environmental stewardship. By engaging in hands-on projects and utilizing digital tools for data collection and analysis, students can develop a deeper appreciation for the interconnectedness of species and ecosystems, fostering a sense of responsibility towards biodiversity conservation.

### **Outcomes of the study**

1. **Infographics on Learning Outcomes.** Create infographics summarizing the positive impacts of the proposed pedagogical strategies, showcasing improvements in student engagement, understanding, and retention of zoological concepts.

2. **Comparison Charts.** Develop visual charts comparing the traditional teaching methods with the transformative pedagogies in terms of learning outcomes, student participation, and overall effectiveness.

3. **Student Testimonials.** Include visual elements such as quotes or testimonials from students who have experienced the project-based learning and technology integration methods. This can add a qualitative dimension to the outcomes.

4. **Before-and-After Scenarios.** Use visuals to depict scenarios before and after the implementation of the transformative pedagogies. This could illustrate changes in student performance, interest, or collaboration.

5. **Data Visualizations.** If there are quantitative data points related to the research outcomes, create visualizations such as graphs or charts to present this data.

For example, charts showing increased student achievement or engagement levels over time.

6. **Timeline of Implementation.** Develop a timeline visualizing the stages of implementing project-based learning and technology integration in zoology education, highlighting key milestones and their corresponding impacts.

7. **Concept Maps.** Construct concept maps to visually represent the interconnectedness of various elements, such as project-based learning, technology integration, and positive impacts on learning outcomes.

8. **Interactive Presentations.** Consider creating interactive presentations with multimedia elements such as videos, animations, or virtual walkthroughs to showcase the practical application and success stories of the proposed pedagogical strategies.

The integration of PBL and cutting-edge technologies in zoology education presents a transformative approach that enriches students' learning experiences and equips them with essential skills for real-world applications. Through initiatives such as wildlife conservation projects, virtual zoo designs, and animal behaviour studies, students engage in hands-on, interdisciplinary projects that simulate real-world scenarios [7]. Collaboration and problem-solving skills are nurtured, ensuring a holistic understanding of zoological concepts.

Simultaneously, the incorporation of technology, including VR, AR, wildlife tracking apps, bioinformatics, and virtual dissection software, offers dynamic platforms for exploration and discovery. Students immerse themselves in virtual zoos, track wildlife movements, and analyse genetic data, contributing to both their learning journey and real-world conservation efforts through citizen science initiatives.

By embracing this synergistic blend of PBL and technology, educators can cultivate a dynamic educational environment that empowers students to become active contributors to the field of zoology and advocates for the preservation of our planet's diverse ecosystems. As we reflect on the transformative impact of these methodologies, it becomes clear that they are not just innovative tools but essential pillars in shaping the future of zoological education and environmental stewardship.

### References

1. Kokotsaki D., Menzies V., Wiggins A. Project-based learning: A review of the literature. DOI: 10.1177/1365480216659733 // *Improving Schools*. 2016. Vol. 19. No. 3. P. 267–277.
2. Farren P. “Transformative pedagogy” in language teacher education. DOI: 10.5772/intechopen.89470 // *Second language acquisition – pedagogies, practices and perspectives* / Ed. C. Savvidou. IntechOpen, 2020. [Internet resource]. – URL: <https://www.intechopen.com/chapters/70044> (assessed: 30.03.2025).
3. Technology-integrated project-based learning for pre-service teacher education: a systematic literature review / A. Rahmawati, N. Suryani, M. Akhyar, Sukarmin. DOI: 10.1515/eng-2020-0069 // *Open Engineering*. 2020. Vol. 10. No. 1. P. 620–629.
4. Anazifa R. D., Djukri. Project-based learning and problem-based learning: are they effective to improve student's thinking skills? DOI: 10.15294/jpii.v6i2.11100 // *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*. 2017. Vol. 6. No. 2. P. 346–355.

5. Wildlife Tracking Apps [Internet resource]. – URL: <https://androidlounge.net/8-wildlife-tracking-apps/> (assessed: 30.03.2025).
6. Handbook of research on STEM education / Eds. C. Johnson, M. Mohr-Schroeder, T. Moore, L. English. New York, NY : Routledge, 2020. 526 p.
7. Yu H. Enhancing creative cognition through project-based learning: An in-depth scholarly exploration. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e27706 // Heliyon. 2024. Vol. 10. No. 6. Article No. e27706.

## **THE CONSTRUCTION OF COLLEGE ENGLISH SPEAKING ECOLOGICAL CLASSROOM FROM THE PERSPECTIVE OF ECOLINGUISTICS – A CASE STUDY OF LIAONING INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

***Li Chen<sup>1</sup>, Suwaree Yordchim<sup>1</sup>, Suphat Sukamolson<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok, Thailand, 504373747@qq.com,*

<sup>2</sup> *Maejo University, Chiang Mai, Thailand, ssuphatz@gmail.com*

This paper investigates the construction of an ecological classroom for college-level English speaking courses, guided by the theoretical framework of ecolinguistics. Focusing on a case study of Liaoning Institute of Science and Technology, the study evaluates existing pedagogical challenges, such as the prevalent issues in large classroom instruction, teacher-centered methodologies, limited opportunities for practice, and inadequate assessment frameworks. Using a mixed-methods approach, the research analyzes quantitative performance assessments alongside qualitative feedback from surveys and interviews. Findings reveal that students demonstrate significant progress in speaking proficiency, with reduced anxiety and increased willingness to communicate. Recommendations include curriculum adjustments, professional development for instructors, and the implementation of iterative assessment mechanisms. The paper concludes with implications for policy development, future research, and the advancement of ecological practices in language education.

**Keywords:** ecolinguistics, ecological classroom, English speaking.

English is widely accepted as a global language in the world, playing a vital role in China, acting as a bridge to global opportunities and international engagement. In Liaoning Institute of Science and Technology, college English courses traditionally operate within large classroom settings that often rely on teacher-centered methods. As class sizes increase, the effective development of oral communication skills becomes increasingly challenging and the students are shy to speak English in front of others. Over time, students experience difficulties engaging in active practice, and the limited practice application in such settings frequently fails to provide opportunities for meaningful linguistic interactions. Furthermore, the current assessment methods tend to focus on discrete linguistic elements rather

than communicative competence, resulting in a gap between instruction and practice.

Ecolinguistics – a field that examines the relationship between language, culture, society, and the environment – offers an alternative theoretical framework that can potentially inform a more holistic design of language classrooms. By conceptualizing language as an ecosystem, ecolinguistic theory emphasizes the interdependence of language learners, teachers, materials, and the learning environment. As the contemporary educational landscape increasingly emphasizes sustainability, adaptability, and learner engagement, an ecological perspective on language teaching is both timely and necessary [1–6].

A total of 200 students are selected samples by means of a systematic random sample technique (Table 1). The participants will come from various academic disciplines, but they will all share the common goal of improving their spoken English skills.

*Table 1*

**The questionnaire results of Learning Environment Factors**

| N              | Valid | Variables Personal Linguistic factors(PLD) |       |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                |       | PLD1                                       | PLD2  | PLD3  | PLD4  | PLD5  | PLD6  | PLD7  |
|                |       | 200                                        | 200   | 200   | 200   | 200   | 200   | 200   |
| Mean           |       | 3.45                                       | 3.52  | 3.47  | 3.36  | 3.34  | 3.36  | 3.36  |
| Std. Deviation |       | 1.031                                      | 0.951 | 0.992 | 1.041 | 0.948 | 1.066 | 1.023 |
| Percentiles    | 25    | 3                                          | 3     | 2.25  | 3     | 3     | 3     | 3     |
|                | 50    | 4                                          | 4     | 4     | 3     | 3     | 4     | 4     |
|                | 75    | 4                                          | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |

**Big Classroom Dynamics:** The scale of large classrooms creates a learning environment in which individual participation is minimal. With hundreds of students sharing a single instructional space, opportunities for spontaneous practice and genuine interaction are severely limited.

The most significant concern is large class sizes, with 68% of students reporting that their classes are overcrowded. This issue has a mean score of 3.71. Similarly, the lack of modern classrooms and inadequate facilities (Item 10) is another major barrier, with 67.5% of students expressing dissatisfaction. Teacher-centered instructional methods (Item 14) appear to be a relatively minor concern, as 52% of students express discontent with traditional teaching approaches, resulting in a moderate mean score of 3.19 suggest that the primary focus should be on enhancing classroom facilities and managing class sizes to create a more effective learning environment for English-speaking instruction.

**Teacher-Centered Instruction:** Predominant teaching methods in these settings are teacher-centric, leading to a passive learning paradigm in which learners have restricted interaction with their peers and minimal control over their own learning processes.

**Limited Practice Applications:** The current curriculum emphasizes theoretical knowledge over applied speaking practice, resulting in a deficit of practical speaking opportunities that are critical for skill development.

**Lack of Authentic Assessment:** Traditional assessment practices tend to favor written evaluations or small-scale oral testing, which fail to capture the dynamic and context-dependent nature of spoken language in authentic communication.

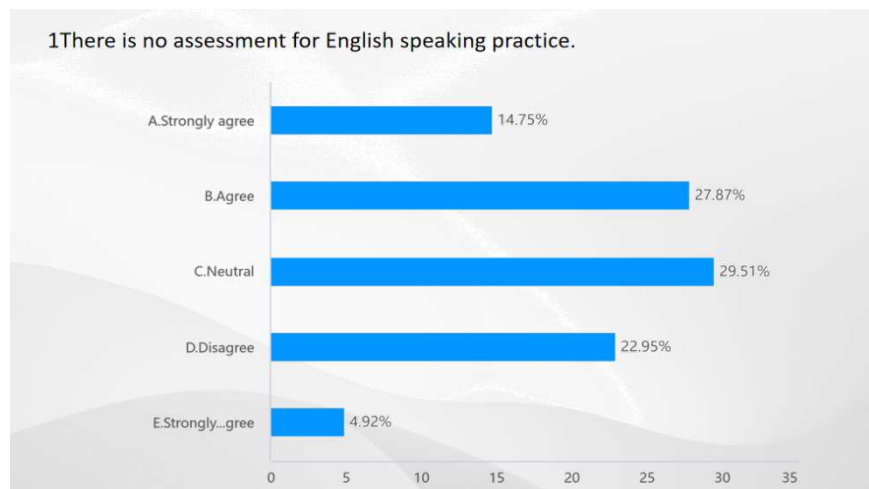


Fig. The questionnaire results of Learning Environment Factors-3

Fig. indicates mixed perceptions on the absence of English speaking assessments: 29.51% remain neutral, while 42.62% (Agree + Strongly agree) believe assessments are lacking. A smaller portion (27.87%) disagrees. The data highlights a notable concern about insufficient speaking evaluations.

Ecolinguistics, a new subfield of linguistics, examines how language both reflects and influences the ecological relationships between humans and their environments. Seminal works by scholars such as Joachim Schmid and Alwin Fill in recent decades have argued that language is not a neutral medium but is instead deeply embedded in cultural, social, and environmental contexts. Ecolinguistics invites educators to consider the implications of linguistic practices on social equity, environmental sustainability, and cultural diversity. This perspective challenges the traditional notion of language teaching as a decontextualized, standardized practice and instead promotes an integrative approach that acknowledges the interactions between language, society, and the natural environment.

Applying ecolinguistic principles to classroom settings necessitates an environment where multiple voices and perspectives co-exist and interact meaningfully. In an ecological classroom, linguistic inputs and outputs are not only learner-generated but are also contextually anchored to the real-world communicative needs of students. Therefore, an ecological approach encourages teacher and learner collaboration, adaptability to context, and a dynamic curriculum that reflects the realities of language use in the surrounding environment.

The concept of a “classroom ecology” extends beyond physical space to include the social, cultural, and pedagogical dimensions that affect language learning. Research in classroom ecology typically examines how physical arrangements, teacher roles, technological integration, and social interactions contribute to the creation of a dynamic learning ecosystem. Scholars have noted that when class-

rooms are designed with these factors in mind, students are more likely to engage with the material actively and develop higher-order communication skills.

Studies focusing on large classroom environments have emphasized the importance of shifting from teacher-centered approaches to more interactive, student-centered formats. For instance, collaborative learning, peer feedback, and problem-based learning have shown promise in mitigating the challenges of large classes. The integration of technology, such as language labs and interactive applications, also plays a pivotal role in transforming traditional teaching environments into adaptive ecological systems that better support oral proficiency development.

#### Challenges in College English Speaking Instruction

Several key issues have been identified in the literature regarding college English speaking instruction, particularly in large classroom settings:

1. **The Big Classroom Condition:** Research has shown that large classrooms often hinder individual participation, limit opportunities for spontaneous interaction, and exacerbate issues related to noise and attention management. These factors undermine the development of communicative competence, especially in speaking, where real-time interaction is essential.

2. **Teacher-Centered Methodologies:** Traditional instructional methods frequently rely on lectures and rote learning, which leave little space for active student engagement. This imbalance places undue pressure on teachers and marginalizes the role of the learner as an active participant in the learning process.

3. **Insufficient Practice Applications:** Many studies report that even when speaking practice is incorporated into the curriculum, it is often perfunctory, lacking in contextual relevance or authenticity. Consequently, students develop a limited ability to transfer classroom skills to real-life communication settings.

4. **Ineffective Assessment Strategies:** Assessment in college English courses tends to focus on accurate linguistic elements, while neglecting communicative competence, fluency, and flexibility. This misalignment between instruction and assessment further undermines the learning process.

#### Research Objectives

1. To analyze the impact of large classroom settings on speaking practice and student engagement in college English courses.

2. To critically evaluate the traditional teacher-centered pedagogical model and its limitations in promoting active language use.

3. To design an ecological classroom model based on ecolinguistic theory and test its application within the context of Liaoning Institute of Science and Technology.

#### Research Methodology

**Research Design.** This study adopts a mixed-methods research design that integrates quantitative and qualitative research approaches. The design was chosen to capture a comprehensive picture of classroom dynamics, teacher practices, student experiences, and the overall effectiveness of an ecological classroom model.

**Quantitative Component.** A structured survey was administered to a statistically significant sample of students to measure levels of engagement, perceived ef-



fectiveness of speaking practice, and satisfaction with current assessment practices. Standardized questionnaires were used to collect data on classroom interaction, student autonomy, and satisfaction with the learning environment.

**Qualitative Component.** Qualitative data were collected through semi-structured interviews and classroom observations. Interviews were conducted with both students and teachers to gain in-depth insights into their perceptions of the classroom dynamic and the limitations of traditional methodologies. Classroom observations provided real-time data on how large classes affect oral participation and the practical use of speaking exercises.

**Hypothesis.** Implementing an ecological classroom model grounded in eco-linguistic theory will lead to enhanced student engagement, increased practical speaking opportunities, and improved assessment practices in college English speaking courses.

This hypothesis was tested against the null hypothesis that there would be no significant difference in student engagement, speaking practice quality, or assessment outcomes following the adoption of an ecological classroom approach.

**Participant.** The study was conducted in Liaoning Institute of Science and Technology and approximately 200 undergraduate students enrolled in college English speaking courses participated in the survey. Among these, a subset of 60 students volunteered for in-depth interviews. Students were selected from various academic years to ensure a representative sample across different levels of language proficiency and classroom experience.

## Results and Findings

### Pre-test and post-test statistics analysis

The study spanned 16 weeks, during which pre-tests (administered at the beginning) and post-tests (conducted two months later) were used to evaluate students' topic discussion scores. The assessment followed the CET-SET4 standards, which measure three key aspects of language ability: accuracy, coherence, and flexibility, each scored out of 5, with a total possible score of 15. To ensure reliability, three teachers independently rated the students' performance, and the final scores were determined by averaging their evaluations.

From the table 2, we can see, that accuracy and coherence improved the most, showing that students became clearer and more logical in their speech; Total speaking performance improved by 2.4 points, confirming the effectiveness of the intervention; Flexibility showed the smallest gain (+0.34 points), suggesting students still struggle with adapting their speaking style. The results show significant improvement in English-speaking abilities, confirming the effectiveness of the app in enhancing accuracy, coherence, and overall fluency.

*Table 2*

**The mean and SD of pre-test and post test**

| Category    | Pre-test Mean | Post-test Mean | Pre-test SD | Post-test SD |
|-------------|---------------|----------------|-------------|--------------|
| Accuracy    | 2.27          | 3.43           | 0.482       | 0.647        |
| Coherence   | 1.85          | 2.75           | 0.481       | 0.571        |
| Flexibility | 2.23          | 2.57           | 0.673       | 0.647        |
| Total (Sum) | 6.35          | 8.75           | 1.233       | 1.323        |

As for the effect size, it measures the strength of the difference between pre-test and post-test scores (Table 3). Accuracy (0.693) and Coherence (0.681) have moderate-to-large effects while Flexibility (0.510) has a moderate effect. The total score (1.355) has a very large effect, so it means that the overall speaking ability improvement is highly significant. The students improved significantly in accuracy, coherence, flexibility, and total speaking ability after the intervention.

*Table 3*

**The effect size of pre-test and post test**

| Category    |           |                    | Standard-ized | Point estimate | 95% confidence interval |       |
|-------------|-----------|--------------------|---------------|----------------|-------------------------|-------|
|             |           |                    |               |                | Lower                   | Upper |
| Accuracy    | Pre-test  | Cohen's d          | 0.693         | 1.684          | 1.286                   | 2.075 |
|             | Post-test | Hedges' correction | 0.697         | 1.673          | 1.277                   | 2.062 |
| Coherence   | Pre-test  | Cohen's d          | 0.681         | 1.321          | 0.970                   | 1.665 |
|             | Post-test | Hedges' correction | 0.686         | 1.312          | 0.964                   | 1.654 |
| Flexibility | Pre-test  | Cohen's d          | 0.510         | 0.654          | 0.372                   | 0.931 |
|             | Post-test | Hedges' correction | 0.513         | 0.650          | 0.370                   | 0.925 |
| Sum         | Pre-test  | Cohen's d          | 1.355         | 1.771          | 1.361                   | 2.174 |
|             | Post-test | Hedges' correction | 1.364         | 1.759          | 1.352                   | 2.161 |

Starting with the highest mean score, EP4 (4.20) stands out as the most significant result (Table 4). This metric, tied to the Energy phase, reflects a strong motivation among students to participate in speaking activities. A mean of 4.20, approaching the upper limit of a 5-point Likert scale, underscores students' enthusiasm for interactive tasks such as discussions, role-plays, or collaborative exercises. This high score suggests that the activities designed to activate prior knowledge and create a dynamic classroom environment successfully fostered student involvement.

*Table 4*

**The questionnaire result of satisfaction**

| Category       |         | EP1   | EP2   | EP3   | EP4   | EP5   | SP1   | SP2   | SP3   | AP1   | AP2   | AP3   |
|----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N              | Valid   | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    | 60    |
|                | Missing | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Mean           |         | 3.25  | 3.75  | 3.77  | 4.20  | 3.92  | 3.75  | 3.65  | 3.62  | 3.75  | 3.70  | 3.78  |
| Std. deviation |         | 1.271 | 1.174 | 0.981 | 0.898 | 1.062 | 1.083 | 1.102 | 1.236 | 1.159 | 1.109 | 1.059 |
| Sum            |         | 195   | 225   | 226   | 252   | 235   | 225   | 219   | 217   | 225   | 222   | 227   |

Classroom observations revealed that students exhibited greater engagement compared to traditional teaching methods. The “activate” phase proved particularly effective in encouraging participation, as students engaged in real-life speaking tasks that built their confidence. While some students initially hesitated, their involvement increased over time as they adapted to the interactive learning environment. Group discussions and peer feedback were instrumental in fostering a collaborative learning atmosphere, helping students become more comfortable speaking English. However, challenges included some students struggling with the transition from conventional learning habits, requiring additional support and adaptation. In-

structors also needed more preparation time to implement new strategies effectively, though they gradually developed techniques to facilitate student learning. Overall, the new approach significantly improved students' fluency, pronunciation accuracy, and confidence in speaking English, reducing anxiety and fostering a more natural, supportive classroom environment.

**Recommendations.** It is essential to emphasize real-world communication by expanding role-plays and debates. Traditional classroom settings often limit students' exposure to practical speaking scenarios. By incorporating structured role-playing exercises and organized debates in the small student-centered classroom, students can develop their ability to think critically and respond spontaneously in English. These activities simulate real-life situations, helping learners improve their fluency and adaptability in communication.

The findings from the case study in Liaoning Institute of Science and Technology provide preliminary yet compelling evidence that an ecological classroom model offers tangible benefits for college English speaking instruction. The analysis demonstrates that traditional large classroom dynamics, teacher-centered instruction, limited practical speaking applications, and conventional assessment practices significantly hinder the development of genuine communicative competence. In contrast, an ecological approach that embraces interconnectivity, adaptability, and learner autonomy creates a more engaging and effective environment.

While the study offers valuable insights, there are limitations that warrant further investigation. The sample size, though adequate for a case study, may be expanded in future research to include multiple institutions for cross-validation. Additionally, the duration of the pilot ecological sessions was relatively short, suggesting that a longitudinal study may more accurately capture the long-term impacts of ecological classroom practices.

Future research should also explore the integration of digital technologies in the ecological classroom, particularly in the post-pandemic landscape where hybrid and online learning models are becoming commonplace. Further exploration into the socio-cultural dynamics of classroom interactions and their interplay with language acquisition will offer deeper insights into the scalability of the ecological approach across diverse educational contexts.

This study underscores the transformative potential of constructing an ecological classroom for college English speaking courses from the perspective of ecolinguistics. By addressing challenges inherent in large classroom settings – such as limited speaking practice, teacher-centered instruction, and ineffective assessment practices – this study demonstrates that an integrated, ecological approach can significantly enhance student engagement and communicative competence.

The successful implementation of an ecological classroom at the Liaoning Institute of Science and Technology not only validates the theoretical insights provided by ecolinguistics but also offers practical solutions to entrenched educational challenges. As institutions of higher learning grapple with the demands of modern language education, the ecological classroom model represents a promising paradigm for nurturing active, reflective, and autonomous language learners.

It is our hope that this research will inspire further dialogue and experimentation among educators, policy-makers, and researchers. By continuing to refine and expand upon the ecological framework in language education, future initiatives can contribute to a more sustainable, adaptive, and equitable learning environment that meets the diverse needs of students in a globalized world.

#### References

1. Stibe A. Ecolinguistics: language, ecology and the stories we live by. DOI: 10.4324/9780367855512. London : Routledge, 2020. 260 p.
2. Canagarajah S. Translingual practice: global Englishes and cosmopolitan relations. London; New York : Routledge, 2013. 216 p.
3. Kirton J. Dialogue and language education in the 21st century. Palgrave Macmillan, 2012.
4. Norton B. Identity and language learning: extending the conversation. Bristol : Multilingual Matters, 2013. 216 p.
5. Savignon S. J. Interpreting communicative language teaching: contexts and concerns in teacher education. New Haven; London : Yale University Press, 2002. 227 p.
6. Materials development in language teaching / Ed. B. Tomlinson. Cambridge : Cambridge University Press, 2011. 368 p.

### АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

*М. О. Кузменко, М. В. Тапорчикова, В. Ф. Писаренко*  
*Белорусско-Российский университет,*  
*г. Могилев, Республика Беларусь, fisbru@tut.by*

В статье рассмотрены основные задачи экологического образования и воспитания – формирование экологической культуры. Воспитание экологической культуры личности определено универсальным значением природы для человека и общества и включает в себя знания о компонентах и их взаимосвязях в системе «человек-общество-природа», а также нравственное и эстетическое отношение к природе.

Ключевые слова: экологическое воспитание, экология, обучающиеся, экологическое образование, окружающая среда.

Формирование экологического сознания, бережного отношения ко всему живому – одна из самых насущных задач современного воспитания. Экологическое воспитание – процесс непрерывного, систематического и целенаправленного формирования эмоционально-нравственного, гуманного и бережного отношения человека к природе и морально-этических норм поведения в окружающей среде. Экологическое воспитание направлено на формирование и развитие у обучающихся ответственного взаимодействия с окружающей средой.

В настоящее время в Республике Беларусь идет становление национальной системы образования, ориентированной на то, чтобы обеспечить доступность и качество образования для каждого ребенка. Важной основой устойчивого развития страны является экологическое просвещение общества, экологическая культура личности, ответственность всех живущих на Земле, и лично каждого за состояние экологической среды [1].

В педагогике важную роль имеет проблема экологического образования и воспитания, формирования экологического мировоззрения, сознания и самосознания, экологического долга и ответственности, экологического поведения, экологического опыта. Основной целью экологического образования является формирование с раннего возраста гуманной и социально активной личности, способной понимать и ценить окружающий мир, природу, а также заботиться о них. Это включает в себя создание основополагающей системы ценностей в отношении окружающей среды [2].

Ответственное отношение к природе является сложной характеристикой личности. Оно подразумевает осознание природных законов, влияющих на жизнь человека, и выражается в соблюдении нравственных и правовых норм в области природопользования. Оно также включает активную созидательную деятельность по изучению и охране окружающей среды, продвижение идей грамотного природопользования и противостояние всем факторам, наносящим вред природе.

Главной задачей экологического образования в различных образовательных учреждениях является создание условий для формирования у воспитанников основ экологического мировоззрения, элементов экологической культуры, реализация новых впечатлений об универсальности и ценности природы.

Цель экологического воспитания – сформировать ответственное отношение обучающихся к окружающей среде, которое строится на базе экологического сознания. Для достижения этой цели необходимо воспитать у обучающихся нравственные и экологические принципы рационального природопользования, содействовать распространению идей его оптимизации, активно вовлекать студентов в изучение и охрану природных ресурсов родного края. Кроме того, важно сформировать экологически осведомленных и нравственно воспитанных будущих специалистов и граждан своей страны.

Экологическое воспитание реализуется через совместное решение следующих задач:

- формирование у обучающихся целостной системы знаний о современных экологических проблемах и возможных способах их решения;
- формирование мотивов, потребностей и привычек к экологически безопасному поведению, деятельности и здоровому образу жизни;
- развитие прикладных знаний, практических навыков, приобретение навыков рационального природопользования и умения оценивать состояние природной среды и принимать правильные решения по ее улучшению;

– формирование у обучающихся готовности к активной защите окружающей среды: умение анализировать экологическую ситуацию, отношение к природе как к универсальной ценности, осознание чувства ответственности.

Содержание экологического воспитания воспринимается обучающимися в ходе их разнообразной деятельности. Каждая из форм организации образовательного процесса стимулирует разные виды познавательной деятельности студентов: самостоятельная работа с различными источниками информации позволяет накопить фактический материал, раскрыть сущность проблемы; исследование формирует опыт принятия целесообразных решений, развивает творческие способности, позволяет внести реальный вклад в изучение и сохранение местных экосистем, способствует пропаганде ценных идей. Основные положения экологического образования нашли отражение в ряде законодательных актов и программ, вошли в Национальную стратегию устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года.

Принципы организации экологического воспитания студенческой молодежи:

– процесс формирования ответственного отношения к природе является составной частью общей системы воспитания, актуальным ее направлением;

– процесс формирования экологической культуры строится на взаимосвязи глобального, регионального и краеведческого подходов к раскрытию современных экологических проблем;

– в основе формирования бережного отношения к природе лежит единство интеллектуального, эмоционального восприятия окружающей среды и практической деятельности по ее улучшению.

Процесс формирования экологической культуры студенческой молодежи опирается также на принципы систематичности, непрерывности и междисциплинарности содержания и организации экологического образования.

Воспитание экологической культуры личности определяется универсальным значением природы для человека и общества и включает в себя знания о компонентах и их взаимосвязях в системе «человек-общество-природа», а также нравственное и эстетическое отношение к природе. Экологическое воспитание включает в себя просветительскую, общественно полезную и исследовательскую деятельность обучающихся; это, в свою очередь, призвано оказывать определенное влияние на сознание человека и его поведение по отношению к природе, повышать экологическую грамотность людей [3].

В Беларуси созданы все условия для активного участия детей и молодежи в экологических мероприятиях в различных формах природоохранной деятельности: диалоговые площадки на базе школ, вузов, каникулярное время на базе оздоровительных лагерей, экскурсии на особо охраняемых природных территориях, субботники, волонтерское движение. В стране ежегодно проводится свыше 20 республиканских акций и конкурсов природоохранной направленности: «День матери Земли», «День без автомобиля», «Посади свое дерево», «Вместе за чистую зеленую страну», «Чистый водоем» и другие. За-

дача экологического воспитания состоит в формировании экологических знаний, воспитании любви к природе, стремлении беречь, приумножать ее, формировании умения и навыков деятельности в природе. Взаимодействие человека с природой и рациональное использования природных ресурсов – глобальная проблема современности. Важнейший аспект в ее решении – экологическое воспитание подрастающего поколения.

#### **Библиографический список**

1. Карако П. С. Экологическое образование в Республике Беларусь: состояние и направления совершенствования // Экалопя. 2009. № 10. С. 8–11.
2. Актуальные проблемы экологического образования и воспитания : сб. статей / под науч. ред. Н. К. Катович. Минск : НИО, 1999. 143 с.
3. Борисевич А. Р. Экологическое образование в контексте концепции устойчивого развития // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия V. История, философия, филология. 2010. Вып. 18. С. 10–14.

### **ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК «НУРГУШ» – ЦЕНТР ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ПОДРАСТАЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

*Л. В. Кондакова<sup>1, 2</sup>, Т. Я. Ашихмина<sup>1, 2</sup>*

*<sup>1</sup> Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,  
ecolab2@gmail.com,*

*<sup>2</sup> ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия*

Государственным природным заповедником (ГПЗ) «Нургуш» проводится большая и интересная работа по формированию экологической культуры подрастающего поколения. Приведена информация о методах и формах работы.

Ключевые слова: ГПЗ «Нургуш», формы и методы экологического образования и воспитания детей и подростков.

25 мая 2025 г. заповеднику «Нургуш» исполнится 31 год. Это первый и пока единственный заповедник на территории Кировской области. В его состав входят два участка: «Нургуш», располагается в Котельничском районе, и «Тулашор» в Нагорском районе Кировской области. Природными особенностями участка «Нургуш» являются елово-дубовые леса, многочисленные озера, хищные рыбоядные птицы (скопа, орлан-белохвост), занесенные в Красную книгу России и Кировской области. На территории северного участка заповедника «Тулашор» произрастают древние таежные леса. Директором ФГБУ «Государственный заповедник «Нургуш» является Елена Михайловна Тарасова, известный специалист в области флоры и фауны региона, Заслуженный эколог Кировской области. Заповедник «Нургуш» играет важную роль в изучении и сохранении биологического разнообразия нашего края, не-

оценима его роль в экологическом образовании и воспитании детей, подростков и взрослого населения области. Изучение и сохранение биологического разнообразия природы региона – важнейшая задача заповедника «Нургуш». Решение этой задачи во многом зависит от населения, поэтому важным направлением работы заповедника «Нургуш» является эколого-просветительская деятельность, которая проводится с момента создания заповедника.

В структуре заповедника создан и функционирует отдел экологического просвещения, развивается экологический и познавательный туризм. Ежегодно специалисты заповедника занимаются повышением уровня экологической грамотности населения, формируют бережное отношение детей и взрослых к природе, знакомят с природными объектами, проводят акции, праздники, конкурсы, выставки, занятия и семинары. Большое внимание уделяется знакомству с особо охраняемыми природными территориями Кировской области и России. Сотрудниками заповедника ежегодно проводится «Марш парков» – это международная природоохранная акция для поддержки заповедников, национальных парков, заказников и памятников природы. Она способствует вовлечению детей и молодежи в активную и сознательную защиту природы. Проводятся экологические праздники: «День биоразнообразия», детский день рыбака «Поплавок», праздник «Иван Травник», «Осенины в Нургуше». Посещение участниками данных мероприятий, музейного комплекса заповедника и экологических троп помогает ближе познакомиться с природой и обитателями заповедной территории. Большой интерес у детей и подростков вызывают музеи заповедника: «Логово Йети», музей «Легенды «Нургуша», эколого-этнографическая экспозиция под открытым небом «Парга».

Государственный заповедник «Нургуш» ежегодно организует творческие и научно-популярные конкурсы: «Птица года» (февраль–март), «Марш парков» (апрель–май), рисунки на тему «Мир заповедной природы», «Покормите птиц» (октябрь–ноябрь), «Новогодний конкурс творческих работ» (ноябрь–декабрь).

Сотрудниками заповедника проводятся учебные экскурсии по территории заповедника, 1-дневные и 2-дневные походы, мастер-классы. Для повышения уровня знаний детей и школьников об особо охраняемых природных территориях Российской Федерации и Кировской области к 650-летию г. Кирова заповедник «Нургуш» подготовил лекторий «История развития региональных и федеральных ООПТ Кировской области». Он организован для классов и детских объединений, рекомендуемый возраст участников – 3–8 класс. Заповедник приглашает школьные и семейные группы на пешие, велосипедные и лыжные экскурсии, экскурсии по музейному комплексу заповедника и прогулки по экологическим тропам. Протяженность экологических троп от 0,5 до 9 км: «Заячья поляна», «Тропа Йети», «Малый полигон», «Здравствуй, бобр!», «Полигон».

С 2016 г. заповедником выпускается ежеквартальное издание «Государственный заповедник «Нургуш», издано 36 номеров. Главным редактором из-



дания является Е. М. Тарасова. Тираж каждого номера 999 экземпляров. Интересная и важная информация в каждом тираже издания. Один из номеров газеты «Нургуш» (№ 2, 2023 г.) знакомит читателей с лягушками, змеями и ящерицами. Это обычные и малозаметные обитатели лесов, лугов и болот. Видовое разнообразие орнитофауны заповедника – 224 вида (№ 3 (31), 2023 г.). Дается информация о птицах, обитающих в заповедных лесах, а также в крупных парках и лесных массивах области. Краткие характеристики объектов дополняют великолепные авторские фотографии сотрудников заповедника. Самая многочисленная группа животных, обитающих в заповеднике – насекомые, их около 2,5 тысяч видов. В заповеднике «Нургуш» охраняется 508 видов грибов (№ 1 (25) 2022 г.). Грибы – обширная группа организмов, выделенных в самостоятельное царство. Заповедник является местом обитания 107 видов животных и растений, занесенных в Красные книги России и Кировской области. Знакомство с северным участком заповедника «Тулашор» (№ 4 (24) 2021 г.).

Главная книга заповедника – Летопись природы – основной научный документ, в котором записываются результаты наблюдений за природными процессами и явлениями. Она составляется ежегодно на основе отчетов научных сотрудников заповедника, а также информации специалистов других научно-исследовательских учреждений, которые работают на его территории. В Летописи приводятся наблюдения по флоре, геоботанике, фенологии, орнитофауне, фауне млекопитающих, насекомых. Приводятся новые данные о «краснокнижных» видах региона.

Желаем заповеднику «Нургуш» дальнейших успехов в изучении и сохранении природы родного края.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка состояния трансформированных экосистем подзоны южной тайги, методические подходы к их биоремедиации», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 125021402208-5.*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИДАКТИЧЕСКИХ ИГР С ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ КАК СРЕДСТВА МОТИВАЦИИ УЧАЩИХСЯ К ХИМИИ**

**В. А. Чайковская, Л. В. Даровских, Е. В. Береснева**  
*Вятский государственный университет,  
г. Киров, Россия, sr11345@vyatsu.ru*

В статье представлен опыт использования дидактических игр в преподавании химии как средств пропаганды химических знаний, представлен пример использования игровой формы обучения во внеурочной деятельности по химии, проанализировано влияние игровой деятельности на развитие мотивации к учебному предмету «Химия».

Ключевые слова: дидактические игры, мотивационный компонент, химико-экологические проблемы.

В современном мире, где есть доступ к большому объему информации, а ученики зачастую не знают, как ею правильно воспользоваться, имеется потребность в обучении школьников умению работать с информацией, особенно на таких дисциплинах, как химия, которая воспринимается учениками как сложная наука. Помочь в этом может использование эффективных методов преподавания, одним из которых является метод дидактических игр, который может значительно повысить мотивацию учащихся к химическим знаниям [1].

Необходимость использования дидактических игр как метода обучения школьников в основной школе показана в работах ведущих отечественных педагогов, таких как, Л. С. Выготский, А. В. Запорожец и др. [2, 3].

Л. С. Выготский, анализируя значение игры, подчеркивал, что с возрастом игра не только не исчезает, но, наоборот, проникает во все сферы деятельности ученика. «В школьном возрасте, говорил он, – игра не умирает, а становится частью отношения к действительности. Она продолжает свое существование в школьном обучении и труде...».

Освоение новой учебной деятельности, такой как химия, происходит более эффективно при использовании дидактических игр в учебном процессе. На начальном этапе изучения нового предмета возникают значительные трудности, включающие принятие новой роли – изучение химии и формирование необходимых навыков и умений. Дидактическая игра в значительной степени помогает преодолеть эти трудности [2].

А. В. Запорожец, рассматривая значение дидактической игры, акцентировал внимание на том, что «необходимо сделать так, чтобы дидактическая игра служила не только средством освоения конкретных знаний и навыков, но и способствовала всестороннему развитию ученика» [3].

Включение экологических знаний в содержание уроков химии проводится недостаточно из-за малого количества учебных часов в неделю. Однако способствовать повышению экологической культуры учащихся вполне можно на данной дисциплине [4].

Целью данной работы является теоретическое обоснование, разработка и реализация в школьной практике методики применения дидактических игр как средства взаимосвязи химических и экологических знаний, а также анализ их влияния на мотивацию школьников и усвоение учебного материала.

Педагогический эксперимент проводился в 8-х классах МОАУ СОШ с УИОП № 37 г. Кирова. Учащиеся 8-го «а» класса были экспериментальной группой, а учащиеся 8 «г» класса – контрольной. Выбор групп основывался на том, что в классах примерно одинаковое количество детей, количество мальчиков и девочек равно, успеваемость учащихся по химии приблизительно одинаковая. Учитывалось и углубленное изучение предметов

в этих классах: 8 «а» класс с углубленным изучением английского языка, а 8 «г» – математики.

Для исследования развития мотивации обучающихся был использован метод тестирования (тест-опросник МУН по А. А. Реану) [5]. Перед тем как приступить к эксперименту, было проведено начальное тестирование (рис. 1).

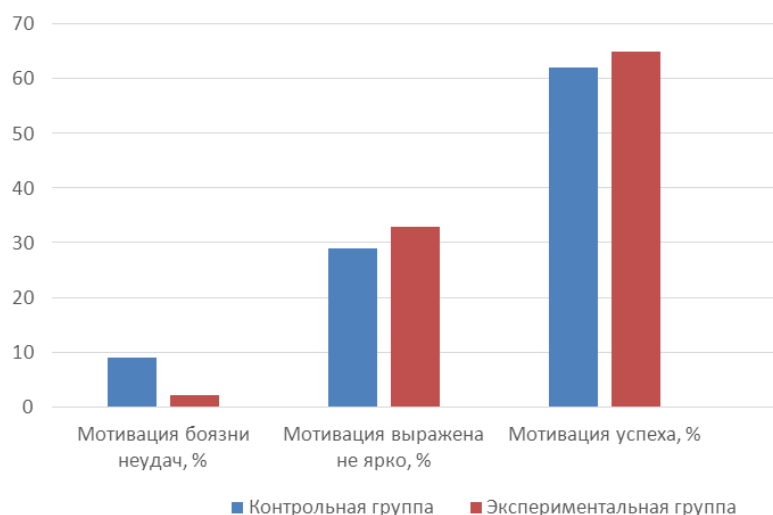


Рис. 1. Оценка мотивации учащихся в учебной деятельности при входном тестировании

Первичное тестирование выявило, что в контрольном и экспериментальном классах количество детей с мотивацией к успеху имеет небольшую разницу (62% и 65%). Также наблюдаются незначительные количественные различия детей со слабо выраженной мотивацией (29% и 33%). Мотивация боязни неудач у учеников контрольной группы немного выше, чем у экспериментальной (9% против 2%).

Для дальнейшего развития мотивации на уроках химии через экологический компонент мы применяли различные формы проведения химических игр: игра с предметами, настольная игра (лото, домино, химические шашки), химический турнир и т. д. Для 8 классов были проведены игры по темам «Воздух как смесь газов», «Газовые законы», «Кислород», а также урок обобщения знаний по химико-экологическим проблемам и два внеклассных мероприятия.

По окончании эксперимента на уроках химии было проведено итоговое тестирование как в экспериментальной, так и в контрольной группах для оценки уровня мотивации к учебной деятельности. Результаты итогового контроля можно увидеть на рисунке 2.

Эксперимент показал, что процент учеников с мотивацией успеха в экспериментальной группе увеличился на 3% в отличие от контрольной группы, в которой по тестированию изменений не произошло. Также в экспериментальном классе не осталось учеников с мотивацией боязни неудач. При использовании игр экспериментальная группа более увлеченно и активно ра-

ботала в ходе учебы, контрольная группа провела учебный процесс без включения игр и была менее активна на уроках.

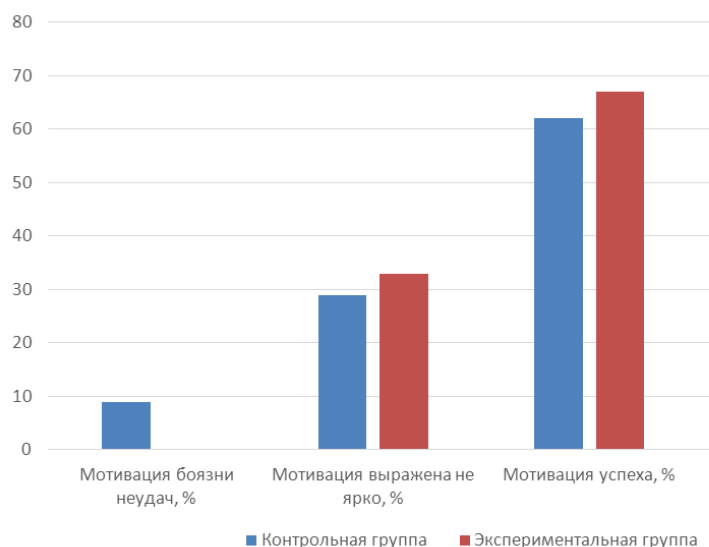


Рис. 2. Оценка мотивации учащихся в учебной деятельности при повторном тестировании

Можно сделать вывод, что использование дидактических игр через экологический компонент на уроках и внеурочных занятиях благоприятно влияет на развитие мотивации обучающихся. Дидактические игры способствуют взаимосвязи химических и экологических знаний, а также помогают формированию экологической культуры.

#### Библиографический список

1. Опарина С. А. Роль дидактических игр в процессе обучения химии // Обучение и воспитание: методики и практика. 2015. № 18. С. 119–124.
2. Выготский Л. С. Игра и ее роль в психическом развитии ребенка // Вопросы психологии 1966. № 6. С. 62–76.
3. Запорожец А. В. Роль игры в воспитании детей. М. : Просвещение, 1976. 96 с.
4. Бахарева С. В. Применение системы задач с экологическим содержанием при изучении органической химии // Проблемы современного педагогического образования. 2023. № 78–3. С. 24–28.
5. Реан А. А. Психология изучения личности. СПб. : Питер, 2013. 288 с.

## РАЗВИТИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ХИМИИ ЧЕРЕЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ГРУППОВОЙ РАБОТЫ

*Е. И. Лункашу, Л. В. Даровских, Е. В. Береснева*

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,  
stud127437@vyatsu.ru, usr11345@vyatsu.ru, usr11511@vyatsu.ru*

В статье рассматривается использование групповой работы в образовательном процессе для повышения экологического образования школьников и развития их познавательной активности при изучении химии.

Ключевые слова: познавательная активность, групповая работа, химико-экологическое содержание.

Развитие познавательной активности школьников в процессе изучения химии – задача первостепенной важности в современной системе образования, так как в эпоху стремительного научно-технического прогресса требуется грамотная, способная к адаптации и конкурентоспособная личность. Познавательная активность в контексте изучения химии – это не пассивное восприятие информации, а активное взаимодействие с учебным материалом [1].

А. К. Маркова определяет познавательную активность, как «...все виды активного отношения к учению как к познанию; наличие смысла, значимости для ребенка учения как познания; все виды познавательных мотивов (стремление к новым знаниям, к способам их приобретения, стремление к самообразованию); цели, реализующие эти познавательные мотивы, обслуживающие их эмоции» [2].

По мнению А. С. Бароненко, познавательная активность – это черта личности, которая проявляется в инициативности и самостоятельности, приводит к управлению воли и характера, эффективному усвоению знаний, умений, навыков [3]. М. И. Лисина трактует ее как деятельность [4], Г. И. Щукина – как качество личности [5], а О. О. Денина считает, что понятие «познавательная активность» включает в себя цель деятельности, средства достижения этой цели и результаты [6].

Мы предлагаем включать экологический материал как на уроках химии, так и во внеурочной деятельности, используя групповую работу, которая может повысить познавательную активность и интерес к химии, а также к экологии. Групповая работа – это форма организации учебно-познавательной деятельности, предполагающая функционирование разных малых групп, работающих как над общими, так и над специфическими заданиями педагога. Групповая работа стимулирует согласованное взаимодействие между учащимися, отношения взаимной ответственности и сотрудничества [7].

Целью нашего исследования явилось повышение познавательной активности школьников при включении экологических заданий в процесс изучения химии.

В ходе исследования применялись следующие методы: теоретический анализ учебной, психолого-педагогической и методической литературы, моделирование, наблюдение, анкетирование, статистическая обработка результатов педагогического исследования.

Педагогический эксперимент проводился среди 8-х классов МБОУ СОШ с УИОП № 32 города Кирова. В данной экспериментальной группе из 40 человек отслеживалась динамика личностных достижений, характер которой позволял судить об эффективности примененных методик и достоверности полученных результатов [8].

В ходе констатирующей части эксперимента было проведено анкетирование школьников для определения их готовности к изменениям в деятельности [9]. Приводим его результаты (рис. 1).

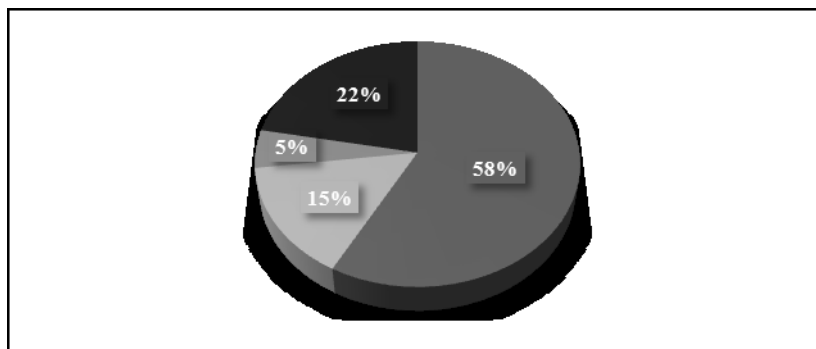


Рис. 1. Диагностика сформированности качества активности

Сформированность качества активности в характере учащихся является важным аспектом их личностного развития и успешной социализации. Согласно проведенному опросу, 58% учащихся подтвердили наличие активной позиции в своей жизни, что свидетельствует о высоком уровне вовлеченности в учебный процесс и различные внеурочные мероприятия. Однако 15% опрошенных указали на отсутствие активности, что говорит о необходимости дополнительной мотивации. Важно выявить причины низкой активности у этой группы, чтобы помочь им развить уверенность в своих силах и побудить к более активному участию в жизни школы. Интересно, что 5% учащихся воздержались от ответа, что может указывать на неопределенность или неуверенность в своей активности. Кроме того, 22% учащихся отметили, что их активность находится на среднем уровне. Это говорит о том, что они могут быть вовлечены в некоторые аспекты школьной жизни, но не проявляют инициативы во всех сферах.

Следующий этап эксперимента состоял в изучении эмоционального состояния учащихся. Для этого выполнено диагностическое исследование на тему «Диагностика эмоционального отношения к учению» (модифицированный тест Ч. Д. Спилбергера) [10].

Полученные данные об учащихся экспериментальных классов представлены в таблице 1, а также в виде графика на рисунке 2.

Таблица 1

**Диагностика эмоционального отношения к учению.**  
**Познавательная активность**

| Уровень познавательной активности | Констатирующий этап |            |
|-----------------------------------|---------------------|------------|
|                                   | обычное состояние   | на занятии |
| Низкий (%)                        | 10                  | 8          |
| Средний (%)                       | 72                  | 63         |
| Высокий (%)                       | 18                  | 29         |

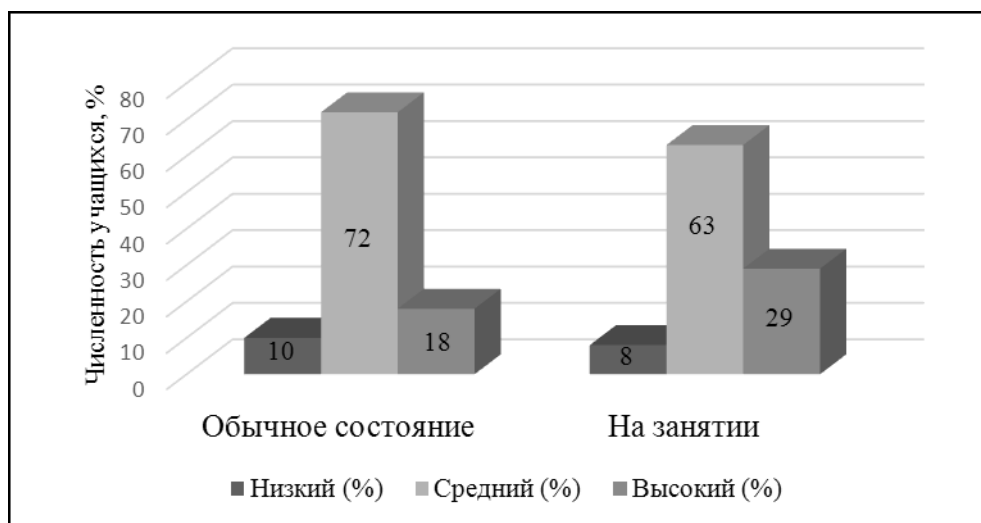


Рис. 2. Диагностика эмоционального отношения к учению.  
Познавательная активность

Результаты данного этапа показывают, что большинство учащихся находятся на среднем уровне познавательной активности, что указывает на наличие определенного интереса к учебе, но также и на необходимость улучшения мотивации и вовлеченности. Небольшая доля учащихся с низким уровнем активности подчеркивает необходимость работы с этой группой для повышения их заинтересованности. Увеличение доли учащихся с высоким уровнем активности на занятиях является позитивным знаком и свидетельствует о том, что активные методы обучения могут быть эффективными. В ходе эксперимента были проведены занятия по химии с использованием групповой работы учащихся.

Приведем пример такого занятия.

Тема занятия: «Влияние химических веществ на окружающую среду».

Цели: изучить влияние различных химических веществ на экосистемы; развить навыки работы в группе и презентации результатов.

Ученики делятся на группы по 4–5 человек; каждая группа выбирает одну из предложенных тем для исследования.

Например, тема: Кислород. Оксиды. Горение.

Задание: «Кислотные дожди: причины и последствия».

Задача: Исследовать процесс образования кислотных дождей, определить основные вещества-загрязнители (оксиды серы и азота), описать их воздействие на окружающую среду (почву, воду, растительность, архитектуру).

В течение 20–25 минут группы проводят исследование, используя учебники, интернет и другие доступные ресурсы. За это время они должны:

1. Обсудить причины образования оксидов серы и азота (сжигание ископаемого топлива, промышленные выбросы).
2. Описать химические реакции образования кислоты (серной и азотной) в атмосфере.
3. Проанализировать последствия кислотных дождей для различных экосистем.
4. Предложить варианты по уменьшению выбросов оксидов.

В конце эксперимента группы готовят короткие презентации (5 минут) на свою тему. Могут использовать плакаты, PowerPoint или другие визуальные средства. После презентации можно провести обсуждение и дать возможность другим группам задать вопросы.

В конце урока проводится рефлексия, которая показывает, что нового узнали ученики, как они могут применить эти знания в своей жизни, и что каждый из них может сделать для защиты окружающей среды.

Оценка может основываться на следующих критериях:

- глубина исследования и понимание темы;
- качество и ясность презентации;
- активное участие в работе всех членов группы;
- способность отвечать на вопросы и вести обсуждение.

На контрольном этапе исследования была проведена аналогичная диагностика, что и на констатирующем (рис. 3). Это позволило сопоставить результаты и оценить динамику изменений.

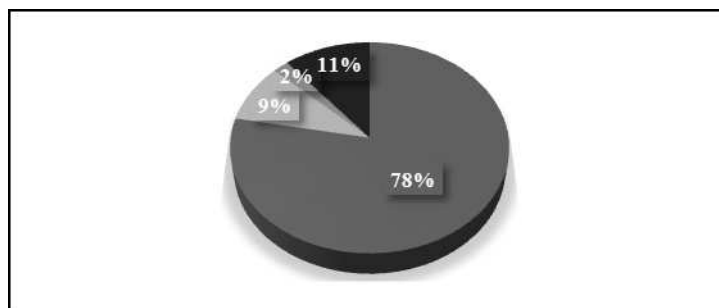


Рис. 3. Диагностика сформированности качества активности

В ходе исследования замечено изменение в сформированности качества активности в характере учащихся, которое представлено в виде диаграммы на рисунке 3. Результаты опроса показали, что 78% учеников считают, что у них есть развитое качество активности. Это свидетельствует о высоком уровне вовлеченности и готовности учащихся участвовать в учебном процессе и различных мероприятиях. 9% опрошенных заявили, что не ощущают у себя активности. Возможно, им требуется помощь в развитии уверенности в себе или



в нахождении интересных для них способов взаимодействия с учебным процессом. Кроме того, 2% учащихся воздержались от ответа на вопрос о своей активности. Наконец, 11% учеников не уверены, имеется ли у них такое качество, или нет, то есть они могут быть активными в некоторых ситуациях, но не всегда.

Таким образом, результаты исследования показывают, что для большинства учеников активность ассоциируется с непосредственным участием в учебном процессе и мероприятиях, что подчеркивает важность создания условий для активного вовлечения учащихся в обучение. Большинство обладают качеством активности, однако остается пространство для работы с теми, кто испытывает трудности в этом аспекте.

Тест по диагностике эмоционального состояния обучающихся представлен в таблице 2 и на рисунке 4.

Таблица 2

**Диагностика эмоционального отношения к учению.**  
**Познавательная активность**

| Уровень познавательной активности | Контрольный этап  |            |
|-----------------------------------|-------------------|------------|
|                                   | обычное состояние | на занятии |
| Низкий (%)                        | 8                 | 6          |
| Средний (%)                       | 57                | 61         |
| Высокий (%)                       | 35                | 34         |

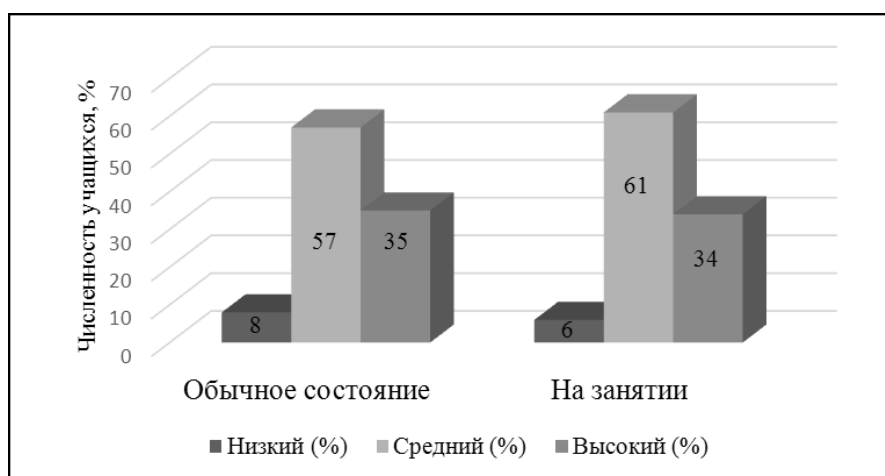


Рис. 4. Диагностика эмоционального отношения к учению.  
Познавательная активность

В результате исследования было установлено, что использование групповой работы в процессе обучения химии значительно способствует развитию познавательной активности учащихся.

Общее снижение доли учащихся с низким уровнем познавательной активности и увеличение доли с высоким уровнем в обычном состоянии свидетельствует о положительной динамике в эмоциональном отношении к учению. Несмотря на небольшие колебания в среднем уровне, на занятиях, ре-

результаты контрольного этапа показывают тенденцию к улучшению познавательной активности учащихся.

Мотивация к успеху у учеников повысилась, что связано с созданием поддерживающей атмосферы в группе. Ситуативный интерес к предмету также увеличился, так как учащиеся активно взаимодействовали друг с другом и обсуждали материал. Обобщенный учебно-познавательный интерес стал более выраженным, что позволило ученикам глубже осмысливать изучаемый материал. В целом, познавательная активность учащихся возросла, а уровень тревожности и негативных переживаний снизился, что свидетельствует о положительном влиянии групповой работы на эмоциональное состояние и учебный процесс.

### **Библиографический список**

1. Волкова Е. В. Методы обучения химии в современной образовательной среде: возможности и перспективы [Электронный ресурс]. – URL: <https://rffi.1sept.ru/article/425> (дата обращения: 16.02.2025).
2. Маркова А. К. Познавательная активность в обучении // Вопросы психологии. 1993. С. 168–179.
3. Бароненко А. С. Педагогические условия развития познавательной активности учащихся выпускных классов средней школы в учебном процессе (на материале изучения основ обществознания) : спец. 13.00.08 : дис. ... канд. пед. наук. Челябинск, 1993. 214 с.
4. Лисина М. И. Развитие познавательной активности детей в ходе общения со взрослыми и сверстниками // Вопросы психологии. 1982. № 4. С. 18–35.
5. Щукина Г. И. Педагогические проблемы формирования познавательных интересов учащихся. М. : Педагогика, 1988. 205 с.
6. Денина О. О. Развитие познавательной активности студентов в учебной деятельности : спец. 13.00.01 : дис. ... канд. пед. наук. Оренбург, 2001. 195 с.
7. Коджаспирова Г. М., Коджаспиров А. Ю. Педагогический словарь. М. : Издательский центр «Академия», 2000. 176 с.
8. Штульман Э. А. Специфика методического эксперимента // Советская педагогика. 1986. № 3. С. 61–65.
9. Даровских Л. В. Развитие инициативности старшеклассников в процессе групповой работы : спец. 13.00.01 : дис. ... канд. пед. наук. М., 2007. 175 с.
10. Методика диагностики мотивации учения и эмоционального отношения к учению в средних и старших классах школы [Электронный ресурс]. – URL: <https://old-morgau.cap.ru/sitemap.aspx?id=716576> (дата обращения: 24.03.2025).

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НА УРОКАХ ХИМИИ В ШКОЛЕ

*Д. В. Опари́на, Е. В. Береснева, Л. В. Даровских*  
*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,*  
*stud126466@vyatsu.ru usr11511@vyatsu.ru usr11345@vyatsu.ru*

Перед школой стоит очень важная задача, которая заключается в том, чтобы воспитать личность, умеющую думать, аргументировать свои высказывания, достигать поставленной цели, владеть набором знаний, умений и навыков. В статье показано применение технологии критического мышления для развития мыслительных процессов учащихся при решении химико-экологических проблем.

Ключевые слова: технология критического мышления, уровень развития мышления, интерес к химии, химико-экологические проблемы.

Экологические проблемы в современном мире представляют собой комплекс взаимосвязанных угроз для здоровья планеты и благополучия человечества. Изучение экологии в школе необходимо для формирования экологически грамотных, ответственных и активных граждан, способных внести свой вклад в решение глобальных экологических проблем для успешной и счастливой жизни в гармонии с природой. В системе российского школьного образования экология не выделена в качестве самостоятельной дисциплины. В связи с этим ответственность за формирование экологической культуры обучающихся возлагается на преподавателей всех предметов, включая учителей химии. Уроки химии с экологическим уклоном крайне важны в современном образовании, потому что они позволяют учащимся увидеть тесную взаимосвязь между химическими знаниями и реальными экологическими проблемами, с которыми сталкивается наш мир.

Важную роль в достижении этих межпредметных знаний, умений и навыков может сыграть технология критического мышления. Она позволяет учителю не только помогать школьникам усваивать теоретические знания, но и активно вовлекать их в процесс исследования, анализа экспериментальных данных, постановки вопросов и поиска ответов.

Критическое мышление – это способность анализировать информацию с позиции логики, умение выносить обоснованные суждения, решения и применять полученные результаты как к стандартным, так и к нестандартным ситуациям, вопросам и проблемам. Этому процессу присуща открытость новым идеям [1].

Целью данного исследования является разработка методических приемов технологии критического мышления для решения химико-экологических проблем и оценка развития мышления учащихся при их реализации.

Объектом исследования является процесс преподавания неорганической химии в школе с включением элементов технологии развития критического мышления.

В ходе исследования использовались следующие методы: анализ учебной, педагогической и методической литературы, педагогическое проектирование и моделирование, наблюдение, анкетирование, тестирование, сравнение, обработка результатов педагогического эксперимента, а также методические приемы технологии критического мышления.

Нами были выбраны и адаптированы к преподаванию химии следующие инновационные методические приемы технологии развития критического мышления: кластер (графический способ структурирования и представления изучаемого материала в виде таблиц, схем, графиков, блок-схем, генеалогических деревьев понятий и т. п), инсерт (работа с текстом, предусматривающая использование условных обозначений, например, «+» – ранее известная информация; «Δ» – новая информация; «?» – вызывает затруднение), мозговой штурм (генерирование максимального количества идей за ограниченное время), эссе (свободное письмо на заданную тему), взаимопрос (работа с предложенным текстом и обсуждение его в парах с помощью вопросов), перекрестная дискуссия (обсуждение альтернативного вопроса), синквейн (отражение отношения ученика к изученному материалу в виде «белого стиха») [2].

Педагогический эксперимент проходил в 8-х классах МБОУ СОШ № 30 г. Кирова. Для эксперимента были отобраны 8а и 8б классы, в которых одинаковое количество детей и примерно одинаковый уровень успеваемости по химии.

Для того, чтобы отобрать экспериментальный и контрольный классы, был составлен входной контроль, включающий в себя 2 вида тестов на определение уровня мышления у учащихся (исключение понятий и изучение гибкости мышления).

По результатам входного контроля 8а класс показал результаты несколько выше, чем 8б, поэтому он был взят за контрольный, а 8б – за экспериментальный.

Для проведения эксперимента были разработаны уроки по темам «Кислород», «Водород», «Воздух», «Вода», содержащие химико-экологический материал, подаваемый в 8б классе в технологии критического мышления, а в 8а – в традиционной форме.

В конце педагогического эксперимента для учащихся 8-х классов был проведен выходной контроль с использованием тех же тестов, но составленных на изученном материале. Полученные результаты представлены на рисунках 1 и 2.

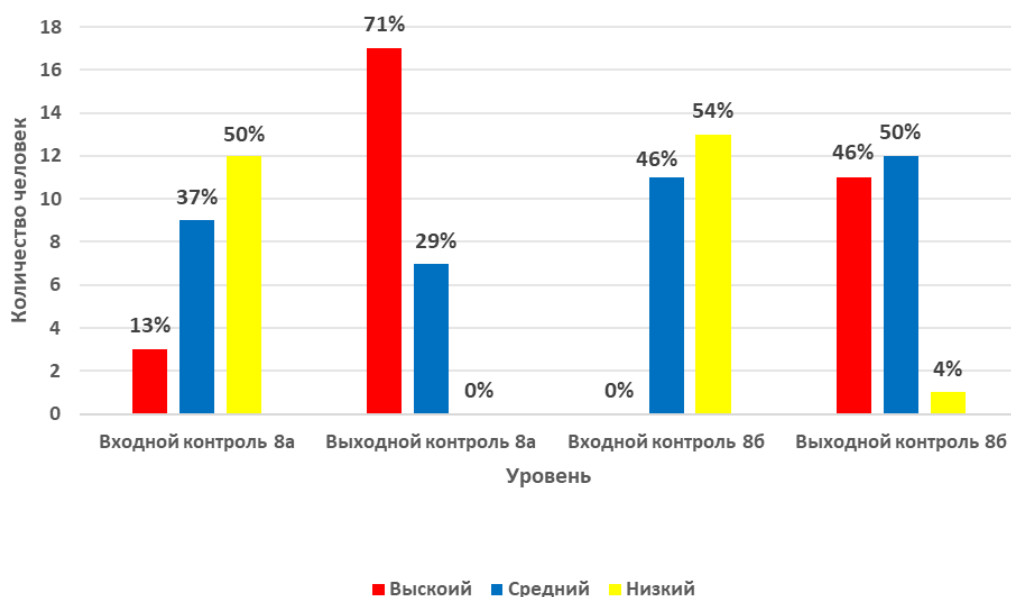


Рис. 1. Результаты входного и выходного контроля по тесту «Исключение понятий»

Сравнивая данные входного и выходного контроля, можно заметить, что результаты в ходе эксперимента улучшились. При написании теста «Исключение понятий» мыслительные процессы на высоком уровне в 8а выросли на 58%, а в 8б только на 46%. Наблюдались незначительные изменения среднего уровня мышления обучающихся. В начале эксперимента примерно половина учеников в обоих классах показали низкий уровень мышления. В конце эксперимента в контрольном классе таких детей не осталось, а в экспериментальном – один человек.

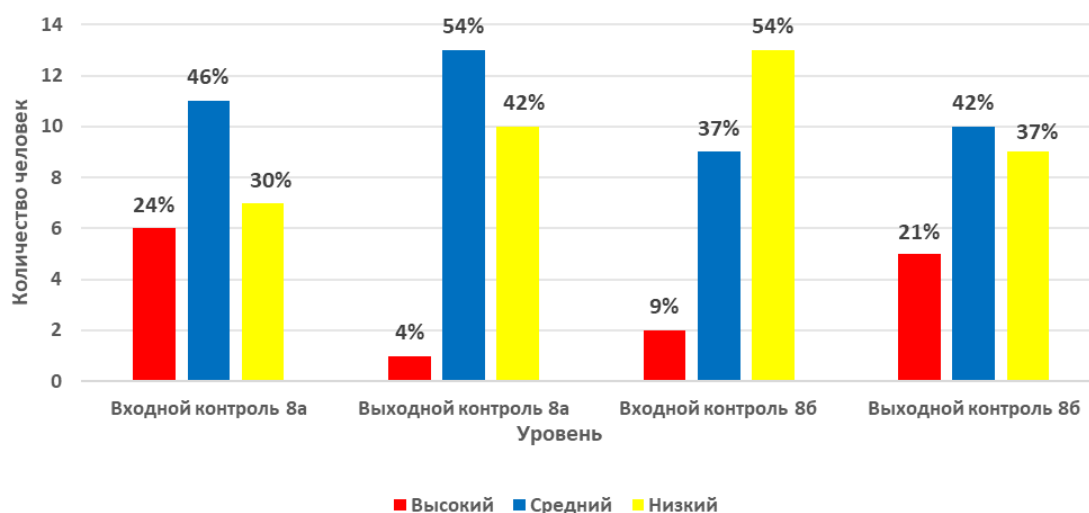


Рис. 2. Результаты входного и выходного контроля по тесту «Изучение гибкости мышления»

Высоким гибким мышлением в начале эксперимента обладали 24% учеников контрольного класса и 9% учеников экспериментального класса, на среднем и низком уровнях находились, соответственно, 46% и 30%, 37% и 54%. В ходе эксперимента в 8б классе количество детей с высокой гибкостью мышления вырос на 12%, а со средним уровнем – на 5%. Результаты в 8а классе получились ниже.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение технологии развития критического мышления способствует улучшению мыслительных процессов учащихся. Школьники лучше ориентируются в понятийном аппарате химии и экологии, легче и эффективнее решают поставленные перед ними проблемы и показывают умение применять полученные знания в повседневной жизни.

#### **Библиографический список**

1. Коджаспирова Г. М., Коджаспиров А. Ю. Педагогический словарь : для студ. высш. и сред. пед. учеб. заведений. М. : Издательский центр «Академия», 2000. 176 с.
2. Заир-Бек С. И., Муштавинская И. В. Развитие критического мышления на уроке : пособ. для учителей общеобразоват. учреждений. 2-е изд., дораб. М. : Просвещение, 2011. 223 с.
3. Книга для чтения по неорганической химии. В 2 ч.: Ч. 2 / Сост. В. А. Крицман. 3-е изд., перераб. М. : Просвещение, 1992. 191 с.
4. Проект на тему «Воздух и его свойства». [Электронный ресурс]. – URL: <https://infourok.ru/proekt-na-temu-vozduh-i-ego-svoystva-1612768.html> (дата обращения: 25.03.25).
5. Урок и презентация по познанию мира «Воздух и его свойства». [Электронный ресурс]. – URL: <https://multiurok.ru/files/urok-i-prieziientatsiia-po-poznaniuu-mira-vozdukhi.html> (дата обращения: 25.03.25).

### **БАЗОВАЯ КАФЕДРА ЭКОЛОГИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЛАДИВОСТОКСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА: ИТОГИ ДЕСЯТИЛЕТНЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**С. Б. Ярусова<sup>1,2</sup>, Н. В. Иваненко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт химии ДВО РАН,*

*г. Владивосток, Россия, yarusova\_10@mail.ru,*

<sup>2</sup> *Владивостокский государственный университет,*

*г. Владивосток, Россия, ivanenko\_natalya@mail.ru*

В работе кратко представлены итоги десятилетней работы базовой кафедры экологии и экологических проблем химической технологии Владивостокского государственного университета в соответствии с научными направлениями кафедры.

Ключевые слова: научно-исследовательская деятельность, профессиональная подготовка студентов, базовая кафедра, технологии охраны окружающей среды, химия, новые материалы, экология.

Институты Российской академии наук и университеты играют важнейшую роль в развитии современной инновационной экономики и реализации приоритетов научно-технологического развития РФ. В настоящее время существует проблема отдаленности университетов от реального сектора экономики, что делает актуальным подготовку специалистов на базовых кафедрах на предприятиях и в научных институтах, реализующих, в основном, все виды практик (учебная, производственная, преддипломная) и научно-исследовательскую работу студентов [1, 2]. Необходимо создание единой инновационной модели подготовки специалистов, которое невозможно без тесного взаимодействия работодателя и вуза, без оперативного реагирования образовательного сообщества на меняющиеся потребности рынка труда [3].

Для профессиональной подготовки студентов в 2015 г. во Владивостокском государственном университете (ВВГУ, ранее – ВГУЭС) совместно с Институтом химии ДВО РАН была создана базовая кафедра экологии и экологических проблем химической технологии, объединяющая ученых и преподавателей, работающих в области химии и прикладной экологии.

Работа кафедры осуществляется по научным тематикам, связанным с разработкой технологических схем комплексной переработки минерального, техногенного и растительного сырья, синтезом функциональных материалов с заданными свойствами, в том числе, высокоэффективных материалов и твердотельных керамических матриц для сорбции и иммобилизации долгоживущих радионуклидов. С 2023 г. в рамках работы кафедры с Краевой межведомственной комиссией по экологическому образованию, просвещению и воспитанию экологической культуры в Приморском крае проводятся исследования в области оценки уровня экологической культуры студентов среднего профессионального образования и разработки механизмов его повышения [4].

В ходе обучения на кафедре студенты под руководством научных и инженерных работников Института химии ДВО РАН проходят все виды практик, в ходе которых приобретают навыки проведения экспериментов, работы на современном оборудовании, анализа и обработки научных результатов, а также их оформления в виде тезисов и научных статей. Знакомство с современными физико-химическими методами исследований и новейшей приборной базой Института химии ДВО РАН позволяет не только освоить основы работы в химической лаборатории, но и в дальнейшем легче адаптироваться к реальным условиям труда [5, 6]. Несколько студентов после окончания университета официально трудоустроены в Институт химии ДВО РАН.

Обучение студентов на базовой кафедре проходит при решении практических и исследовательских задач по тематике хоздоговоров, внутренних грантов университета, связанных с вопросами развития природоохранных

технологий для решения региональных экологических проблем (НИР по разработке сорбентов на основе полимеров для улавливания нефтепродуктов; по утилизации отходов бурения нефтегазовых скважин; по синтезу наноструктурированных алюмосиликатных порошков-сорбентов тяжелых металлов).

За десятилетний период деятельности кафедры опубликовано более 70 статей в высокорейтинговых российских и зарубежных журналах, индексируемых в базах данных РИНЦ, Web of Science и Scopus, в том числе совместно со студентами. Наличие публикации в современных условиях является обязательным элементом, необходимым для успешной защиты выпускных квалификационных работ, а также некоторым механизмом получения материального поощрения (повышенные стипендии, премии, единовременные выплаты, поступление на бюджет в магистратуру). Но в то же время работу над публикационной активностью, возможность публикации своих исследований в научных журналах и сборниках научных трудов можно рассматривать как нематериальное средство мотивации, поскольку студент видит конечный результат своего труда [7].

За рассматриваемый период получены патенты, касающиеся комплексной переработки отходов борного производства и получения материалов на их основе – совместные объекты интеллектуальной собственности Владивостокского государственного университета и ИХ ДВО РАН (Пат. РФ: № 2595682; № 2601608; №2550188).

По инициативе и при непосредственном участии базовой кафедры опубликовано 8 монографий, среди которых 3 имеют непосредственное отношение к экологии и вопросам охраны окружающей среды [8–10], а 5 содержат главы и разделы по профилю деятельности кафедры.

С 2015 по 2025 гг. кафедра принимала участие более, чем в 50 научных конференциях различного уровня с общим количеством докладов более 120.

Следует отметить, что базовая кафедра принимает активное непосредственное участие в организации и проведении конференций: XIX и XX Международные молодежные экологические конференции «Человек и Биосфера» (г. Владивосток, 2022 г., 2023 г.); VI Международная научная конференция с элементами научной школы для молодежи «Новые материалы и технологии в условиях Арктики» (г. Якутск, 2023 г.); IX Международный симпозиум «Химия и химическое образование» и Третья молодежная школа по радиоэкологии, посвященная имени выдающегося ученого Дальнего Востока В. А. Авраменко (г. Владивосток, 2024 г.); XII дистанционная Всероссийская студенческая научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки в студенческих исследованиях (биология, география, химия и технология)» (г. Саранск, 2025 г.).

Студенты базовой кафедры имеют научные достижения в виде побед в стипендиальных конкурсах, научных конкурсах, призовые места на научных конференциях различного уровня [11–13].

Базовая кафедра развивает сотрудничество с российскими и зарубежными вузами и научно-исследовательскими организациями. Среди зарубеж-



ных партнеров – Республика Беларусь, Республика Армения, Вьетнам, Индия, Алжир. Среди российских научных партнеров кафедры остаются академические институты ДВО РАН, Дальневосточный федеральный университет, Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники и др.

Профориентационная работа кафедры заключается в регулярном участии в краевых и всероссийских профориентационных мероприятиях, Днях российской науки, профильных сменах Всероссийского детского центра «Океан» и т. д. Определенный вклад в профориентацию вносит экспертная деятельность в рамках различных мероприятий для школьников и педагогов (Краевая экологическая конференция исследовательских работ и природоохранных проектов «От Дня Земли – к Веку Земли», Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей среды имени Б. В. Всесвятского, Конкурс профессионального мастерства работников сферы образования Приморского края «Сердце отдаю детям»).

За период своей деятельности базовая кафедра регулярно проводит мониторинг основных стимулирующих и сдерживающих факторов при занятии студентами научно-исследовательской деятельностью. По данным исследований, проведенных в 2022 г., среди основных интересов от участия в НИД, по мнению большинства студентов, является получение новых знаний и навыков, публикации, далее возможность получить ценный опыт и знания у ведущих ученых. Интересно то, что материальные поощрения в виде премий, повышенных стипендий занимают только 4 место (21%) [7].

Следует отметить, что вовлечение в научно-исследовательскую активность для молодого неподготовленного специалиста сопровождается множеством субопераций и микрорешений, связанных со спецификой научной организации, а также с общими организационными вопросами. К ним относятся и так называемые мягкие навыки, т. е. навыки самопрезентации, умения разрешать нестандартные конфликтные ситуации, работать в формате деловой переписки, умение оформлять научные публикации и создавать презентации докладов, умение преподавать изученный материал определенным образом, умение «держать удар» в случае критики со стороны аудитории и многое другое, что принято относить к общему фону, формируемому культурной, профессиональной и прочей спецификой [14].

Ежегодный отчет о деятельности базовой кафедры освещается на таких крупных экологических мероприятиях, как Приморский экологический форум и Приморская экологическая конференция, в которых принимают участие представители региональных органов власти и местного самоуправления, общественных объединений, природоохранных и социально ориентированных некоммерческих организаций, учреждений образования, науки и культуры, государственных и частных предприятий, эксперты и специалисты различного уровня в вопросах экологического воспитания, образования и просвещения, педагоги общего и дополнительного образования Приморского

края, экологические инициативные группы и активисты, представители СМИ [15].

Таким образом, в результате десятилетней деятельности базовой кафедры экологии и экологических проблем химической технологии Владивостокского государственного университета достигнут положительный опыт, подтверждающийся высокой публикационной активностью, широкой апробацией полученных результатов на конференциях, успешным выполнением грантов и хоздоговорных НИР, высоким качеством подготовки бакалаврских работ и магистерских диссертаций, победами студентов на научных конференциях и конкурсах. Осуществление образовательного процесса на базовых кафедрах позволяет сформировать у студента набор определенных профессиональных компетенций, ускорить адаптацию выпускников к корпоративной культуре, довести их до оптимального профессионального уровня.

### **Библиографический список**

1. Геннадий Красников и Валерий Фальков встретились с участниками школы молодых ученых [Электронный ресурс]. – URL: <https://наука.пф/news/gennadiy-krasnikov-i-valeriy-falkov-vstretilis-s-uchastnikami-shkoly-molodykh-uchenykh/> (дата обращения: 25.03.2025).
2. Инженерное образование на основе интеграции с наукой и промышленностью / Ю. М. Казаков, Н. Ю. Башкирцева, М. В. Журавлева и др. DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-12-105-118 // Высшее образование в России. 2020. Т. 29. № 12. С. 105–118.
3. Балашова Е. В. Создание базовых кафедр вузов культуры на предприятиях как эффективный инструмент образования и рынка труда. DOI 10.20913/2618-7515-2018-1-160-165 // Труды ГПНТБ СО РАН. 2018. № 13-1. С. 160–165.
4. Оценка экологической информированности студентов среднего профессионального образования / С. Б. Ярусова, Н. В. Иваненко, И. П. Штабной, И. Ю. Буравлев. DOI: 10.29039/2949-1258/2024-4/234-244 // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета. 2024. Т. 16. № 4. С. 256–267.
5. Ярусова С. Б., Иваненко Н. В. Участие студентов в научно-исследовательской деятельности по разработке природоохранных технологий: практика вуза. DOI: 10.24866/VVSU/2073-3984/2022-2/020-030 // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2022. Т. 14. № 2. С. 20–30.
6. Высшая школа: традиции и инновации. Актуальные вопросы и задачи системы образования РФ : монография / под ред. Е. В. Ляпунцовой, Ю. М. Белозеровой, И. И. Дроздовой. Москва : РУСАЙНС, 2019. 296 с.
7. Основные факторы эффективной научно-исследовательской деятельности студента в современном вузе / С. Б. Ярусова, И. Ю. Буравлев, Н. Б. Бабусова, Н. В. Иваненко // Исследователь/Researcher. 2023. № 1–2 (41–42). С. 357–366.
8. Переработка флюоритсодержащего минерального сырья и отходов Ярославского горно-обогатительного комбината: монография / П. С. Гордиенко, С. Б. Ярусова, Г. Ф. Крысенко и др. DOI: 10.12737/1734-0. М. : РИОР: ИНФРА-М, 2018. 115 с.
9. Экологические исследования на Дальнем Востоке России: история и современность: монография / под ред. В. Ю. Цыганкова, С. Б. Ярусовой. DOI: 10.24866/0685-5-2022-380. Владивосток : Изд-во ВВГУ, 2022. 380 с.
10. Комплексная переработка борсодержащего минерального сырья и техногенных отходов : монография / кол. авторов ; под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. П. С. Гордиен-

ко; отв. ред. С. Б. Ярусова, И. Ю. Буравлев. DOI: 10.24866/9736-0725-8. Владивосток : Изд-во ВВГУ, 2024. 198 с.

11. Определены победители проекта «Гранит науки» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.vvsu.ru/news/27805/> (дата обращения: 25.03.2025).

12. Сотрудники и студенты ВВГУ – победители конкурса «Химия в жизни общества» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.vvsu.ru/news/25660/> (дата обращения: 27.03.2025).

13. Студентка ВВГУ работает над сорбентом для очистки воды на основе приморских минералов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.vvsu.ru/news/23213/> (дата обращения: 27.03.2025).

14. Введение в профессию «Преподаватель вуза». Трудовые функции преподавателя : учебник / под ред. Е. В. Ляпунцовой, Ю. М. Белозеровой. М. : КноРус, 2022. 458 с.

15. О формировании системы всеобщего непрерывного экологического образования, просвещения и воспитания в Приморском крае / С. Б. Ярусова, А. М. Смышляев, Н. В. Иваненко, С. Ю. Гатауллина // Образование – 2030. Учиться и действовать : сб. статей IX Всерос. конф. по экологическому образованию. (г. Москва, 25–28 ноября 2023 г.). М. : Неправительственный экологический фонд имени В. И. Вернадского, 2023. С. 375–380.

## **ИЗ ОПЫТА ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ СТУДЕНТОВ В ИНСТИТУТЕ ЭНЕРГЕТИКИ ТАДЖИКИСТАНА**

***Х. Н. Джурабаева, Г. Сафарзода, Ф. З. Зувайдуллоев***

*Институт энергетики Таджикистана, г. Бохтар, Республика Таджикистан,  
hikoyt79@gmail.com, gulandom.safarzoda@mail.ru zuvaydullov71@mail.ru*

В данной статье авторы отмечают необходимость принятия практических мер по формированию экологического мировоззрения студентов на внеаудиторных занятиях путем использования современных методов. В пропаганде охраны окружающей среды необходимо использовать современные инструменты, отличающиеся большой гибкостью, такие как интернет-материалы, развивающие мировоззрение и экологическую культуру студентов, проведение конкурсов и мероприятий и их продвижение через прессу и информационные СМИ.

Ключевые слова: экологическая культура, защита окружающей среды, глобальное потепление, внеаудиторные занятия, национальная стратегия, экологические проблемы.

Быстрое и интенсивное научно-техническое развитие, происходящее с конца XX и начала XXI века – в начале третьего тысячелетия, привело к значительному росту достижений в экономической, социальной и культурной сферах. Особенно созидательными новшествами стали прогресс и нанотехнологические инновации, реконструкция и реформирование сферы образования Республики Таджикистан. Республика Таджикистан, как и другие страны Содружества Независимых Государств (СНГ), присоединилась к но-

вому образовательному процессу и единому универсальному образовательному пространству – кредитной системе обучения [1, 2].

Реструктуризация, реформирование и совершенствование образовательных планов и программ естественных, точных, математических и технических наук проходит в контексте практического применения, согласно Указу Президента Республики Таджикистан № 1445 от 31.01.2020 «Об объявлении 2020–2040 гг. «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования»». В связи с этим, в учебные планы и программы по биологическим наукам (ботаника, зоология, анатомия, физиология и здравоохранение, экология, общая биология) внесены изменения и дополнения в соответствии с потребностями современности. Основателем национального единства, Лидером нации, Президентом Республики Таджикистан Эмомали Рахмоном сфера образования объявлена одной из «Приоритетных отраслей страны», и в этом плане совершенствуются и принимаются соответствующие законодательные и нормативные документы.

Развитие структур науки и образования Республики Таджикистан в средних общеобразовательных и высших профессиональных педагогических учреждениях проводится в рамках практической реализации Постановления Правительства Республики Таджикистан о «Национальной стратегии развития образования Республики Таджикистан на период до 2030 года» (2020) и Постановления Правительства Республики Таджикистан о «Государственной образовательной программе воспитания экологической культуры населения Таджикистана до 2020 года» (от 2.04.2015 г. № 178, 3).

Несмотря на достижения в деятельности методистов и преподавателей биологических и экологических дисциплин, руководителей средних образовательных и высших профессиональных педагогических учреждений, имеются проблемы в улучшении процесса обучения, в постепенном повышении уровня навыков и умений наших учащихся, в профессиональной подготовке, выборе профессий и специальностей.

Нами были выдвинуты следующие предположения: процесс проведения занятий в институте энергетики Таджикистана по предмету Экология будет способствовать развитию экологической грамотности студентов, если:

- внеклассные занятия будут определены как часть учебной программы и будут являться продолжением регулярных уроков студентов в высших профессиональных учебных заведениях; с этой целью должны быть разработаны и определены педагогические и дидактические методы;

- пути и методы формирования чувства любви к природе, развития экологической культуры студентов будут включаться в процесс проведения внеклассных и внеаудиторных занятий;

- будут разработаны образцы образовательных тестов, обучающие материалы, анкеты, профессиональные тесты, письменные проверочные работы, охватывающие широкий спектр методов тестирования, будут проводиться обсуждения посредством интервью, анкетирования, повышения экологической осведомленности, тестирования студентов в рамках учебных программ

по общим биологическим наукам и педагогическим аспектам учебной программы.

Анализ концепции «Экологическое образование», профессионализм преподавателей, выбор и эффективное использования ими форм и методов обучения, как традиционных, так и современных, в том числе с использованием информационных технологий и коммуникаций, с учетом инновационного процесса обучения и преподавания, позволил представить цикловой курс универсальных биологических наук, основанный на едином содержательном направлении, но в то же время, включающий формирование чувства любви к природе, развитие познавательных и культурных аспектов, научно-исследовательской и творческой активности студентов, непрерывное развитие их экологических, общебиологических знаний и краеведения. Изучение в начале цикла общебиологических наук концепций «Экологические факторы», «Окружающая среда», «Естественная среда», «Охрана и эффективное использование природных и биологических ресурсов» способствует экологическому образованию студентов. Образцы планов проведения научных кружков, фенологических наблюдений, экскурсий и других видов внеаудиторных работ, разработанные преподавателями и методистами-профессионалами, используются в естественном процессе обучения для улучшения знаний и повышения культуры студентов и учащихся Высших профессиональных и средних учебных заведениях Республики Таджикистан [3, 4].

Формирование чувства любви к природе, экологической культуры студентов возможно только при изучении, анализе и исследовании глобальных проблем нашей планеты, таких как потепление климата, засуха, загрязнение атмосферы, таяние ледников, рост инфекционных заболеваний, опустынивание, вырубка лесов и другое антропогенное воздействие на Вселенную и природу [5].

Таким образом, в современную эпоху человек должен обладать экологическим сознанием, уметь использовать экологические знания в повседневной жизни, быть способным понимать и решать возникшие проблемы окружающей среды, искать пути устранения их и сохранения природной среды, которая является причиной существования жизни и особенно человечества.

Экологическое образование является серьезной проблемой, поэтому оно постоянно развивается. Важно отметить, что экология и охрана окружающей среды являются междисциплинарными науками, охватывающими географию, биологию, экономику, медицину, право, историю, психологию, педагогику, естественные и технические науки.

С одной стороны, это создает новые требования к формированию сознания студентов, а с другой – способствует развитию у них экологической грамотности, экологического мышления и экологического сознания [6].

Экологическая грамотность – это совокупность культурных ценностей. Она воплощает в себе человеческую мораль и является одним из важнейших средств социального положения личности в системе человеческих взаимодействий: человек – природа, человек – общество, человек – общество – природа.

Экологическое образование рассматривает личность как субъект общественных отношений, как внутри, так и между обществом и природой, и является одной из движущих сил для формирования экологического мышления обучающихся.

Следует подчеркнуть, что формирование экологического мышления и нравственного сознания неизбежно при экологическом образовании и воспитании. С личностью связано то, что восприятие, оценка и эстетическое переживание жизни и природы является не только важным подходом к восстановлению взаимоотношений современного человека с природой, но и мощным и действенным фактором нравственного образования и воспитания, формирования человеческого достоинства и культуры. Нравственное и экологическое воспитание и образование, ориентация учащихся образовательных учреждений на экологическую устойчивость вдохновляют и формируют их экологическую культуру.

В раскрытии вопросов, связанных с причинами и последствиями аварий, проблем, глобальных экологических кризисов, велики роль и статус внеклассных занятий, которые активизируют студентов, развивают их экологическую грамотность и культуру, формируют у студентов чувство любви к природе, как колыбели жизни на Земле.

В связи с быстрым ростом экологических проблем в конце XX и начале XXI веков перед образовательными учреждениями и педагогической наукой поставлены новые задачи, решение которых будет действительно способствовать формированию чувства любви к природе и развитию образовательных и культурных аспектов.

Несмотря на то, что Правительство Республики Таджикистан принимало ряд нормативно-правовых и государственных программ, относящихся к экологии и защите природы [7], устранить реальную проблему можно только путем повышения экологической культуры людей.

Самыми важными нормативно-правовыми актами отрасли являются: «Экологическая культура населения» (29.12.2010 № 673), «О защите атмосферы воздуха» (28.12.2012 № 915) и «Государственная комплексная программа развития и воспитания экологической культуры населения Республики Таджикистан» до 2020 года (Постановление Правительства Республики Таджикистан № 1708 от 02.04.2015).

Основная цель этих законов и программ – это усовершенствование основ государственной политики по культуре и экологическому воспитанию населения, совершенствование мировоззрения людей, улучшение окружающей среды, разумное использование природных ресурсов и обеспечение благоприятных условий для здорового образа жизни населения Республики Таджикистан.

Одними из важных задач, которые стоят перед системой образования и воспитательными учреждениями, являются формирование экологического мировоззрения, развитие экологической просвещенности, экологической культуры и экологической сознательности студентов.

В связи с этим, студенты должны понимать необходимость изучения и осознания законов природы, природных ресурсов как среды обитания людей, которая является источником восстановления их силы и здоровья. С этой целью внеклассные экологические занятия студентов должны иметь неразрывную связь с жизнью и способствовать их творческому развитию.

Во время внеаудиторных работ студенты, показывая свою творческую самостоятельность, тем самым расширяют свой кругозор и знания по учебным программам. Эффективное и разумное использование свободного времени положительно воздействует на развитие личности.

По различным классификациям различают различные виды внеаудиторных работ. Так, в число внеаудиторных занятий могут входить следующие мероприятия:

- предметные олимпиады;
- экологические вечера;
- научно-практические конференции;
- природно-экологические выставки;
- выставки экологических коллекций;
- проведение экологических субботников.

Большое внимание мы уделяем экскурсиям и прогулкам в природу, в процессе которых студенты знакомятся с местной фауной и флорой, что вскрывает изящность и красоту своей родины. Наравне с этим, студенты чувствуют варварское отношение людей к природе. Очень важно показывать, сравнивать и сопоставлять места, в которых еще не чувствуется воздействие руки человека, и места, где человек безжалостно использовал дары природы. Нужно, чтобы эти мероприятия обращали внимание студентов на все экологические проблемы.

В высших учебных заведениях можно проводить следующие экологические мероприятия по охране природы: экологическая декада, экологическая тропа, экологическая неделя, день планеты земля (22 апреля), экологические олимпиады, вечера, конкурсы и т.д.

Одно из таких экологических мероприятий, которое можно использовать как специальное внеаудиторное мероприятие, – это экологический туризм. При проведении этого мероприятия необходимо обращать внимание на формирующую силу экологической и природоохранной деятельности студентов. Понятие «экологический туризм» предусматривает знакомство обучающихся с правилами проведения экскурсий в природу и позволяет студентам высших учебных заведений чувствовать важность соблюдения этих правил поведения в природе.

Другое мероприятие, в ходе проведения которого рассматриваются проблемы защиты природы и восстановления ее нормального состояния, – это организация и проведение кружков.

Организация мероприятий, посвященных знаменательным датам, способствует улучшению экологических знаний студентов, всестороннему раз-

витию их личности, формированию успешной жизненной позиции и ответственности перед судьбой природы и Родины.

Экологическое воспитание может считаться успешным и принесет огромный вклад тогда, когда мы точно сможем усвоить его цель и значение, то есть, когда человек будет проявлять гуманизм, вежливость в отношении природы, ответственность перед природой и обществом.

Экологическое воспитание должно способствовать тому, чтобы студенты сами могли познавать, что происходит вокруг них. Мы должны обучать молодое поколение достойному поведению в обществе и в природе, так как чаще всего, они из-за незнания не могут принять правильный выбор по отношению к природе. Следовательно, для каждого урока мы должны искать цели и конкретные задачи, а также способы успешной их реализации.

В заключение следует сказать, что в данной статье показаны способы улучшения уровня экологической сознательности студентов высших профессиональных учебных заведений и средних школ Республики Таджикистан в ходе проведения внеаудиторных занятий по экологии. Этот процесс связан с чувством любви к природе, соответствует требованиям, желаниям и интересам обучающихся, служит для улучшения их знаний и поднятия уровня сознательности учащихся и студентов.

Экологизация содержания учебных программ общебиологического цикла осуществляется на основе передовых понятий, таких, как «Экологические факторы», «Природное сообщество», «Окружающая среда», «Защита и эффективное использование», «Экосистемы», реализация которых поможет выявить взаимосвязь организмов с окружающей средой, роль этих факторов в природе и в жизни людей, необходимость защиты живых объектов, а также позволит разнообразить организацию учебного процесса, активизировать и совершенствовать чувство уважения и любви к природе.

#### **Библиографический список**

1. Гиренок Ф. Экология, цивилизация, ноосфера. М. : Мысль, 1987. 187 с.
2. Глобальная экологическая проблема / Р. А. Новиков, А. К. Жирицкий, В. И. Маркушина, Р. А. Перелет; отв. ред. Г. И. Морозов, Р. А. Новиков. М. : Мысль, 1988. 204 с.
3. Давлатов А. Асосҳои экология. Душанбе : Матбуот, 2005. 415 с. (на таджикском).
4. Дарвозиев М., Сафаров И. Экология 9. Полиграф Групп, 2006. 160 с. (на таджикском).
5. Муртазаев У. И., Саидов Х. Экология и безопасность жизнедеятельности : учебник для студентов ВУЗов. Душанбе : Ирфон, 2006. 287 с.
6. Давлатов А. С., Дарвозиев М. Хифзи табиат. Душанбе, 1997. (на таджикском).
7. Закон Республики Таджикистан «Об охране окружающей среды» [Электронный ресурс]. – URL: [https://mmk.tj/system/files/Legislation/760\\_tj\\_0.pdf](https://mmk.tj/system/files/Legislation/760_tj_0.pdf) (дата обращения: 12.03.2025) (на таджикском).



Научное издание

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ:  
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Материалы II Международной научно-практической конференции  
23–24 апреля 2025 г.

Книга 1

Компьютерная верстка: Е. М. Кардакова  
Дизайн обложки: Ю. Д. Иванова

Вятский государственный университет,  
610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

Подписано к печати 25.06.2025. Формат 60 х 84/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Усл. п. л. 21,85. Тираж 30 экз. Заказ 46.

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в типографии ООО «Издательство «Радуга-ПРЕСС».

610029, г. Киров, п. Ганино, ул. Северная, 49А. Тел. +7 912 828 45-11

E-mail: raduga-press@list.ru