



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
Международной научно-практической конференции
23–24 апреля 2024 г.

Книга 1

Киров, 2024

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, **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, **Е. А. Домнина**, доцент, канд. биол. наук, **М. А. Зайцев**, доцент, канд. пед. наук, **Г. Я. Кантор**, с. н. с., канд. техн. наук, **Е. А. Клековкина**, доцент, канд. геогр. наук, **В. А. Козвонин**, с. н. с., канд. мед. наук, **Т. И. Кутявина**, с. н. с., канд. биол. наук, **С. В. Пестов**, 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., 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 Международной научно-практической конференции. Книга 1. (г. Киров, 23–24 апреля 2024 г.). – Киров : Вятский государственный университет, 2024. – 306 с.

ISBN 978-5-98228-277-4 (Книга 1)

ISBN 978-5-98228-279-8

В книгу вошли материалы Международной научно-практической конференции «Экология родного края: проблемы и пути их решения». Представлены экологические проблемы регионов России и других стран и возможные пути их решения. Значительное место в сборнике занимают материалы по результатам и методам экологического мониторинга, рациональному использованию природных ресурсов. Рассмотрены экологические аспекты обращения с отходами производства и потребления, а также научные исследования и разработки в сфере экологии. 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 Кировского отделения ПАО Сбербанк России и 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 978-5-98228-277-4 (Книга 1)
ISBN 978-5-98228-279-8

© Вятский государственный университет
(ВятГУ), 2024

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 International Scientific and Practical Conference
April 23–24, 2024

Chapter 1

Kirov, 2024

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. Sci., 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, **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, **E. A. Domnina**, Associate Professor, Ph.D. in Biology, **A. I. Fokina**, Associate Professor, Ph.D. in Biology, **G. Y. Kantor**, Senior Researcher, Ph.D. in Techniques, **E. A. Klekovkina**, Associate Professor, Ph.D. in Geography, **T. I. Kut'yavina**, Senior Scientist, Ph.D. in Biology, **S. V. Pestov**, 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 International Scientific & Practical Conference. Chapter 1. (Kirov, April 23–24, 2024). – Kirov : Vyatka State University, 2024. – 306 c.

ISBN 978-5-98228-277-4 (Chapter 1)

ISBN 978-5-98228-279-8

The book includes proceedings of the International Scientific & Practical Conference “Home Country Ecology: Problems and Solutions”. Environmental problems of the Russian regions and other countries and their possible solutions are presented. A significant place is occupied by proceedings on the results and methods of environmental monitoring, rational use of natural resources. Ecological aspects of production and consumption waste management, as well as scientific research and development in the field of ecology are considered. The conference proceedings are intended for researchers, teachers, specialists of environmental protection services and departments, postgraduates, students of higher educational institutions.

The authors are responsible for the accuracy of the information presented 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 Kirov Branch of PJSC Sberbank of Russia and KCChK Branch of JSC URALCHEM in Kirovo-Chepetsk for partnership and cooperation.

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

ISBN 978-5-98228-277-4 (Chapter 1)
ISBN 978-5-98228-279-8

© Vyatka State University (VyatSU), 2024

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНОВ, ПУТИ РЕШЕНИЯ

| | |
|--|----|
| <i>Changwei An, Pengda Hu, Jun Zhang</i> Analysis on water quality characteristics and whole process function test of sewage treatment plants..... | 10 |
| Васюхневич М. В., Копылова Е. А., Кузменко И. Н. Экологическая безопасность – приоритетное направление в развитии современного общества | 13 |
| Никонова Н. А. Производство органической продукции как фактор реализации экологической повестки в сельской местности регионов..... | 16 |
| Ковалёва О. В., Карпенко А. Ф. Водоохранная деятельность в Беларуси..... | 21 |
| Шибeka Л. А., Малиновская П. А. Поиск новых направлений использования отходов – одна из важнейших задач современности..... | 24 |
| Гочжэн Ван, Казимирская Е. Н., Лихачева А. В. Поиск альтернативных сырьевых ресурсов | 29 |
| Ашихмина Т. Я., Кутявина Т. И. Использование серосодержащих отходов для мелиорации солонцов | 32 |
| Губарь Е. В., Самарина О. А., Тупицына О. В. Разработка эколого-технических показателей аудита перспективных объектов обращения с отходами..... | 38 |
| Кичкайло О. В., Пожарская А. В. Утилизация отходов гальванических производств при получении лицевого кирпича..... | 41 |
| Кушков А. А., Тормакова А. А., Фукс С. Л. Возможность применения гидролизного лигнина для доочистки воздуха от оксидов азота | 44 |
| Лежнев С. Н., Панин Е. А. Новая технология рециклинга пруткового лома черных металлов с получением винтового арматурного профиля, как одно из направлений «озеленения» металлургической отрасли..... | 48 |
| Перушкина Е. В., Готлиб Е. М., Твердов И. Д., Ямалеева Е. С. Исследование биodeградируемости диоксида и наполненных им эпоксидных композиций | 53 |
| Кузьмин Р. С., Никитин О. В. Биотехнология фиторемедиации фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов | 57 |
| Головкина Д. А., Журишкина Е. В., Лапина И. М., Кульминская А. А. Использование органических отходов для укрепления почвы методом биоцементации | 62 |
| Романова А. С., Окулова В. В., Товстик Е. В., Фокина А. И. Биосорбционный потенциал измельченных листьев <i>Avena sativa</i> | 66 |

| | |
|--|----|
| Чемерис О. В. Влияние физико-химических параметров на эндогликаназную активность штамма <i>Irpex lacteus</i> 2434 при культивировании на растительных отходах сельского хозяйства | 70 |
| Мягкова А. С., Песцов Г. В., Прокудина О. В., Третьякова А. В., Коваленко Н. С., Воронцов В. С., Смирнов К. А. Изучение роста и развития червей вида <i>Dendrobaena veneta</i> | 74 |
| Шемет И. С., Кораблина И. В., Барабашин Т. О. Ретроспективная оценка содержания полихлорированных бифенилов в воде и донных отложениях Азовского моря | 77 |
| Dr. Seema Sharma Dynamics of change: Assessing India's Landscape in 2024 | 79 |

СЕКЦИЯ 2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

| | |
|---|-----|
| Агеева Т. Н. Мониторинг радиоэкологической ситуации в населенных пунктах зоны радиоактивного загрязнения Могилевской области | 82 |
| Дрожжина В. Н. Накопление тяжелых металлов в побегах <i>Ulmus pumila</i> L. в городской среде | 87 |
| Габитов Н. Г., Бускунова Г. Г. Исследование содержания некоторых биофильных и токсичных элементов в растениях <i>Sichorium intybus</i> L. в условиях урбосреды | 91 |
| Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф. Мониторинг ценопопуляционной структуры видов-доминантов луговых ассоциаций поймы р. Ипуть | 94 |
| Сафонов А. И. Потенциальные нео-очаги генотоксичности природных сред в Донбассе..... | 99 |
| Рак А. Н., Гершкович Д. М. Влияние микропластика на жизненные показатели и устойчивость к меди пресноводных ракообразных <i>Daphnia magna</i> : эффекты в ряду поколений после кратковременного воздействия | 104 |
| Карпов М. В., Григорьев Ю. С. Замедленная флуоресценция в оценке токсичности непрозрачных сред по воздействию на рост водоросли хлорелла | 108 |
| Калинина Ю. С. Выбор объектов для токсикологического фитомониторинга Донецко-Макеевской агломерации..... | 112 |
| Денисова А. С., Горбунов А. В., Петренко Д. Б., Ермолаев Б. В. Эколого-геохимическая оценка концентраций ртути в почве и листьях березы субарктической в зоне воздействия предприятий по переработке апатит-нефелиновых руд Кольского полуострова..... | 115 |
| Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф., Концевая И. И. Оценка влияния микробных биопрепаратов на численность некоторых бактерий в посевах ячменя..... | 119 |

| | |
|--|-----|
| Майнагашева А. Л., Григорьев Ю. С. Влияние температуры и времени культивирования водоросли <i>Chlorella vulgaris</i> Beijer на ее чувствительность к токсикантам..... | 123 |
| Бускунова Г. Г. Биогеохимические показатели <i>Euphorbia virgata</i> Waldst. в городской среде..... | 127 |
| Бускунова Г. Г. Содержание тяжелых металлов в воде и их накопление в водорослях-макрофитах на примере пруда Ибрагимовский г. Сибай Республики Башкортостан | 131 |
| Артына Н. К., Григорьев Ю. С. Влияние невысоких концентраций солей в среде на чувствительность <i>Daphnia magna</i> к бихромату калия..... | 135 |
| Мошненко К. И., Григорьев Ю. С. Оценка эвтрофикации природных и сточных вод методом биотестирования на водоросли хлорелла..... | 139 |
| Ашихмина Т. Я., Пугач В. Н., Товстик Е. В., Адамович Т. А. Опасность и токсичность борщевика Сосновского для окружающей природной среды и человека | 143 |
| Войтёнок П. А., Дрозденко Т. В. Летний фитопланктон Себежского озера (Псковская область)..... | 149 |
| Тимофеев И. В., Никольская Л. В. Санитарно-химическое состояние некоторых родников г. Пскова и Псковского района в весенний период..... | 153 |
| Седова Д. А., Морозова М. А., Пучкина Е. А., Березинская И. С. Санитарно-бактериологическое состояние воды в нижнем течении реки Дон в акватории гг. Ростова-на-Дону и Азова..... | 157 |
| Рыков Р. А., Горшкова А. Т., Бортникова Н. В., Семанов Д. А., Горбунова В. П. Анализ функционального зонирования водосборного бассейна озера Архиерейское | 159 |
| Решетников Е. М., Карпов М. В., Григорьев Ю. С. О биотестировании на водоросли хлорелла токсичности мутных и окрашенных водных проб, загрязненных нефтью | 163 |
| Морозова О. В., Шурмина Н. В. Влияние гидрохимических условий на структуру бактериопланктона в нижнем течении реки Казанки (г. Казань) | 167 |
| Кобечинская В. Г., Артёменко М. О. Мониторинг санитарно-бактериологического состояния морской воды в прибрежной зоне Черноморского побережья Республики Крым..... | 172 |
| Дрозденко Т. В. Фитопланктон в оценке экологического состояния Псковского озера | 177 |
| Липатов Д. Н., Коршенинникова П. Д., Манахов Д. В. Варьирование показателей качества воды в реке Лихоборке города Москвы..... | 181 |
| Рутман В. В., Хето М. Х. Оценка уровня загрязнения снега в городе Кирове..... | 186 |
| Пантелеева А. В., Зимонина Н. М. Оценка состояния атмосферного воздуха методом лишеноиндикации в городе Печора..... | 191 |
| Кантор Г. Я. Оценка антропогенного вклада в глобальное потепление..... | 194 |

СЕКЦИЯ 3
ЦИФРОВИЗАЦИЯ:
НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

| | |
|---|-----|
| <i>Кургузкин М. Г., Кургузкин П. М.</i> Результаты использования автоматизированных микростанций для мониторинга атмосферного воздуха | 199 |
| <i>Никитин О. В., Кузьмин Р. С., Степанова Н. Ю., Латыпова В. З.</i> Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха Кировской области диоксидом азота по данным спутниковой съемки Sentinel-5P | 201 |
| <i>Рутман В. В.</i> Применение цифровых технологий в научно-исследовательской и образовательной деятельности..... | 206 |
| <i>Глухов В. С., Дзюнов Т. М., Зотова М. А., Игнатъев И. М., Алымов А. П., Селезнев А. А., Малиновский Г. П., Ярмошенко И. В.</i> Распределение тяжелых металлов в современных поверхностно-депонированных отложениях города Тюмени | 210 |
| <i>Сегура Мартинес В. Д.</i> Внедрение модели максимальной энтропии (MaxEnt) для определения физических ковариат, связанных с азотом в почве в Колумбии..... | 214 |
| <i>Кутявина Т. И., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я.</i> Использование вегетационных индексов в мониторинге водоемов (на примере водохранилищ Кировской области)..... | 218 |
| <i>Смирнова В. И., Матушкин А. С.</i> Оценка факторов динамики агроландшафтов в центральных и южных районах Кировской области..... | 222 |
| <i>Токинова Р. П., Любарский Д. С., Бердник С. В.</i> Акваландшафтное разнообразие городского лесопарка как потенциальный рекреационный экоресурс | 227 |
| <i>Ярусова С. Б., Медеян Е. В., Иваненко Н. В., Перебейнос Д. П.</i> Доступность экологической информации для населения: результаты социологического опроса среди респондентов сферы экологического просвещения и образования..... | 232 |
| <i>Аникина Т. А., Соловьёва Е. С.</i> Определение липофильности биологически активных веществ | 236 |

СЕКЦИЯ 4
РЕГИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ.
НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

| | |
|--|-----|
| <i>Найнг Зо Е, Нистратов А. В., Клушин В. Н.</i> Показатели выхода и состава побочных продуктов карбонизации ископаемого угля месторождения «Тиджит» | 239 |
| <i>Зайнулгабидинов Э. Р., Игнатъев Ю. А., Петров А. М.</i> Метод потерь при прокаливании: определение оптимальных условий при измерении органического вещества в нефтезагрязненной почве | 242 |

| | |
|--|-----|
| Кичкайло О. В., Янушковская В. А., Анисько А. А. Осветление природных вод фильтрованием с использованием глауконитсодержащего кварцевого песка..... | 247 |
| Мишагин К. А., Твердов И. Д., Габдулхаев К. Р., Готлиб Е. М. Применение цеолит-кремнистой породы Татарско-Шатрашанского месторождения для получения волластонит и диопсид содержащих наполнителей..... | 251 |
| Терентьев Ю. Н. Композиция для капсулирования гранулированных минеральных удобрений..... | 254 |
| Хузиахметов Р. Х., Иванов С. Н., Виноградов К. В., Сабирова А. И. Агрохимическая эффективность карбамидо-формальдегидного удобрения в вегетационных опытах с кормовыми культурами..... | 258 |
| Кузьмин С. Л., Искаков Р. Ж. Обоснование экологических преимуществ новой технологии транспортирования горной массы в карьерах..... | 263 |
| Ярусова С. Б., Авраменко А. С., Панасенко А. Е., Достовалов Д. В., Гриценко П. В., Черепанова М. В., Гордиенко П. С., Сушков Ю. В., Шлык Д. Х. Синтез и сорбционные свойства материала на основе тоберморита из природного сырья..... | 268 |
| Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние поверхностно-активных веществ на численность кишечной палочки в свиных навозных стоках..... | 272 |
| Сырчина Н. В., Рутман В. В., Сазанова М. Л. Оценка безопасности мелиорантов на основе серо-грунтовой смеси методом фитотестирования.. | 276 |
| Li X. H., Wu J. J. Determination of trace cyanide in water by isonicotinic acid-pyrazolone-bispyrazolone polarography..... | 280 |
| Dandan Liu, Zhiyuan Yang Construction and preliminary evaluation of the intelligent oral drug delivery nanocarrier for the treatment of colon cancer based on chemo-photothermal synergistic therapy strategy..... | 283 |
| Jingsen Yan, Zeqing Wang, Tong Liu, Yang Chen Preparation of heteropoly acid quaternary ammonium salt phase transfer catalyst and its deep oxidative desulfurization of fuel..... | 288 |
| Danfeng Zhang, Limei Ai, Junyi Hui, Zijing Wang Photochromic properties of TiO ₂ -doped keggin-type silicon-molybdenum-tungsten ternary heteropoly acid composite film..... | 293 |
| Sandesh Kumar Daftari Eco-friendly pest control methods: pharmaceutical innovation for sustainable agriculture in India. Harnessing science for greener farms and healthier ecosystems..... | 297 |
| Anurama Gour Environmental implications of polysulfides production and consumption waste: a comprehensive review..... | 302 |

СЕКЦИЯ 1
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНОВ,
ПУТИ РЕШЕНИЯ

**ANALYSIS ON WATER QUALITY CHARACTERISTICS AND WHOLE
PROCESS FUNCTION TEST OF SEWAGE TREATMENT PLANTS**

Changwei An¹, Pengda Hu^{1,2}, Jun Zhang³

*¹ School of Biomedical & Chemical Engineering,
Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China,
Anchangwei@lnist.edu.cn*

² Vyatka State University, Russia

*³ College of Science, Shenyang University of Chemical Technology,
Shenyang, Liaoning, P. R. China*

Protecting of water environment and improving the drainage standards are more paid attention in China. Therefore, the existing sewage treatment plants are studied in detail to analyze the water quality characteristics and operation of status analysis. Through the analysis of process operation and existing problems, the optimal measures are put forward to provide effective guarantee for the efficient operation of sewage treatment plant.

Keywords: wastewater treatment, water quality characteristics, whole process function test, sewage treatment plant.

Water environment protection concerns the vital interests of people in production and life [1–4]. Analysis on water quality characteristics is conducive to environmental monitoring, water pollution control and environmental management [5–7]. Appropriate technological routes are formulated to improve the treatment capacity of sewage treatment plants for various sewages. This has significant social and practical significance [8–10].

Waste Water Treatment Plant (WWTP) located on the east side of the chemical industry park which design scale of the sewage treatment is 250 km³/d. Its east, west and north sides are close to the highway, and the south is near to the railway, covering an area of 24.74 hm². The satellite image of ZX WWTP structure is shown in Fig. 1.



Fig. 1. The satellite image of WWTP structure

The influent water of WWTP is mainly pharmaceutical wastewater ($70 \text{ km}^3/\text{d}$) and untreated municipal sewage ($180 \text{ km}^3/\text{d}$). The design and actual operation parameters of WWTP are displayed in Table 1.

Table 1

The biological tank design and actual running parameters of WWTP

| Contents | Design parameters | Actual parameters |
|--|---|--|
| Number of biological tanks | Two seats in four groups | Two seats in four groups |
| Total design flow | $250 \text{ km}^3/\text{d}$; $2.60 \text{ km}^3/\text{h}$ single pool | $200 \text{ km}^3/\text{d}$; $2.083 \text{ km}^3/\text{h}$ single pool |
| Total HRT under design flow (h) | 20.50 | 25.6 |
| HRT of anterior anoxic pool (h) | 1.06 | 1.32 |
| HRT of anaerobic phase (h) | 1.59 | 1.98 |
| HRT of anoxic phase (h) | 5.93 | 7.4 |
| HRT of aerobic phase (h) | 11.87 | 14.82 |
| Designed aerobic sludge age (d) | 12.5 | / |
| Sludge concentration (mg/L) | 3000 | 8000 |
| Sludge load ($\text{kgBOD}_5/\text{kg MLSS}\cdot\text{d}$) | 0.061 | / |
| Nitrate recirculation ratio | 100–300% | 150% |
| External reflux ratio | 50–150% | 80% |

The composition of pharmaceutical wastewater is relatively complex containing a variety of substances that are difficult to biodegrade and inhibit microbial growth. From the analysis of the historical data about the inlet and outlet water quality, it can be found that the chemical oxygen demand (COD), biochemical oxy-

gen demand (BOD₅), NH₃-N, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and suspended solids (SS) in the effluent can reach the Grade A standard of “Discharge Standards for Water Pollutants from Municipal Sewage Treatment Plants”. That is, the removal effect of contaminants is satisfactory. In order to make clear whether SS, degradable COD and biochemical BOD₅/COD are improved after pretreatment, through the distribution point, the whole process analysis is carried out to investigate the variation characteristics of the related pollutants along the process.

Problems and improvement methods:

(1) The pre-anoxic pool in WWTP has a high DO concentration, and the lack of anoxic environment in this phase is not conducive to the denitrification and denitrification of activated sludge. In order to reduce the DO concentration carried by the internal and external reflux active sludge, the aerobic terminal aeration rate can be reduced to prompt the anoxic environment of anoxic pool restored, which operating cost can be reduced.

(2) By analyzing the COD value of the pretreatment unit, it can be seen that the pretreatment unit has poor COD removal ability. It is necessary to optimize the pretreatment unit to reduce the possible impact of toxic and harmful substances in the influent on the biochemical system.

(3) The effect of biological phosphorus release and phosphorus removal in WWTP is not so good and no obvious phenomenon of biological phosphorus release and aerobic phosphorus absorption in the anaerobic section. The main components of the effluent in the biochemical pond are ammonia nitrogen, and the effluent TN and NH₃-N can meet the discharge standard.

(4) For the purpose of reducing the occurrence of floating mud caused by sludge aging, the mixing of sludge and water in anoxic tank and anoxic pool can be improved by installing a flow pusher in an appropriate positional.

According to the actual operation of a sewage treatment plant, the characteristics of process indicators along the process were analyzed, and it was found that in the process operation, the degradation effect of insoluble COD in the pretreatment section was poor, the carbon source concentration in the biochemical section was low, the denitrification and nitrogen removal function was affected, and there was mud accumulation. In view of the existing problems, the process optimization can be further carried out to improve the effect of nitrogen and phosphorus removal and promote the normal operation of the denitrification function.

This project was supported by Liaoning Natural Science Foundation Project of China (2022-MS-366), the Doctoral Start-up Foundation of Liaoning Provincial Natural Science Foundation of China (2022-BS-298), Enterprise Doctor Entrepreneurship and Innovation Project in 2020 of Yingkou. The authors also thank their colleagues and other students who participated in this work.

References

1. Impacts of regional water shortage information disclosure on public acceptance of recycled water – evidences from China’s urban residents / C. Hou, Y. Wen, X. Liu, M. Dong. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123965 // J. Clea Prod. 2021. Vol. 278. Article No. 123965.

2. A review on magnetic sensors for monitoring of hazardous pollutants in water resources / A. Hojjati-Najafabadi, M. Mansoorianfar, T. Liang, et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153844 // Sci. Total Environ. 2022. Vol. 824. Article No. 153844.
3. Rathi B. S., Kumar P. S., Vo D.-V. N. Critical review on hazardous pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, removal technologies and risk assessment. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149134 // Sci. Total Environ. 2021. Vol. 797. Article No. 149134.
4. Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions / B. K. Mishra, P. Kumar, C. Saraswat, et al. DOI: 10.3390/w13040490 // Water. 2021. Vol. 13. No. 4. Article No. 490.
5. Study on the water quality characteristics of the Baoan lake basin in China under different land use and landscape pattern distributions / W. Ren, X. Wu, X. Ge, et al. DOI: 10.3390/ijerph19106082 // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2022. Vol. 19. No. 10. Article No. 6082.
6. Characterizing the river water quality in China: Recent progress and on-going challenges / Y. Zhang, H. Bing, J. Peng, et al. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117309 // Water Research. 2021. Vol. 201. Article No. 117309.
7. Hou S., Xu J., Yao L. Integrated environmental policy instruments driven river water pollution management decision system. DOI: 10.1016/j.seps.2020.100977 // Socio-Econ. Plan. Sci. 2021. Vol. 75. Article No. 100977.
8. Pan D., Tang J. The effects of heterogeneous environmental regulations on water pollution control: Quasi-natural experimental evidence from China. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141550 // Sci. Total Environ. 2021. Vol. 751. Article No. 141550.
9. Does the “10-Point Water Plan” reduce the intensity of industrial water pollution? Quasi-experimental evidence from China / Z. Zhou, J. Liu, N. Zhou, et al. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113048 // J. Environ. Manage. 2021. Vol. 295. Article No. 113048.
10. Carbon peak and carbon neutrality in China: Goals, implementation path and prospects / Y. Wang, C. Guo, X. Chen, et al. DOI: 10.31035/cg2021083 // China Geol. 2021. Vol. 4. P. 720–746.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ – ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

***М. В. Васюхневич, Е. А. Копылова, И. Н. Кузменко**
Белорусско-Российский университет,
г. Могилев, Республика Беларусь,
fisbru@tut.by*

В статье рассмотрены вопросы современного общества и охраны окружающей среды Республики Беларусь, связанные с необходимостью обеспечения экологической безопасности на предприятиях и комфорта в городской среде.

Ключевые слова: экология, загрязнение окружающей среды, экологическая безопасность, экологические проблемы, охрана окружающей среды.

Сегодня в развитии современного общества Республики Беларусь центральное место занимает экологическая безопасность и охрана окружающей среды. Белорусские города и мегаполисы стали технологически продвинуты-

ми и мобильными, но это негативно сказывается на окружающей среде и жизни населения. Основными источниками экологического загрязнения являются заводы химической промышленности, машиностроительные предприятия и металлургические заводы.

Все эти промышленные предприятия создают дискомфортную обстановку в городах, поселках, населенных пунктах, загрязняя воздушную среду выбросами производства и автотранспорта. Поэтому регулирование вопросов экологической безопасности становится приоритетной задачей республиканских, областных, городских и местных органов самоуправления.

В связи с этим для решения важных экологических проблем во многих программах развития городов и населенных пунктах стоит задача свести к нулю вредные выбросы в атмосферу, отказаться от пластика и полиэтилена, организовать отдельный сбор мусора [1].

Городские власти, комитеты по экологии, специалисты предприятий (инженеры-экологи) проводят большую работу по обеспечению безопасности окружающей среды, контролируют выполнение норм природоохранного законодательства, занимаются отслеживанием влияния деятельности предприятий на экологию, изучением, анализом и разработкой мер по защите и улучшению окружающей природной среды, принимают инновационные решения в области экологической безопасности.

Вопросы выбросов, образования отходов и предотвращения деградации экосистем из-за изменения климата остаются первоочередными и актуальными. Для решения этих проблем Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь была принята Государственная программа «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов на 2021–2025 годы», основные принципы которой направлены на реализацию экологической политики в стране.

Цель Государственной программы – обеспечение экологически благоприятных условий для жизнедеятельности граждан, охраны окружающей среды, сохранения и устойчивого использования природных ресурсов.

Выполнение программы приведет к экологически устойчивому развитию, рациональному и рачительному использованию природных ресурсов, сохранению природного капитала и формированию глобальной экологической безопасности страны [2].

Выделим пять форм экологической безопасности.

1. Экологическая безопасность как социальная цель. Она соответствует целям устойчивого развития.

2. Экологическая безопасность как социальная норма. В данном случае она выступает в качестве социальной ценности, интегрированной в массовое сознание.

3. Экологическая безопасность как состояние социальных, техногенных и природных систем. В этом понимании экологическая безопасность носит системный характер.

4. Экологическая безопасность как социальная система. Рассматривает взаимоотношения социальных групп в сфере природопользования.

5. Экологическая безопасность как институциональная форма. Она выражается в политической и правовой защите интересов общества и государства от негативных воздействий, представляющих реальную угрозу здоровью человека и функционированию экосистемы и предполагает качественно новую стратегию государственно-правового регулирования общественных отношений в области охраны окружающей среды и природопользования.

Экологическая безопасность охватывает многие сферы услуг, промышленности, коммунального и сельского хозяйства.

Обеспечение экологически безопасного процесса производства, хранения, транспортировки и утилизации продукции осуществляется следующими способами:

- применение методов и технологий, позволяющих минимизировать уровни негативного воздействия на окружающую среду (очистки выбросов, технологий утилизации образующихся отходов, сбросов загрязняющих веществ);

- применение технологических процессов, обеспечивающих предотвращение возникновения аварийных техногенных ситуаций, недопущение негативного воздействия на окружающую среду выше установленных уровней, включая безопасность персонала;

- использование оборудования и машин с соответствующими конструктивными характеристиками;

- проведение оценки воздействия на окружающую среду с учетом требований экологической безопасности.

Основные виды экологических проблем: биологическое загрязнение; природные катастрофы, техногенные аварии, загрязнение окружающей среды особо опасными веществами; пожары; радиоактивные загрязнения; загрязнение воздуха; сохранение растительного и животного мира; охрана и использование земельных ресурсов; охрана водных ресурсов; охрана воздушной среды, формирование системы особо охраняемых природных территорий [3].

Решение экологических проблем возможно только при условии формировании личной ответственности каждого человека. Необходимо отказаться от экономического и экологического эгоизма и выстроить четкий план действий для принятия адекватных мер по сохранению окружающей среды (сажать леса, разводить рыбу, организовывать национальные парки, заповедники).

Экологическое обучение и воспитание в Республике Беларусь является государственным приоритетом и проводится с детства во всех образовательных учреждениях. Руководители и специалисты организаций и предприятий, занимающихся охраной окружающей среды, также проходят обучение, участвуют в семинарах и организуют экологический мониторинг для отслеживания воздействия промышленной деятельности на окружающую среду. Они строго соблюдают экологические нормы и следят за их исполнением.

В заключение можно сделать два важных вывода: глобальные проблемы затрагивают фундаментальные интересы человечества и требуют срочного решения.

В настоящее время, в связи с глобальным характером экологических проблем, требуется от человека новая форма самосознания, которая будет включать в себя экологическую осведомленность.

Рациональное сосуществование людей и природы является важным условием поддержания равновесия и гармонии. Человек должен быть единым целым в своем отношении к природе.

Библиографический список

1. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов / Е. С. Иванов, Д. В. Виноградов, Н. В. Бышов и др. Рязань : ИП В. Ю. Жуков, 2019. 308 с.
2. Ильинский А. В., Виноградов Д. В., Данчеев Д. В. Экологические основы природопользования : учебное пособие. Рязань : РГАТУ, 2017. 128 с.
3. Хотунцев Ю. Л. Экология и безопасность жизнедеятельности : учебное пособие : учебник для студентов, обучающихся по специальности безопасность жизнедеятельности. М. : Издательский центр «Академия», 2004. 480 с.

ПРОИЗВОДСТВО ОРГАНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ КАК ФАКТОР РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕСТКИ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ РЕГИОНОВ

Н. А. Никонова

*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Россия,
79127462539@mail.ru*

Статья посвящена актуальной проблеме развития национального органического сельского хозяйства в системе мер построения в стране «зеленой экономики и снижения нагрузки на природные ресурсы. Показаны объективные и институциональные предпосылки реализации политики устойчивого развития для решения современных глобальных вызовов человечества, включая экологические проблемы и сохраняющиеся значительные риски утраты биоразнообразия на планете Земля. Рассмотрены имеющиеся возможности и ограничения для роста объемов производства органической продукции, способствующие экологически безопасной хозяйственной деятельности в аграрном секторе экономики.

Ключевые слова: органическое сельскохозяйственное производство, риски, государственная поддержка, Российская Федерация.

В последние десятилетия во всех государствах значительно нарастают риски загрязнения окружающей среды и угрозы для здоровья людей. Поэтому для координации усилий мирового сообщества в решении данных проблем в

июне 2012 года в Рио-де-Жанейро с участием 192 государств состоялся саммит «Рио+20» по устойчивому развитию, на котором был принят итоговый документ под названием «Будущее, которого мы хотим». В нем определены задачи перехода к «зеленой экономике», разработки стратегии по адаптации к изменениям климата, снижению объемов выбросов парниковых газов и другие необходимые действия. Затем на прошедшей 25 сентября 2015 года 70 сессии Генеральной Ассамблеи ООН была принята Декларация «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», предусматривающая 17 целей в области устойчивого развития и 169 задач, в том числе в сфере рационального использования природных ресурсов и поддержания биологического разнообразия.

В Российской Федерации также предпринимаются активные меры по предотвращению деградации природных систем и решению экологических проблем. Например, 20 лет тому назад был издан Указ Президента РФ № 236 от 04 февраля 1994 года «О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития». В 2002 году, в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 31.08.2002 №1225-р, была принята Экологическая доктрина Российской Федерации. В последствии, 30 апреля 2012 года были утверждены Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, а 19 апреля 2017 года Указом Президента Российской Федерации № 176 утверждена Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. В Стратегии среди внутренних вызовов экологической безопасности названо усиление деградации земель и почв [1].

Указанные проблемы обсуждались также 27 декабря 2016 года на заседании Государственного совета по вопросу об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений, на котором Президент страны В. В. Путин подчеркнул, что актуальной задачей является поэтапный «переход России к модели устойчивого развития, и не просто к модели устойчивого развития, а экологически устойчивого развития», и что «экологически чистые технологии – это не только приоритет, это в конечном итоге приводит и к серьезному экономическому выигрышу» [2].

Цель работы является рассмотрение тенденций и перспектив развития в нашей стране производства органической продукции как фактора экологически безопасной хозяйственной деятельности в аграрном секторе.

Объектом исследования выступали экономические проблемы и возможности органического производства в современных рыночных условиях. В качестве методов исследования применялся анализ статистических данных, SWOT-анализ и анкетный опрос сельскохозяйственных товаропроизводителей.

На основе проведенных исследований можно констатировать следующее.

1. Производство органической сельскохозяйственной продукции по своей сущности направлено на сбережение окружающей среды и здоровья нации, в связи с тем, что оно предполагает применение экологически чистых

и безопасных технологий. Это обеспечивает использование земельных, водных и других ресурсов экологически обоснованными методами в соответствии с установленными требованиями. В результате не только не нарушаются природоохранные нормы законодательства, но и создаются экономические и социальные эффекты, влияющие на развитие аграрной экономики [3, 4] и формирование отдельного сектора органического производства в сфере АПК.

2. Становление органического производства в Российской Федерации происходит под влиянием общих трендов и глобальных тенденций его развития в мире [5]. По данным Научно-исследовательского института органического сельского хозяйства FiBL и Международной Федерации за органическое сельское хозяйство IFOAM – Organics International, которые приведены на сайте Союза органического земледелия [6], за 2022 г. объем мирового органического рынка составил почти 135 млрд евро, в том числе в США – 56,6 млрд евро, Германии – 15,3 млрд евро, Китае – 12,4 млрд евро. Общее число производителей органической продукции достигло 4,5 млн, при росте их количества почти на 26%, в первую очередь за счет значительного увеличения в Индии – страны с самым большим количеством производителей органической продукции (2,5 млн). К концу 2022 г. площади органических земель составили 96,4 млн га, что на 26,6% или 20,3 млн га больше, чем в 2021 г.

3. В Российской Федерации в Единый государственный реестр производителей органической продукции на 25 января 2024 г., по данным Министерства сельского хозяйства, входили уже 182 производителя. При этом 53% из них имеют сертификацию в растениеводстве, 8% – в животноводстве, 37% – по переработке продукции. По численности органических предприятий и хозяйств лидирует Воронежская область, на втором месте идет Краснодарский край, на третьем – Московская область.

Между тем следует отметить неравномерность развития органического сельского хозяйства по стране, например, в девяти регионах Северо-Запада сертификацию прошли всего 12 производителей. Среди них ООО «Опытный завод «НИВА» и ООО «Группа ЛАДОГА» в г. Санкт-Петербурге по производству органических спиртных напитков и 10 органических сельскохозяйственных производителей. Причем в таком развитом регионе как Ленинградская область органическую деятельность осуществляет два хозяйства, Новгородская область представлена 3 хозяйствами, в Калининградской сертифицированы 3 хозяйства, в Вологодской – 2.

Однако при развитости в АПК Северо-Запада отрасли молочного животноводства и реализации системы мер по поддержке ее развития [7], даже в Ленинградской области нет ни одного органического хозяйства данной специализации. Это указывает на наличие факторов, сдерживающих переход хозяйствующих субъектов аграрного сектора к экологически чистому производству, в том числе из-за отсутствия сертифицированных хозяйств растениеводческой специализации, производящих корма и травосмеси по органическим стандартам.

4. На основе SWOT-анализа возможностей и ограничений производства органической продукции можно сделать вывод, что на его экономический результат влияют те же виды рисков, которые указаны в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, а именно: климатические и агроэкологические угрозы, технологические риски, включая различия в уровне технологической оснащенности производства, ветеринарные и фитосанитарные риски распространения болезней животных и растений, а также вредителей растений. Их дополняют социальные и кадровые риски, что в совокупности ведет к нарастанию предпринимательского риска из-за недостаточной доходности производства.

Результаты анкетного опроса руководителей фермерских хозяйств на примере регионов Северо-Запада [8], позволили выявить основные факторы, замедляющие развитие органического сельского хозяйства на современном этапе. Среди них: дефицит информации, опыта и понимания особенностей органического сельского хозяйства у представителей малого бизнеса, отсутствие или недостаточный объем особых мер поддержки на региональном уровне именно органического производства. Это требует усиления разъяснительной работы, в том числе путем организации местными фермерскими сообществами семинаров, совместно с Союзом органического земледелия и участием аккредитованных хозяйств, более активного использования демонстрационных площадок, в первую очередь для товаропроизводителей, вступающих на этап конверсии, а также совершенствования государственного регулирования данной деятельности.

Нужно особо отметить такой фактор как проблемы сбыта продукции, хотя в ее решении в настоящее время большое значение имеет деятельность АО «Корпорация «МСП», которая находится в ведении Министерства экономического развития Российской Федерации и выступает как институт поддержки малого и среднего предпринимательства. АО «Корпорация «МСП» предоставляет гарантии и поручительства для кредитования бизнеса, оказывает комплекс консультационных услуг, что расширяет возможности товаропроизводителей во взаимодействии с крупными торговыми сетями и ритейлом в целом.

Острота сохраняющихся проблем устойчивого наращивания органической продукции требует, по опыту зарубежных государств, постоянного государственного внимания. Например, в европейских странах и США государственная поддержка органического сельского хозяйства осуществляется комплексно: на наднациональном, национальном, федеральном и региональном уровнях управления АПК. Причем в странах ЕС субсидии выделяются в течение всего периода, пока сельскохозяйственный производитель находится в стадии конверсии или поиска своей рыночной ниши. Дополнительным позитивным фактором также является развитая кооперация органических производителей, что позволяет существенно снижать риски их деятельности.

5. В Российской Федерации в 2023 г. была принята государственная Стратегия развития органического производства до 2030 года, целью которой

является развитие внутреннего рынка органической продукции, увеличение объемов ее экспорта и внедрение новых агротехнологий. Это позволит к 2030 г. увеличить, по сравнению с 2021 годом, производство органической продукции до 114,5 млрд руб. или в 12,5 раза, площадь органических земель – до 4292 тыс. га или в 6,5 раза, объем потребления органической продукции – до 149,8 млрд руб., или в 6,1 раза, экспорт – до 27,8 млрд руб., или в 7,5 раза, а также снизить долю импорта в общем объеме национального рынка органической продукции с 63% в 2021 г. до 24% к 2030 г. В начале 2024 г. распоряжением Правительства от 20 января 2024 года № 101-р утвержден План реализации данной Стратегии, среди мероприятий которого продвижение органической продукции на внутреннем и зарубежных рынках, организация профессиональной подготовки и переподготовки кадров, финансовой поддержки товаропроизводителей и др. В целях содействия отечественным производителям органической продукции, по инициативе Россельхозбанка осенью 2021 г. был создан Органический фонд, который финансирует программы и проекты, привлекает спонсоров и способствует стимулированию развития данного сектора в АПК.

Достаточно большое значение имеют региональные меры стимулирования органического производства путем выделения погектарных субсидий, компенсации затрат на сертификацию, участие в выставках и ярмарках, расходов на рекламу и т. д. Например, впервые в России в Воронежской области и Республике Удмуртия органическая продукция стала входить в состав государственных закупок для детского, школьного и дошкольного питания. Это имеет большое значение для роста ее доступности в условиях сложившихся доходов населения [9].

Таким образом, задачи устойчивого развития органического производства многообразны и их требуется решать с учетом системы факторов, сдерживающих или стимулирующих интерес бизнеса к переходу с традиционного к органическому типу производства. Среди них большое значение имеют региональные различия производства и ресурсный потенциал [10, 11]. Поэтому в системе мер по достижению поставленных амбициозных целей развития аграрного сектора и сельской местности в рамках реализуемого программно-целевого подхода отдельная роль отводится научному обеспечению, а также проведению постоянного мониторинга ситуации в данном секторе предпринимательской деятельности, что необходимо отразить в соответствующих показателях государственной статистики [12].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 23-28-01676, <https://rscf.ru/project/23-28-01676/>.

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» [Электронный ресурс]. – URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102430636> (дата обращения: 15.03.2024).

2. Заседание Государственного совета по вопросу об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений [Электронный ресурс]. – URL: <http://pfo.gov.ru/press/events/100855/> (дата обращения: 15.03.2024).
3. Буга З. К., Костяев А. И., Мицкевич А. А. Оценка эффективности и приоритетов развития АПК // Аграрная наука. 1993. № 4. С. 16–17.
4. Экономика и управление аграрным производством : учебное пособие для студентов высших учебных заведений по специальности 080502 – «Экономика и управление на предприятиях АПК» / В. П. Быкадоров, М. А. Градинарова, Л. Е. Звягинцев и др. Ростов-на-Дону, 2008. 714 с.
5. Nikonova N. A. Global trends in the production and consumption of organic products // Agriculture Digitalization and Organic Production : Proceedings of the 3rd International Conference on Agriculture Digitalization and Organic Production (ADOP 2023). 2023. P. 49–59.
6. Мировой органический рынок достиг почти 135 миллиардов евро [Электронный ресурс]. – URL: // <https://soz.bio/mirovoy-organicheskiy-rynok-dostig-po/> (дата обращения: 17.03.2024).
7. Трусова Н. А. Эффективность государственной поддержки производителей молока Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017. № 48. С. 157–161.
8. Никонова Н. А., Дибирова Х. А., Никонов А. Г. Факторы формирования рынка сельскохозяйственной органической продукции в условиях Северо-Запада // АПК: экономика, управление. 2023. № 10. С. 78–86.
9. Костенко О. В., Костенко П. Е. Неравенство доходов населения в России: уровень и тенденции изменения // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Экономика и управление. 2018. № 2. С. 90–95.
10. Костяев А. И. Выравнивание территориальных социально-экономических различий // Экономика сельского хозяйства России. 2006. № 5. С. 21.
11. Никонова Н. А., Никонов А. Г., Дибирова Х. А. Оценка ресурсного потенциала сельского хозяйства Северо-Запада с позиций перспектив производства органических продуктов питания // Труды КубГАУ. 2023. № 107. С. 317–321.
12. Костяев А. И., Никонова Г. Н., Трафимов А. Г. Проблемы программного подхода к развитию сельских территорий // Никоновские чтения. 2019. № 24. С. 10–12.

ВОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В БЕЛАРУСИ

О. В. Ковалёва, А. Ф. Карпенко

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

В статье рассматривается организация в Беларуси государственной водоохранной деятельности по рациональному использованию вод, включающей их правовую охрану, кадастровый учет и проводимую Минприроды водную стратегию, в результате которой в Республике сложилась действующая система водопользования, позволяющая решать основные проблемы и задачи в данной области с учетом особенностей предстоящего этапа социально-экономического развития страны.

Ключевые слова: водный кодекс, водный кадастр, водопотребление.

В настоящее время организация водоохранной деятельности в Беларуси является обязательным условием обеспечения ее экологической безопасности и устойчивого социально-экономического развития Республики. На страже водоохранной деятельности находятся водоохранное законодательство и, прежде всего, Водный кодекс (ВК) Республики Беларусь [1], а также ведение Государственного водного кадастра (ГВК), обеспечивающего учёт и мониторинг использования водных ресурсов [2].

Цель работы – рассмотреть основные положения охраны и кадастрового учёта водных ресурсов Республики Беларусь.

Действующий в настоящее время ВК Беларуси принят для регулирования отношений владения, пользования и распоряжения водами и водными объектами, и направлен на охрану, рациональное использование водных ресурсов, на защиту прав и интересов водопользователей. Водный кодекс Беларуси состоит из 14 глав, в которых отражена государственная система мер охраны вод, направленная на предотвращение загрязнения, засорения вод, а также на их сохранение и восстановление.

Все воды в пределах территории Республики Беларусь находятся в исключительной собственности государства и составляют государственный водный фонд. Государственный контроль в области использования и охраны вод в соответствии со ст. 86 ВК осуществляют местные Советы депутатов, исполнительные и распорядительные органы, а также специально уполномоченные органы государственного управления: органы по природным ресурсам и охране окружающей среды; органы государственного санитарного надзора; органы по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и атомной энергетике.

В соответствии с требованиями ВК экологическое состояние вод определяется на основании гидробиологических, гидрохимических и гидроморфологических показателей при проведении мониторинга в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. Благодаря ежегодно проводимому мониторингу вод обеспечивается сбор информации в целях прогнозирования развития и предотвращения вредных последствий и определения степени эффективности мероприятий, направленных на рациональное использование и охрану вод.

Экологическое состояние водных объектов принято классифицировать как отличное, хорошее, удовлетворительное, плохое и очень плохое. Информация о присвоенном классе экологического состояния водным объектам отражается в ГВК и размещается на официальном сайте Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (Минприроды).

Следует подчеркнуть, что за нарушение водного законодательства в Республике установлена административная, уголовная и гражданско-правовая ответственность, основанием которой является водное правонарушение, то есть виновное противоправное деяние, посягающее на установленный порядок использования и охраны вод и нарушающее водное законодательство.

В целях получения данных о количестве и качестве вод, а также данных об их использовании ведется государственный учет вод. Государственный учет вод и их использования осуществляется органами государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды, по гидрометеорологии и органами государственного санитарного надзора. Первичный учет использования вод проводится водопользователями за счет собственных средств с последующим представлением необходимой отчетности в Минприроды Республики Беларусь и его территориальные органы. Первичный учет использования вод представляет собой измерение, обработку и регистрацию по установленным формам количественных и качественных характеристик забора и сброса воды и является основой государственного водного кадастра.

Государственный водный кадастр содержит уже систематизированные данные о количестве и качестве вод, а также об их использовании. Он основывается на данных государственного учета вод и мониторинга вод и ведется Минприроды совместно с Министерством здравоохранения Республики Беларусь.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 152 от 02.03.2015 года утверждено Положение о порядке ведения и структура ГВК, включающее порядок и технологическую схему ведения ГВК и использования его данных. Так, например, ГВК за 2021 год в главе «Общая характеристика водных ресурсов, их использования и качества вод» приводятся данные о водных ресурсах и их использовании, а также качество поверхностных вод и их загрязнение сточными водами. В главе «Поверхностные воды» отражены пункты наблюдений государственной сети наблюдений за состоянием поверхностных вод, гидрометеорологические условия и речной сток, качество поверхностных вод по гидрохимическим и гидробиологическим показателям и состояние водных объектов в местах водопользования. В разделе «Подземные воды» показаны наблюдательная сеть режимных гидрогеологических наблюдений, эксплуатация подземных вод и их состояние в районах действующих водозаборов, а также режим и качество подземных вод в естественных и слабонарушенных условиях. В главе «Использование водных ресурсов» раскрываются водопотребление и водоотведение и загрязнение поверхностных водных объектов сточными водами. Пятая глава называется «Сведения о гидротехнических сооружениях» и шестая «Сводные данные по количеству поверхностных водных объектов, предоставленных в аренду для рыбоводства и о поверхностных водных объектах, используемых для рекреации, спорта и туризма».

По данным Национального статистического комитета добыча воды из природных источников в Республике в 2022 г. составила 1414 млн м³, что на 11 млн м³ меньше предыдущего года, соответственно сброс вод в окружающую среду 1245 и 8 млн м³. Доля безопасно очищаемых хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод в 2021 г. достигла 99,8% [3].

В результате проводимой государственной политики в области охраны и использования вод, а также в связи с переходом на применение наилучших

доступных технических методов в Беларуси снизилось водопотребление на душу населения и в период 2021–2022 гг. находилось на уровне 137–138 м³. Сокращению объемов использования воды на производственные нужды способствовало внедрение приборного учета вод. В настоящее время приборным учетом по добыче вод охвачено 100% объектов промышленности и 96% сельскохозяйственных организаций [4]. В последние годы более широко водопользователи стали применять воды в системах оборотного и повторного водоснабжения, что также позволяет, в целом по Республике, достигать большей экономии воды от общего объема ее использования.

Библиографический список

1. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – URL: <https://etalonline.by/document/?regnum=hk1400149> (дата обращения: 05.03.2024).
2. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2021 год). Минск, 2022. 149 с.
3. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический буклет / Отв. ред. И. В. Медведева. Минск, 2023. 36 с.
4. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник / Отв. ред. И. В. Медведева. Минск, 2021. 203 с.

ПОИСК НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ – ОДНА ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ЗАДАЧ СОВРЕМЕННОСТИ

Л. А. Шибека, П. А. Малиновская

*Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь,
Shibekal@mail.ru*

В статье рассмотрены трудности, возникающие в процессе поиска новых направлений использования отходов производства и потребления. Указаны основные особенности, на которые необходимо обращать внимание при оценке возможности применения отходов в качестве вторичных материальных ресурсов. Для одного из отходов производства комбикорма (пыли зерновой) показана возможность его применения в качестве сорбционного материала.

Ключевые слова: отход, обращение с отходами, использование, зерновая пыль, сорбент, очистка сточных вод.

Современный этап развития цивилизации на планете Земля поставил перед мировым сообществом вопрос о будущем существовании человечества. Это обусловлено повсеместным усилением негативного воздействия на все компоненты окружающей среды: атмосферный воздух, водные и земельные ресурсы, климат. Поиск путей выхода из сложившегося экологического кризиса требует усилий со стороны специалистов различных областей знаний. Для решения данной проблемы предлагаются различные направления, включая совершенствование технологических процессов для уменьшения поступ-

ления загрязняющих веществ в атмосферный воздух, водные объекты и почву; установку систем очистки пылегазовых выбросов и сточных вод, снижение эмиссии парниковых газов и др. [1]. Одним из возможных направлений, позволяющих уменьшить поступление загрязняющих веществ в объекты окружающей среды, является использование отходов в качестве вторичных материальных ресурсов [2].

Статистические данные свидетельствуют о том, что в 2022 г. в Республике Беларусь образовалось 40,1 млн т. отходов производства и 3,99 млн т. твердых коммунальных отходов. Уровень использования отходов производства составил 18,69 млн т. [3], твердых коммунальных отходов – 32% [4]. Несмотря на увеличение степени вовлечения отходов производства и потребления в хозяйственный оборот, поиск новых направлений применения данных материалов является актуальной задачей, стоящей перед обществом.

Поиск новых направлений применения определенного вида отхода невозможен без анализа его физико-химических, токсикологических и иных свойств с учетом агрегатного состояния, количества образования и других факторов. Для оценки возможных направлений использования рассматриваемого отхода необходимо проводить комплексные исследования, направленные на выявление всех указанных характеристик отхода. Это, в свою очередь, требует проведения длительных и дорогостоящих экспериментальных исследований. Зная химический и гранулометрический состав, класс опасности, физико-химические константы, влажность, зольность, кислотность и другие характеристики отхода, можно определить перспективные направления его переработки. Большую помощь в поиске возможных направлений переработки оказывает анализ опубликованных литературных данных и патентных разработок в отношении близких (к рассматриваемому отходу) по составу и свойствам материалов. В последующем требуется проведение комплекса исследований, подтверждающих или опровергающих возможность применения рассматриваемого отхода в конкретной области хозяйственной деятельности человека. Указанные трудности делают поиск новых сфер применения отходов производства и потребления сложной задачей, требующей значительных материальных и временных затрат.

Цель работы заключалась в рассмотрении возможности использования отхода производства (на примере зерновой пыли, образующейся при изготовлении комбикорма) в качестве сорбционного материала в процессах очистки сточных вод.

Известно, что в процессе производства комбикормов в качестве основного сырья выступает зерно различных сельскохозяйственных культур. При подготовке, хранении и подработке зерна на промышленных объектах по производству комбикорма происходит образование отходов. Данные отходы в соответствии с классификатором отходов, образующихся в Республике Беларусь [5], относятся к блоку 1 «Отходы растительного и животного происхождения», разделу 1 «Отходы пищевых и вкусовых продуктов», группе 1 «Отходы производства пищевых продуктов». Основные виды отходов комби-

кормового производства представлены на рисунке 1. Из рисунка видно, что основное количество отходов производства комбикормов образуется при хранении и подработке зерна. Данные отходы относятся к неопасным.

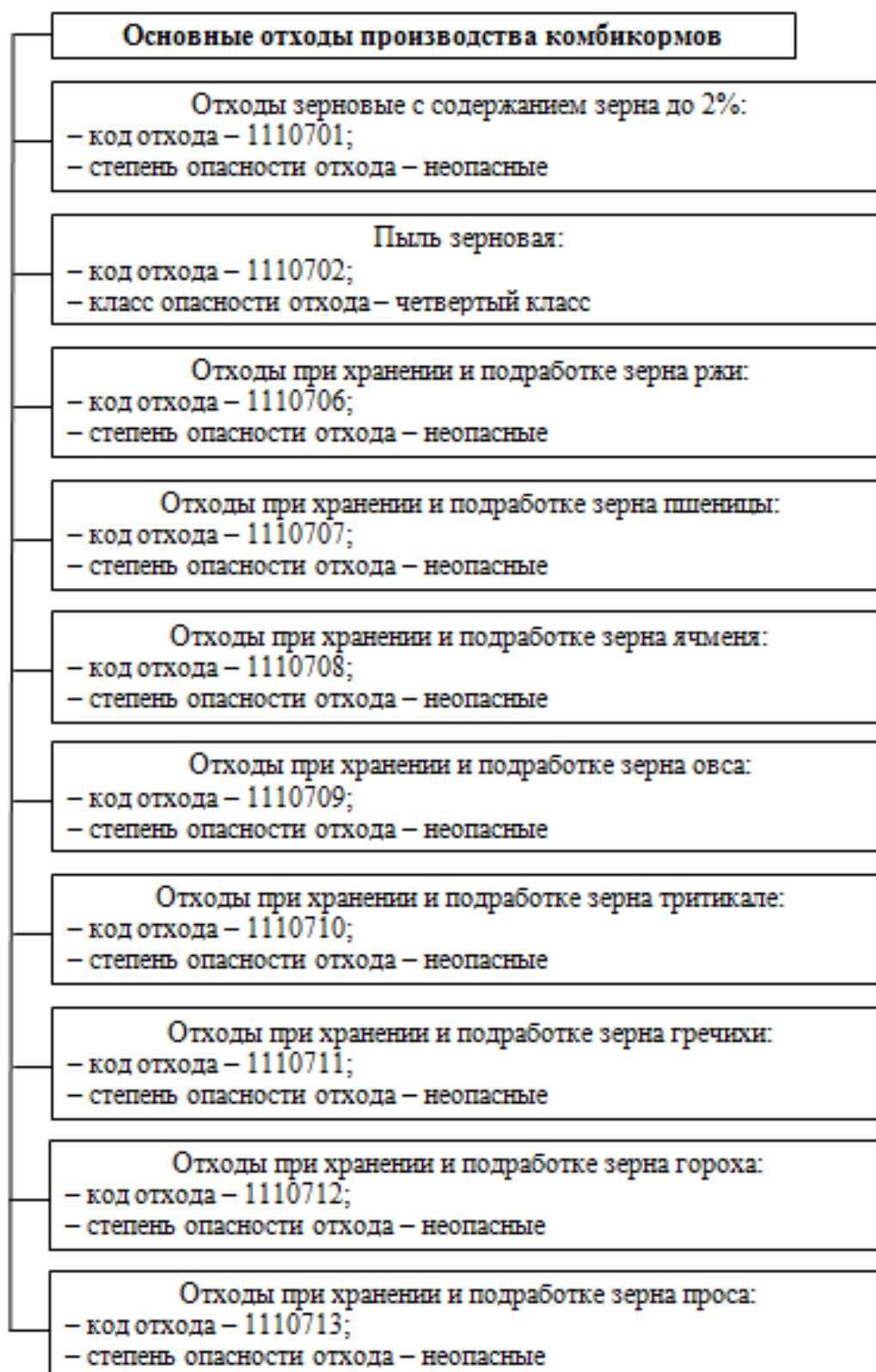


Рис. 1. Основные отходы производства комбикормов

Отдельными видами представлены отходы зерновые с содержанием зерна до 2% и пыль зерновая. Отходы зерновые с содержанием зерна до 2% относятся к категории неопасных. Пыль зерновая имеет четвертый класс опасности.

Первичный анализ литературных данных свидетельствует о том, что отходы производства комбикорма характеризуются низкой степенью токсичности, что расширяет область их применения, как вторичных материальных ресурсов.

Все указанные отходы, образующиеся при производстве комбикорма, содержат в своем составе пищевые волокна, которые представлены целлюлозо- и пектиносодержащими компонентами [6].

Известно [7–9], что многие целлюлозосодержащие отходы могут использоваться для производства сорбционных материалов. Полученные из отходов сорбенты могут применяться для очистки сточных вод от различных загрязняющих веществ: нефтепродуктов, ионов тяжелых металлов и др.

В работе проведены результаты исследований по определению потенциальной возможности использования отходов, образующихся при производстве комбикормов, для получения сорбционных материалов. В качестве объекта исследований использовали пыль зерновую. Оценивали дисперсный состав данного отхода, поскольку этот показатель является важной характеристикой любого сорбционного материала.

Для определения дисперсного состава пыли зерновой использовали набор сит в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 5223-99 [10] и ГОСТ 30483-97 [11].

В качестве объекта исследований выступала пыль зерновая, образующаяся в процессе подготовки сырья к последующей переработке на одном из промышленных объектов по изготовлению комбикормов и уловленная газоочистной установкой, установленной для очистки отходящих пылегазовых выбросов.

Результаты определения массовой доли отдельных фракций (%) в зависимости от размера частиц пыли зерновой (d , мкм) представлены на рисунке 2.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что пыль зерновую в зависимости от размера частиц (d , мкм) условно можно разделить на четыре фракции: $d < 0,25$ мкм, $0,5 < d \leq 0,25$ мкм, $3,0 < d \leq 0,5$ мкм, $d \geq 3,0$ мкм. Причем содержание первых трех фракций, указанных выше, составляет около одной трети от общего содержания частиц. Минимальное количество (10,55%) приходится на фракцию с мак-

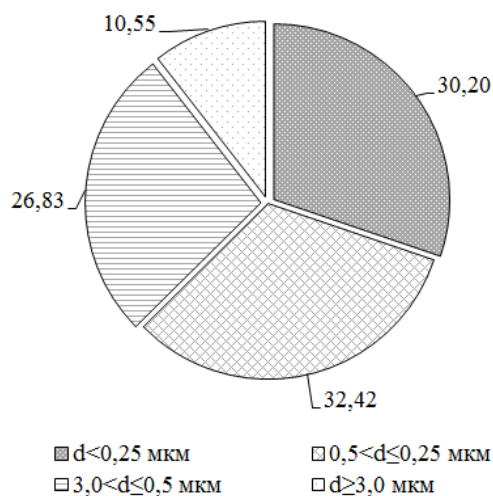


Рис. 2. Массовая доля фракций пыли зерновой

симальным размером частиц – 3,0 мкм и более. На долю фракции с размером частиц $3,0 < d \leq 0,5$ мкм приходится 26,83%.

В составе зерновой пыли преобладает фракция с размером частиц $0,5 < d \leq 0,25$ мкм (на ее долю приходится 32,42%). Содержание мелкодисперсных частиц с размером менее 0,25 мкм является также высокой – 30,20%.

Установлено, что пыль зерновая представлена, главным образом, мелкодисперсными частицами – до 0,5 мкм. В совокупности на эти частицы приходится 62,62% от общей массы образца. Учитывая, данный факт можно предположить, что пыль зерновая может рассматриваться в качестве потенциального сорбционного материала, не требующего дополнительного размолла. Из литературных источников известно, что удельная поверхность мелкодисперсного материала, чаще всего, является более высокой по сравнению с удельной поверхностью крупных частиц. Следовательно, пыль зерновая, как мелкодисперсный материал, обладает определенным достоинством по сравнению с другими отходами.

Для использования пыли зерновой в качестве сорбента необходимо проведение дополнительных исследований, подтверждающих наличие сорбционных свойств у рассматриваемого отхода. Кроме этого, острым является вопрос о дальнейшем обезвреживании отработанного сорбента. Для решения данных проблем требуются дополнительные исследования, которые будут выполнены в дальнейшем.

Библиографический список

1. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В. Альтернативная оценка вклада метана в парниковый эффект. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-3-197-207 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 3. С. 197–207.

2. Производство биоорганических удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве / А. В. Сазанов, Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2017-3-085-097 // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 85–90.

3. Состояние природной среды Беларуси : экологический бюллетень / Е. И. Громадская, Д. В. Цубленок, М. В. Водейко и др. Минск, 2023. 151 с.

4. Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mjkh.gov.by/novosti/eroven-ispolzovaniya-otkhodov-v-belarusi-32> (дата обращения: 07.03.2024).

5. Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 9 сент. 2019 г., № 3-Т с изм. и доп. от 20 февр. 2024 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551-&p0=W21934631p> (дата доступа: 07.03.2024).

6. Анализ химического состава и пищевой ценности зернового сырья для производства продуктов детского питания / С. А. Урубков, С. С. Хованская, Н. В. Дремина, С. О. Смирнов // Пищевая промышленность. 2018. № 8. С. 16–21.

7. Сорбционные свойства и природа взаимодействия целлюлозосодержащих полимеров с ионами металлов / Т. Е. Никифорова, Н. А. Багровская, В. А. Козлов, С. А. Лилин // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 5–14.

8. Никифорова Т. Е., Козлов В. А., Модина Е. А. Сольватационно-координационный механизм сорбции ионов тяжелых металлов целлюлозосодержащим сорбентом из водных сред // Химия растительного сырья. 2010. № 4. С. 23–30.

9. Шайхиев И. Г. Использование компонентов деревьев рода *Quercus* в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из воды. Обзор литературы // Вестник Казанского технологического университета. 2017. № 5. С. 151–160.

10. ГОСТ Р ИСО 5223-99. Сита лабораторные для анализа зерновых культур. Технические требования : действ. с 17.12.1999. М., 1999. URL: <https://meganorm.ru/Data/87/8740.pdf> (дата обращения: 07.03.2024).

11. ГОСТ 30483-97. Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси : действ. с 01.07.1998. Минск, 2009. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/276/27696.pdf> (дата обращения: 07.03.2024).

ПОИСК АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

Ван Гочжэн, Е. Н. Казимирская, А. В. Лихачева

*Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь,
alikhachova@mail.ru*

В Республике Беларусь образуется большое количество отходов, содержащих металлы, которые можно рассматривать в качестве альтернативных сырьевых ресурсов. Захоронение таких отходов приводит к безвозвратным потерям полезных компонентов, рассеиванию в окружающей среде соединений металлов. В статье описаны результаты использования отходов для получения магнитных сорбентов.

Ключевые слова: отходы производства, альтернативный сырьевой ресурс, магнитный сорбент, переработка, очистка сточных вод.

Природно-ресурсный потенциал территории характеризует особенности географического расположения страны, влияет на все стороны ее развития: экономические, экологические, социальные. По этому показателю Республика Беларусь относится к странам, которые находятся в зависимости от импорта минерального сырья.

На данный момент, в стране отсутствуют месторождения руд, пригодные для промышленного освоения. В связи с этим, много внимания уделяется сбору и повторному использованию металлосодержащих отходов производства. Хорошо налаженная система обращения с ломом черных и цветных металлов позволяет значительно улучшать эффективность ресурсного цикла, а использование ресурсосберегающих технологий в обрабатывающей промышленности обеспечивает ее функционирование без наращивания объемов добычи полезных ископаемых. Однако, учитывая то, что руды относятся к невозобновляемым природным запасам нашей планеты, их нерациональное ис-

пользование становится частью одной из глобальных экологических проблем – их исчерпания. Проблема ограниченности запасов руд также обуславливает необходимость широкого использования вторичного сырья.

На территории страны в отвалах и хранилищах накоплено огромное количество твердых отходов металлургического, машиностроительного, горнодобывающего и химического производств, а также отходов топливно-энергетического комплекса. Накопители отходов могут рассматриваться как техногенные месторождения, выведенные из хозяйственного оборота материальные ресурсы, многими видами которых страна практически уже не располагает. Техногенные запасы производственных отходов сравнимы с используемыми месторождениями природных полезных ископаемых. Многие отходы по составу и содержанию полезных компонентов превосходят некоторые виды перерабатываемых руд [1].

В данной работе объектом изучения являются железосодержащие отходы. Возможные способы обращения с данными отходами во многом определяется объемами их образования, содержанием в них железа, разрозненностью источников образования.

Если отходы рассматривать с точки зрения техногенного сырья, то можно использовать следующую классификацию [2]:

1. Богатые (содержание железа более 90%). К таким отходам относится все, что относится к категории металлолома. В отношении данных отходов организована строгая и четко функционирующая система обращения с ними.

2. Относительно богатые (40–90%). К таким отходам можно отнести: шлаки сталеплавильные, пыль колошникового газа, пыль железосодержащая с дробью, окалина, шламы прокатного производства, шлам железосодержащий и др.;

3. Сравнительно бедные (менее 40%). К таким отходам можно отнести: шлам и пыль газоочисток электросталеплавильного производства, шламы гальванические железосодержащие, растворы травильные прокатных и метизных цехов, обезвоженный осадок станций обезжелезивания и многие другие.

На данный момент в Республике Беларусь организована строгая и четко функционирующая система обращения с отходами, относящимися к первой группе, в тоже время недостаточно решена проблема использования и переработки отходов второй и третьей групп. Захоронение таких отходов приводит к безвозвратным потерям полезных компонентов, рассеиванию в окружающей среде соединений металлов. Многие из отходов рассматриваемых групп близки по составу и поэтому могут рассматриваться в качестве альтернативных сырьевых ресурсов [3, 4], в том числе для получения пигментов и коагулянтов для очистки сточных вод [5–7]. Данные продукты в настоящее время не производятся в Республике Беларусь по причине отсутствия природного сырья. Поэтому поиск вариантов переработки и использования железосодержащих отходов является очень актуальным не только для Республики

Беларусь, но и других стран мира, не имеющих собственных запасов железных руд.

Целью выполненных исследований являлось получение магнитных сорбентов из отходов металлургического производства и металлообработки, которые в настоящее время не используются на территории Республики Беларусь.

В качестве сырьевых ресурсов для получения магнитных сорбентов использовали: смесь окалины и сварочного шлака, шлак от индукционной печи, шлак от дуговой печи.

Всего было получено 5 видов сорбентов, четыре из которых относятся к композиционным, так как получены с использованием двух видов отходов.

Магнитные сорбенты получали методом осаждения из смеси окалины и сварочного шлака. Для перевода соединений железа из отхода в раствор, его обрабатывали 20% раствором серной кислоты при нагревании в течение суток. Затем отделяли фильтрованием непрореагировавший остаток. В образовавшемся растворе определяли содержание ионов железа, рассчитывали необходимый для последующей обработки объем 5% раствора гидроксида калия. В результате чего образовывался и выпадал в осадок смешанный оксид железа (магнитные наночастицы). На следующий день сорбент отфильтровывали, промывали и выдерживали на воздухе для дополнительного окисления железа (II) в железо (III). После этого сорбент высушивали до постоянной массы.

Композиционные сорбенты получали по приведенной выше схеме, вводя на разных стадиях металлургические шлаки.

Материальные балансы, составленные по моделируемым в лабораторных условиях технологиям, показали, что они характеризуются высокой водоемкостью.

Для сравнения вариантов получения магнитных сорбентов, были определены свойства полученных материалов: насыпная плотность, плавучесть, водопоглощение, нефтеемкость, краевой угол смачиваемости.

Полученные сорбенты обладают ферромагнитными свойствами, что было определено визуальным методом по высоте образующегося «ежика» при приложении в сорбенту магнитного поля. При этом композиционные сорбенты обладают меньшими магнитными свойствами, чем магнитный сорбент, полученный из смеси окалины и сварочного шлака.

Определение краевого угла смачиваемости полученных сорбентов показало, что они достаточно гидрофильны, но степень сродства к нефтепродуктам у них ниже. Нефтеемкость сорбентов составила от 0,72 до 0,81 г/г.

Определение физико-химических свойств сорбентов показало, что наилучшими характеристиками обладал сорбент, полученный из смеси окалины и сварочного шлака, а наихудшими – композиционный сорбент, полученный с использованием шлака от дуговой печи.

Таким образом, железосодержащие отходы металлургии и металлообработки целесообразно использовать для получения магнитных сорбентов.

Переработка отходов позволит обеспечить рациональное природопользование и создаст предпосылки для обеспечения будущих поколений альтернативными сырьевыми ресурсами.

Библиографический список

1. Качинская Д. В., Лихачева А. В. Проблемы обращения с производственными отходами в Республике Беларусь // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (г. Брянск, 29 апреля 2022 г.). Брянск : БГИТУ, 2021. С. 225–227.

2. Качинская Д. В. Характеристика железосодержащих отходов, образующихся в Республике Беларусь // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ имени В. Г. Шухова. (г. Белгород, 30 апреля – 20 мая 2021 г.). Белгород : БелГТУ имени В. Г. Шухова, 2021. С. 2588–2592.

3. Лихачева А. В. Направления использования альтернативных железосодержащих ресурсов // Природопользование и экологические риски : материалы науч.-практ. конф. (г. Минск, 5 июня 2019 г.). Минск : БГТУ, 2019. С. 92–95.

4. Лихачева А. В. Технология очистки сточных вод коагулянтами, полученными из железосодержащих отходов // Техника и технология защиты окружающей среды : материалы Междунар. науч.-техн. конф. (г. Минск, 26–27 октября 2011 г.). Минск : БГТУ. 2011. С. 48–50.

5. Лихачева А. В., Рылко Н. Н. Получение пигментов из отходов ОАО «Речицкий метизный завод» // Актуальные вопросы охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности промышленных регионов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Кемерово, 3–4 октября 2017 г.). Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет). 2017. С. 310–312.

6. Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я., Кантор Г. Я. Получение неорганических пигментов из отходов гальванических производств. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-1-022-029 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 22–29.

7. Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Производство пигментов для бетона на основе железосодержащих промышленных отходов (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-050-057 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 50–57.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ДЛЯ МЕЛИОРАЦИИ СОЛОНЦОВ

Т. Я. Ашихмина^{1,2}, Т. И. Кутявина¹

*¹ Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
usr08619@vyatsu.ru*

*² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия,
ecolab2@gmail.com*

Представлены результаты экспериментов по использованию серосодержащих отходов в качестве мелиоранта для засоленных почв. Предлагается использовать серо-грунтовую смесь, являющуюся отходом нефтепереработки, для улучшения физико-химических свойств щелочных засоленных почв.

Ключевые слова: засоленные почвы, солонцы, мелиорант, серосодержащие отходы, серо-грунтовая смесь.

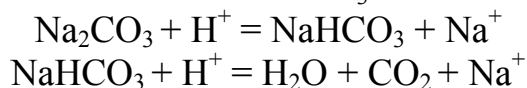
Увеличение масштабов засоления почв и связанное с этим опустынивание земель входят в число важнейших экологических проблем. В мире около 25% всей поверхности суши относится к засоленным почвам. Засоление почв на сегодняшний день является одним из основных факторов, отрицательно воздействующих на сельское хозяйство и окружающую среду.

Деградация и вывод из сельскохозяйственного оборота засоленных земель приводят к невозможным экономическим и экологическим потерям, снижают уровень и качество жизни населения. Негативное влияние засоленных почв не ограничивается сельскохозяйственным производством, а распространяется на природоохранные и ландшафтные объекты, вызывая серьезные экологические и коммерческие проблемы. Для предотвращения засоления и восстановления плодородия почвы требуется консолидация возможностей и усилий науки и практической деятельности в таких сферах, как почвоведение, экология, агрохимия, сельское хозяйство, химическая технология.

Разработка мероприятий по ослаблению и устранению процессов и последствий засоления почв является актуальной задачей, как в настоящий момент, так и на перспективу. Возможность использования отходов производства для улучшения свойств засоленных почв представляется на сегодня так же весьма актуальной проблемой.

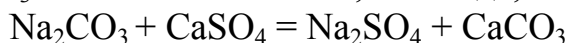
Засоление может быть хлоридное, сульфатное, содовое (карбонатное) и смешанное. Содовое засоление представляет особую опасность. По десятибалльной шкале токсичности Na_2CO_3 присвоен высший балл – 10. Сода оказывает угнетающее воздействие на развитие растений и очень плохо удаляется из почвы методом промывания [1, 2].

Для восстановления щелочных почв обычно используют химические мелиоранты, способствующие снижению содержания растворимых карбонатов в почве. В качестве мелиорантов применяют растворы кислот, кислые соли или тонкомолотую серу, которая окисляется почвенной микробиотой до серной кислоты. Подкисление способствует удалению из почвы Na_2CO_3 или переходу Na_2CO_3 в менее токсичный NaHCO_3 :



Основными недостатками кислот как мелиорантов являются высокая стоимость, высокая коррозионная активность, необходимость использования специального оборудования для внесения в почву, негативное влияние на здоровье людей и почвенную микробиоту.

Положительный эффект обеспечивает внесение в почву гипса или фосфогипса ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), которые взаимодействуют с содой с образованием малорастворимого CaCO_3 и менее токсичного, чем сода, Na_2SO_4 :



Основным недостатком гипса является медленно достигаемый мелиорирующий эффект и высокий расход соответствующего реагента.

Большой интерес в качестве мелиоранта для щелочных почв представляют отходы серы, а именно серо-грунтовая смесь, образующаяся при хранении техногенной серы открытым способом на специальных площадках – серных картах. Выделение из соответствующего отхода серы экономически нецелесообразно, поэтому серо-грунтовая смесь складывается на специальных полигонах как типичный отход, которого накапливается сотни тысяч тонн. Несмотря на то, что серо-грунтовая смесь относится к малоопасным веществам (класс опасности IV), хранение соответствующего отхода на полигонах не совсем безопасно и сопровождается поступлением в окружающую среду серосодержащей пыли, H_2S , SO_2 , H_2SO_4 и др.

На базе лаборатории биомониторинга Вятского государственного университета был выполнен комплекс исследований, направленных на изучение возможности применения отхода – загрязненного серой грунта в качестве мелиоранта.

Серосодержащие отходы использовались с целью улучшения свойств засоленных почв.

Объектами исследования являлись: засоленная почва, серосодержащие грунты, фосфоритная мука, фосфатмобилизующие бактерии, органоминеральные удобрения.

Эксперимент проводился по следующим направлениям:

1. Серо-грунтовая смесь в различных дозах вносилась в засоленную почву, добавляли дистиллированную воду до влажности $65 \pm 5\%$ от полной влагоемкости и оставляли при температуре 25 ± 2 °С в условиях естественного освещения. В процессе эксперимента после полного высыхания приготовленных таким образом образцов к ним добавляли дистиллированную воду. В водной вытяжке из почв определяли: удельную электропроводность, рН раствора, содержание катионов натрия, калия, кальция, магния, фосфора, а также карбонатов и гидрокарбонатов.

2. Серо-грунтовую смесь в различных дозах смешивали с фосфоритной мукой и вносили в засоленную почву.

3. Серо-грунтовую смесь смешивали с органическим удобрением (птичий помет, навоз крупного рогатого скота (КРС)) и вносили в засоленную почву.

4. Серо-грунтовую смесь вносили в засоленную почву, обработанную фосфатмобилизующими бактериями (*Bacillus megaterium*, *B. subtilis*).

Полученные данные свидетельствуют о том, что внесение в засоленную почву тонкомолотой серо-грунтовой смеси приводит к снижению щелочности и повышению удельной электропроводности водной вытяжки из почв.

Под влиянием серы увеличивается подвижность фосфора, калия, магния, кальция, серы, уменьшается содержание карбонатов и гидрокарбонатов. Внесение серо-грунтовой смеси в дозе серы 2–3 т на га засоленной почвы

способствует накоплению в почве связанного азота за счет повышения активности почвенных микрофототрофов [3].

Для улучшения свойств засоленной почвы проводили эксперимент с внесением в почвенные пробы фосфоритной муки, смешанной с серо-грунтовой смесью в различных дозах. Лучшие результаты на исследуемых солонцах получены при массовом соотношении серо-грунтовой смеси и фосфоритной муки 1:1. Избыток серо-грунтовой смеси по отношению к содержащемуся в фосфоритной муке фосфору необходим для снижения щелочности почвы.

Выделенная из серо-грунтовой смеси сера может найти применение в качестве эффективного химического активатора фосфоритной муки [4, 5]. Добавка молотой серы в фосфоритную муку может не только повысить эффективность соответствующего фосфорного удобрения, но и улучшить обеспеченность пашни доступными для растений формами серы, что имеет большое практическое значение в условиях развивающегося дефицита этого элемента в почве. Совместное внесение фосфоритной муки и серы в почву будет способствовать значительному повышению подвижности фосфора. Внесение активированной серой фосфоритной муки обеспечивает агрохимический эффект даже на щелочных засоленных почвах.

Кроме того, с целью улучшения свойств засоленной почвы эксперимент проводился с внесением в почвенные пробы серо-грунтовой смеси и органического удобрения (птичий помет, навоз КРС) [6]. Скорость достижения мелиорирующего эффекта серо-грунтовой смеси существенно возрастает при внесении на фоне высоких норм органических удобрений. Внесение серо-грунтовой смеси и органических удобрений в дозах 1:10 оказало положительное влияние на развитие проростков пшеницы. Горчица проявила наибольшую отзывчивость на серосодержащие органоминеральные удобрения. Результаты фитотестирования разработанных составов серосодержащих агрохимикатов показали, что ни один из испытанных составов не оказывает отрицательного воздействия на прорастание семян и развитие проростков тест-культур (пшеница, горчица). Существенный мелиорирующий эффект от внесения тонкомолотой серо-грунтовой смеси в засоленную почву наблюдается уже через 2–3 недели. Кроме того, полученные в ходе исследования результаты показывают, что дробное внесение серы в почву – по 2–3 т/га два или три раза за сезон позволяет сократить расход мелиоранта и получить лучший результат.

Агрохимическая эффективность и экологические характеристики засоленных почв могут быть улучшены за счет включения в их состав штаммов микроорганизмов, оказывающих положительное влияние на свойства почвы и биодоступность элементов питания для растений [7]. По материалам литературных данных выявлено положительное влияние бактерий рода *Thiobacillus* на скорость окисления элементарной серы в почве и, как следствие, повышение биодоступности питательных веществ и рост растений. Эффективность серы, применяемой в качестве удобрения или подкислителя, в основном

определяется почвенными микроорганизмами, окисляющими этот элемент до серной кислоты.

В ходе эксперимента серо-грунтовую смесь мы вносили в засоленную почву, обработанную фосфатмобилизующими бактериями (*Bacillus megaterium*, *B. subtilis*). Выявлено, что в пробах почвы, где не были внесены органические удобрения, данные бактерии подавляют процессы окисления серы, а на фоне органики проявляется положительный эффект. Эксперимент продолжается с использованием этих и других штаммов, на примере цианобактерий и микроводорослей.

Большой практический интерес представляет включение элементарной серы в состав минеральных и органоминеральных удобрений. В отличие от сульфатов, сера не вымывается из почвы, характеризуется пролонгированным периодом действия и не содержит балластных компонентов. Сера может найти применение не только в качестве мелиоранта, но и в качестве минерального удобрения пролонгированного действия, пригодного для использования на любых почвах. В отличие от мелиорантов, удобрения с содержанием серы вносятся в почву в более низкой норме (0,5–1 т/га). Норма внесения существенно зависит от рН почвы. Чем ниже рН, тем меньшее количество серы следует вносить, чтобы не допустить закисления.

Повышению эффективности серосодержащих удобрений способствуют добавки хелатов некоторых микроэлементов, а также органических компонентов (куриный помет, навоз КРС). В результате применения серы в норме 3 и 6 т/га устанавливается оптимальная реакция среды: 7,5 и 7,8 соответственно.

Согласно результатам исследований, использование порошковой серы в качестве мелиоранта на полугидроморфных солонцах в условиях орошения приводит к значительному снижению (более чем на треть) содержания обменного натрия и щелочности, увеличению подвижности и биодоступности соединений азота, фосфора, калия. К существенным недостаткам серосодержащих удобрений можно отнести подкисляющее воздействие на почву. В случае щелочных или щелочных засоленных почв соответствующий недостаток становится преимуществом.

Если использовать серо-грунтовую смесь для производства мелиорантов, то примесь грунта является весьма полезным компонентом, поскольку позволяет снизить слеживаемость и уменьшить пожаро- и взрывоопасность агрохимиката. Кроме того, частицы грунта выступают в качестве носителей уникальной аборигенной сероокисляющей микробиоты, сформировавшейся в местах хранения серы.

Новизна данной работы заключается в том, что предлагается использовать серо-грунтовую смесь, являющуюся отходом нефтепереработки, для улучшения физико-химических свойств щелочных засоленных почв. В результате выполненных исследований было установлено, что серо-грунтовая смесь может являться ценным сырьем для производства широкой линейки минеральных и органоминеральных удобрений, а также почвенных мелиорантов для засоленных почв. Включение серы в состав почвенных мелиоран-

тов для щелочных засоленных почв, минеральных, органических и биоудобрений можно рассматривать в качестве важного шага в направлении биологизации земледелия. Кроме того, следует отметить, что переработка техногенной серы в товарные продукты позволит получить следующие результаты:

- уменьшить количество накопленных техногенных отходов;
- улучшить экологическую обстановку в местах размещения серных отвалов;
- вывести на рынок новые высокоэффективные и экологически безопасные мелиоранты и удобрения для засоленных почв;
- предотвратить деградацию и улучшить экологическое состояние засоленных земель;
- получить дополнительную экономическую прибыль при реализации серосодержащих агрохимикатов.

Разработка эффективных составов мелиорантов и производство биоминеральных и биоорганоминеральных удобрений для повышения плодородия почв, снижения их засоления может стать весьма актуальным и перспективным направлением внедрения зеленых технологий в практику сельского хозяйства.

Наибольшую сложность при переработке серо-грунтовой смеси в удобрения и мелиоранты может представлять подбор оптимальной технологии измельчения серо-грунтовой смеси, поскольку сера и грунт существенно различаются по твердости, хрупкости и другим свойствам.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 1220401000325.

Библиографический список

1. Сырчина Н. В., Скугорева С. Г., Кутявина Т. И. Рациональная утилизация серосодержащих отходов. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-4-151-156 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 4. С. 151–156.
2. Сырчина Н. В., Кутявина Т. И. Влияние серосодержащих отходов на подвижность фосфора в засоленных почвах // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров, 15 ноября 2023 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 164–167.
3. 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.
4. Хвосты обогащения фосфоритов Вятско-Камского месторождения как вторичные материальные ресурсы для производства натуральных удобрений / Н. В. Сырчина, Н. Н. Богатырева, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-2-107-114 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 107–114.
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. Иванова. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-102-108 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 102–108.

6. Производство биоорганоминеральных удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве / А. В. Сазанов, Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2017-3-085-090 // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 85–90.

7. Перспективы использования фосфатмобилизующих бактерий на щелочных засоленных почвах / Н. В. Сырчина, Т. И. Кутявина, Г. В. Комоско и др. // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров, 15 ноября 2023 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 186–190.

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АУДИТА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ

*Е. В. Губарь, О. А. Самарина, О. В. Тупицына
Самарский государственный технический университет,
г. Самара, Россия, e.v.gubar@mail.ru*

В рамках данного исследования разработан набор эколого-технических показателей с целью аудита проектирования и строительства объектов обращения с отходами. Сформированы прогнозные сценарии эколого-экономического обоснования создания полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) с годовой мощностью от 35 до 55 тыс. тонн в год. Оценка различных конструктивных схем организации участков складирования отходов основывалась на факторах воздействия на окружающую среду и стоимостных характеристиках строительства полигона ТКО.

Ключевые слова: рациональное использование земельных ресурсов, экологические аспекты устойчивого развития регионов, экологическая безопасность.

Развитие регионов связано с непрерывным потреблением различных видов сырья и энергии, тем самым увеличивая объем образования материальных и энергетических отходов [1]. Недостаточное использование вторичных ресурсов на основе отходов в региональной экономике в настоящее время объясняется следующими ограничениями:

1. Недостаточность экономических, социальных и правовых условий вовлечения ТКО в хозяйственный оборот;

2. Несбалансированность мощностей объектов обращения с отходами и объемов образования ТКО, необеспеченность стабильных крупнотоннажных поставок вторсырья на переработку;

3. Отсутствие критериев оценки технико-экономической эффективности решений, направленных на достижение мероприятий по строительству объектов обращения с отходами;

4. Отсутствие повсеместного внедрения современных технологий обработки отходов с целью извлечения вторичных ресурсов;

5. Низкая степень вовлеченности частных инвестиций в обеспечение функционирования отрасли по причине низкой экономической эффективности инвестиционного капитала;

6. Сложность межотраслевых и межмуниципальных аспектов взаимодействия органов власти всех уровней, хозяйствующих субъектов и населения [2, 3].

Преодолеть указанные ограничения возможно в результате разработки системы укрупненных критериев оценки технологических, экологических и экономических параметров решений по реализации мероприятий обращения с отходами. Это позволит минимизировать количество захораниваемых отходов, обладающих ресурсным потенциалом, оптимизировать деятельность предприятий, вовлечённых в сбор, транспортирование, обработку и утилизацию ТКО, и способствовать переходу регионов к экономике замкнутого цикла в условиях обеспечения ее устойчивого развития [4].

Сравнительная оценка вышеуказанных эколого-технических, геоэкологических и эксплуатационных параметров строительства объекта захоронения ТКО выполнена путём разработки трёх вариантов технических и технологических решений для эталонного полигона ТКО мощностью 33–55 тыс. т/год с различными типами устройства участка захоронения ТКО (полигон с заглублением в рельеф; высотный полигон; карьерный полигон с последующим образованием насыпи) (табл. 1). Для эталонного объекта рассмотрен участок складирования площадью в 5 га, соразмерный строящемуся в Самарской области объекту захоронения ТКО аналогичной мощности, для максимальной приближённости исследования к реальным объектам.

Таблица 1

Эколого-технические показатели аудита эталонного полигона ТКО с различными категориями устройства участка захоронения

| Показатель | Стоимостная оценка ЭТП | | |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|--|
| | карьерный участок захоронения ТКО | насыпной участок захоронения ТКО | комбинированный участок захоронения ТКО (карьер с насыпью) |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Мощность, тыс. т/год | 35–55 | 35–55 | 35–55 |
| Срок эксплуатации, лет | 4,82 | 11,17 (↑ 231,74%) | 21,00 (↑ 435,69%) |
| Вместимость полигона, т | 168 750,08 | 390 925,55 | 731 637,73 |
| Вместимость полигона по уплотнённым отходам, м ³ | 129 807,75 | 300 711,96 (↑ 231,66%) | 562 798,25 (↑ 433,56%) |
| Площадь участка захоронения отходов, га | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Стоимость выполнения строительных работ, тыс. руб. без НДС | 689 295,80 | 611 060,73 (↓ 11,35%) | 689 295,80 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|------------|--------------------------|---------------------------|
| Расходы, включаемые в тариф регионального оператора (далее граждан субъектов РФ), тыс. руб./год | 143 007,43 | 54 705,53 (↓ 61,75%) | 32 823,61 (↓ 77,05%) |
| Расходы, включаемые в тариф граждан субъектов РФ, руб./м ³ в год | 953,38 | 364,71 (↓ 61,75%) | 218,83 (↓ 77,05%) |
| Условная стоимость размещения 1 т отходов без учёта эксплуатационных затрат, руб./т | 4 087,71 | 1 563,11 (↓ 61,76%) | 942,13 (↓ 76,95%) |
| Масса отходов, захораниваемых на 1 га, т/га | 33 750,02 | 78 185,11 (↑ 231,66%) | 146 327,55 (↑ 433,56%) |
| Площадь, требуемая для захоронения 1 т отходов, м ² | 0,296 | 0,128 (↓ 56,76%) | 0,068 (↓ 77,03%) |

Примечание: ЭТП – эколого-технические показатели. ↑/↓ – процентное увеличение / уменьшение значения по отношению к показателям полигона с карьерным участком захоронения ТКО.

При разработке технических и технологических решений объектов по захоронению ТКО учтены требования действующих нормативно-правовых актов (Федеральный закон от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ, Постановление Правительства РФ от 12.10.2020 г. № 1657, СП 320.1325800.2017 (изм. 1), ИТС НДТ 17-2021). Стоимость выполнения строительно-монтажных работ определена на основании сборников единичных расценок, являющихся составной частью системы ценообразования и сметного нормирования в строительстве, действующей на территории России.

Выполненные расчёты демонстрируют увеличение массы отходов, захораниваемых на 1 га, и сокращение площади, требуемой для захоронения 1 т отходов, при варианте строительства комбинированного участка захоронения ТКО. Полученные в результате исследования эколого-технические показатели представляют собой критерии избыточности решений по мероприятиям, реализуемым в сфере обращения с отходами потребления.

Библиографический список

1. Серeda Т. Г., Файзрахманов Р. А., Костарев С. Н. Научноёмкие технологии в проектировании искусственных экосистем хранения отходов. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2006. 290 с.

2. Обоснование потенциальных рисков размещения полигона твёрдых коммунальных отходов / В. В. Елсаков, Е. М. Лаптева, М. И. Василевич и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-072-079 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 72–79.

3. Моделирование ресурсосберегающего обращения с твёрдыми коммунальными отходами / Т. Г. Серeda, С. Н. Костарев, Ю. А. Кочинov, Т. В. Кочинova. DOI: 10.36622/VSTU.2023.24.1.011 // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2023. № 1 (24). С. 95–104.

4. Экологическое обоснование места размещения полигона твёрдых бытовых отходов / Е. В. Левин, Р. Ф. Сагитов, Т. А. Гамм и др. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (59). С. 182–184.

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЛИЦЕВОГО КИРПИЧА

О. В. Кичкайло, А. В. Пожарская

*Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь, kichkailo@belstu.by*

Проведены исследования по разработке составов масс для производства лицевого кирпича с использованием осадков очистных сооружений гальванических производств ОАО «Минский тракторный завод». Изучено влияние отходов на физико-химические и прочностные характеристики образцов, их структуру и фазовый состав.

Ключевые слова: лицевой керамический кирпич, отходы гальванических производств, утилизация.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что в настоящее время одной из важнейших проблем является переработка значительных объемов промышленных отходов, в частности очистных сооружений гальванических производств, основная часть которых не перерабатывается и ухудшает экологическую обстановку. Наиболее приемлемым направлением утилизации гальванических отходов различного состава является вовлечение в многотоннажное керамическое производство, так как при обжиге изделий оксиды тяжелых металлов консервируются в кристаллической и стекловидной фазах в виде химических соединений.

Цель данного исследования – разработка составов масс для производства лицевой стеновой керамики с использованием осадков очистных сооружений гальванических производств ОАО «Минский тракторный завод» (МТЗ), изучение влияния отходов на физико-химические свойства, структуру и фазовый состав изделий.

Используемые осадки гальванических производств МТЗ характеризуются непостоянством химического состава, который изменяется в значительных пределах при превалировании содержания оксидов железа – до 60 мас. %.

Основным компонентом для синтеза образцов стеновой керамики являлась легкоплавкая глина «Заполье» (Республика Беларусь, Витебская область, Шумилинский район), а в качестве добавки – отходы гальванических производств МТЗ при их содержании 10, 15 и 20 мас. %.

Сырьевые материалы предварительно высушивались при температуре 100 ± 5 °С, измельчались до прохождения через сито № 1 и перемешивались

после дозирования. Изготовление керамических образцов в виде параллелепипеда с размерами 60×30×15 мм осуществлялось пластическим способом при влажности масс 23–25%. Сушка осуществлялась в сушильном шкафу при температуре 100±5 °С. Высушенные образцы обжигались в электропечи при 900, 950 и 1000 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Образцы после обжига характеризовались однотонной окраской черепка с однородной структурой на изломе. Образование дефекта черной сердцевины не отмечено. Повышение температуры обжига и увеличение количества вводимых гальванических отходов МТЗ в составах исследуемых масс способствовали усилению интенсивности окраски черепка от светло-коричневой до темно-коричневой цветовой гаммы, что, очевидно, связано с интенсификацией образования железосодержащих кристаллических фаз.

Экспериментальные значения физико-химических свойств синтезированных образцов сведены в таблицу.

Таблица

**Физико-химические свойства опытных образцов
в зависимости от состава и температуры обжига**

| Количество отхода МТЗ, мас. % | Температура обжига, °С | Общая усадка, % | Водопоглощение, % | Открытая пористость, % | Кажущаяся плотность, кг/м ³ |
|-------------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|--|
| 10 | 900 | 7,8 | 20,0 | 30,8 | 1531 |
| | 950 | 7,4 | 19,9 | 30,7 | 1543 |
| | 1000 | 7,4 | 16,9 | 26,1 | 1569 |
| 15 | 900 | 7,8 | 24,0 | 32,2 | 1437 |
| | 950 | 6,6 | 22,4 | 31,0 | 1416 |
| | 1000 | 7,8 | 21,6 | 31,2 | 1461 |
| 20 | 900 | 7,8 | 27,4 | 37,2 | 1358 |
| | 950 | 6,8 | 27,2 | 36,1 | 1360 |
| | 1000 | 6,8 | 24,3 | 34,6 | 1380 |

При изучении влияния введения гальванических осадков на физико-химические свойства стеновых изделий установлено, что повышение количества введенных отходов МТЗ от 10,0 до 20,0 мас. % вызывает рост показателей водопоглощения и открытой пористости образцов при одновременном снижении общей усадки и кажущейся плотности. Это обусловлено снижением степени спекания керамических материалов при использовании исследуемых отходов в составах масс.

Исследование прочностных характеристик лицевого кирпича показало, что при увеличении количества введенных отходов МТЗ значения механической прочности образцов уменьшаются. Так, при температуре обжига 1000 °С механическая прочность при изгибе синтезированных образцов составляет 10–12 МПа (количество отходов МТЗ – 10 мас. %), 8–9 МПа (15 мас. %) и 6–7 МПа (20 мас. %).

Таким образом, используемые осадки очистных сооружений гальванических производств МТЗ вызывают отошающее действие на керамические

массы для изготовления лицевого керамического кирпича в исследованном интервале температур обжига (900–1000 °С), что выражается в разрыхлении структуры исследуемой керамики. Так, наибольшей степенью спекания характеризуются образцы, содержащие минимальное количество осадков МТЗ (10 мас. %) и при температуре обжига 1000 °С.

Проведенные исследования позволили определить оптимальный шихтовой состав для изготовления лицевого керамического кирпича, который включает 90 мас. % глинистой составляющей (легкоплавкая глина «Заполье») и 10 мас. % осадков гальванических производств МТЗ. При указанном соотношении компонентов достигнут следующий комплекс физико-химических параметров изделий: общая усадка составляет 7–8%; кажущаяся плотность – 1520–1590 кг/м³; открытая пористость – 25–27 %; водопоглощение – 16–17%; прочность при изгибе – 10–12 МПа; прочность при сжатии – 57–59 МПа; температура обжига – 1000 °С. Цвет образцов – темно-коричневый.

При изучении фазового состава опытных образцов стеновой керамики определено, что основными кристаллическими составляющими являются α -кварц, анортит, гематит и магнетит. Введение в состав керамических масс большего количества гальванических осадков способствует более активному формированию железосодержащих фаз Fe_3O_4 и $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

При исследовании микроструктуры керамических образцов методом оптической микроскопии с поверхности скола кирпича в отраженном свете установлено, что материалы представлены аморфизированным глинистым веществом сложного состава, кристаллической и стекловидной фазой (рис.).

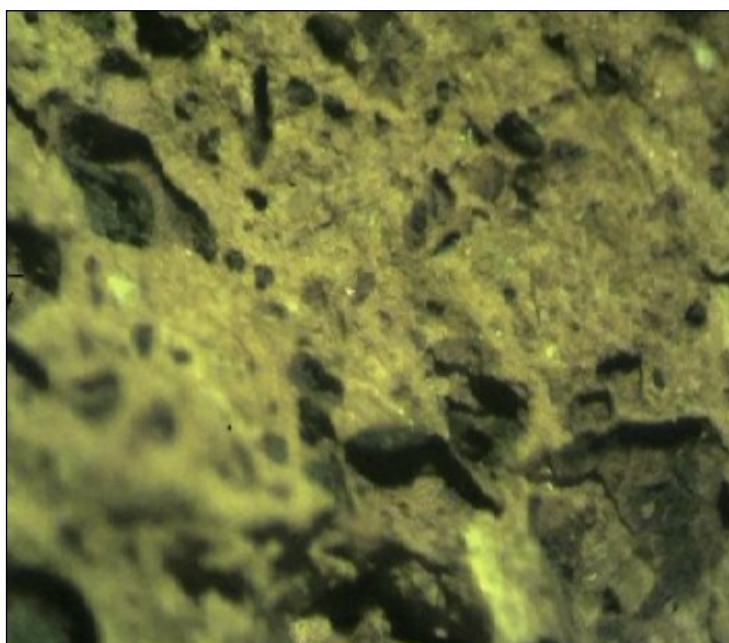


Рис. Оптическое изображение поверхности сколов образца керамического кирпича (температура обжига – 1000 °С)

Анализ результатов комплексных исследований позволяет сделать вывод о возможности использования осадков очистных сооружений гальваниче-

ских производств МТЗ для изготовления лицевого керамического кирпича. Организация рециклинга позволит не только использовать образуемые отходы, но и решить вопросы ресурсосбережения и экологической безопасности.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА ДЛЯ ДООЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ОКСИДОВ АЗОТА

*А. А. Кушков, А. А. Тормакова, С. Л. Фукс
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
kushkov_alexey@mail.ru, tormakova@bk.ru, tzb_fuks@vyatsu.ru*

В результате сжигания в котлах ТЭЦ углеродного горючего в воздухе образуются оксиды азота, которые каталитическим или высокотемпературным способами подвергаются разложению до азота и кислорода. Экспериментальная доочистка воздуха от остаточного загрязнения осуществлялась адсорбцией на гидролизном лигнине с эффективностью очистки до ПДК_{р.з.}.

Ключевые слова: воздух, оксиды азота, адсорбция, гидролизный лигнин, перманганат калия, очистка газов.

Для сжигания углеродного топлива (уголь, газ, мазут, торф) в котлах электростанций используется воздух. Эти виды топлива в разных количествах содержат примеси серы и тяжёлых металлов. Температура топочных газов, содержащих азот, остаточный кислород, оксиды углерода и серы, а также золу уноса на выходе из котла превышает 900 °С. В этих условиях происходит диссоциация молекул азота $N_2 \leftrightarrow 2N\cdot$. Радикалы взаимодействуют с остаточным кислородом с образованием оксида азота NO и дальнейшим окислением его части до диоксида азота NO₂. В связи с этим в дымовых газах присутствует смесь NO_x. При попадании в атмосферу газ охлаждается и оксид азота окисляется до диоксида азота. Диоксид азота обладает выраженным раздражающим действием на дыхательные пути, приводя к отеку легких, а также обладает общетоксическим действием. ПДК NO₂ в воздухе рабочей зоны – 2,0 мг/м³. Относится к III классу опасности [1].

В производстве тепловой и электрической энергии очистку воздуха от оксидов азота рекомендуется проводить высокотемпературным или каталитическим способами [2]. При очистке дымовых газов методом селективного некаталитического восстановления оксидов азота (СНКВ) продукты сгорания обрабатывают аминсодержащими компонентами (аммиаком, аммиачной водой или карбамидом), при этом образуются молекулярный азот и пары воды. Остаточная концентрация непрореагировавшего NO₂ при нормальных условиях не должна превышать 20 мг/м³. По технологии селективного каталитического восстановления оксидов азота (СКВ) оксиды азота восстанавливаются до молекулярного азота и кислорода. Содержание остаточного NO₂ по технологии СКВ должно составлять 4 мг/м³. Технологические параметры СНКВ

и СКВ не позволяют провести очистку дымовых газов до величины ПДК_{р.з.}. Под действием ультрафиолетовых лучей при взаимодействии оксидов азота с другими загрязнителями образуются высокотоксичные соединения [3]. В связи с этим разработка технологии доочистки выходящих газов теплоэнергетических комплексов от NO_x является актуальной задачей.

Цель исследования – разработка условий доочистки дымовых газов теплоэнергетических систем до уровней ПДК рабочей зоны с использованием сорбционной очистки.

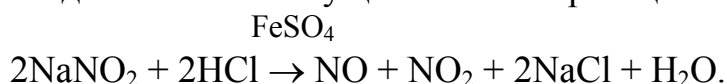
В качестве сорбента использовали отход сернокислотного гидролиза древесины – гидролизный лигнин (ГЛ). Ввиду того что сорбционные свойства зависят от физических свойств частиц сорбента, необходимо изучить их морфологию.

Для определения морфологии частиц ГЛ использовали сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) марки JEOL JSM-6510 LV (Япония) с подложкой в виде двустороннего токопроводящего углеродного скотча для крепления образца. СЭМ создает изображение максимально близкое к изображению, воспринимаемому человеческим глазом.

Подложку с образцом закрепляли в держателе на предметном столике камеры образцов СЭМ. Далее устанавливали необходимый режим вакуума (HV/LV). При достижении требуемого вакуума начинали исследование образца, задавая с помощью программного обеспечения необходимые параметры. Изображение морфологии ГЛ получали с помощью программного пакета Sem main menu.

Адсорбции оксидов азота осуществляли на установке, представленной на рисунке 1.

Получение модельного газа осуществляли по реакции:



Газ пропускали через 10%-ный раствор NaOH для удаления SO₂. Поток газа создавали с помощью переливных сосудов, меняя их расположение и заполненность 22%-ным раствором NaCl. В качестве реагента для определения количеств NO и NO₂ использовали раствор реактива Грисса, по изменению окрашивания которого спектрофотометрически на приборе ПЭ-5400В определяли содержание оксидов азота. Эффективность очистки рассчитывали по уравнению:

$$\text{Э} = [(C_0 - C_1) / C_0] 100\%,$$

где C₀ – концентрация оксидов азота до абсорбера, мг/м³;
C₁ – концентрация оксидов азота после абсорбции, мг/м³.

Концентрации газов (мг/м³) рассчитывали по уравнению:

$$C = 319124,89 \cdot (D \cdot n) / [W \cdot \tau \cdot (765 - P')],$$

где τ·W – объем газовой пробы, л; τ – время отбора пробы, мин.; P – атмосферное давление, кПа; W – расход газа, л/мин.; P' – разрежение, кПа; t – температура, °C.

Затем рассчитывали степень окисления α по уравнению:

$$\alpha = C_{NO_2} / (C_{NO} + C_{NO_2}).$$

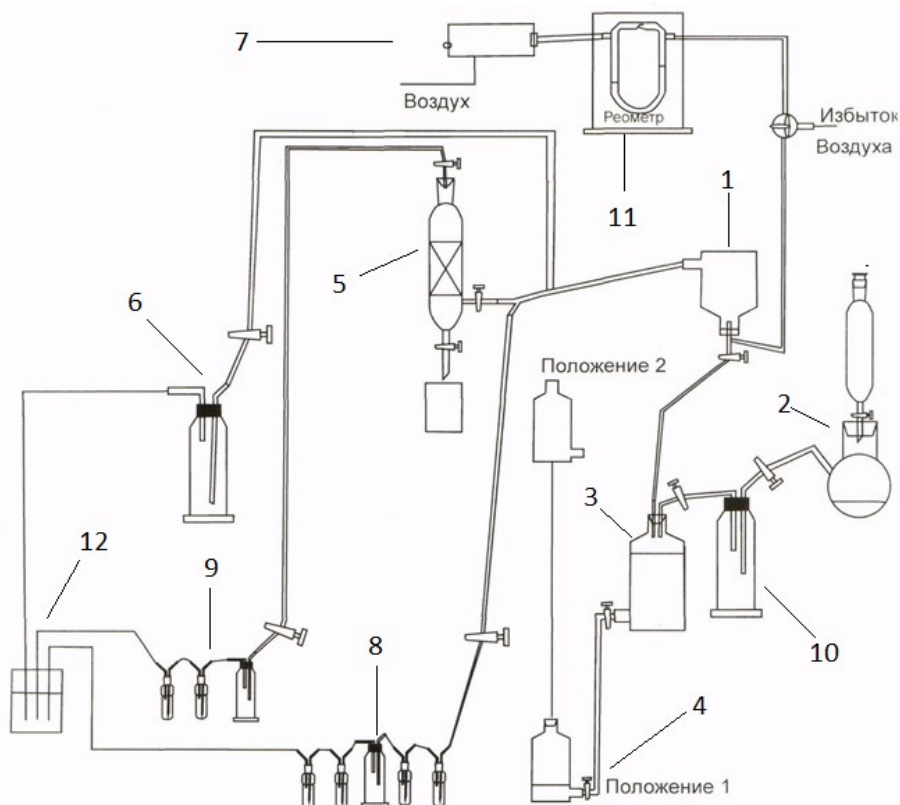
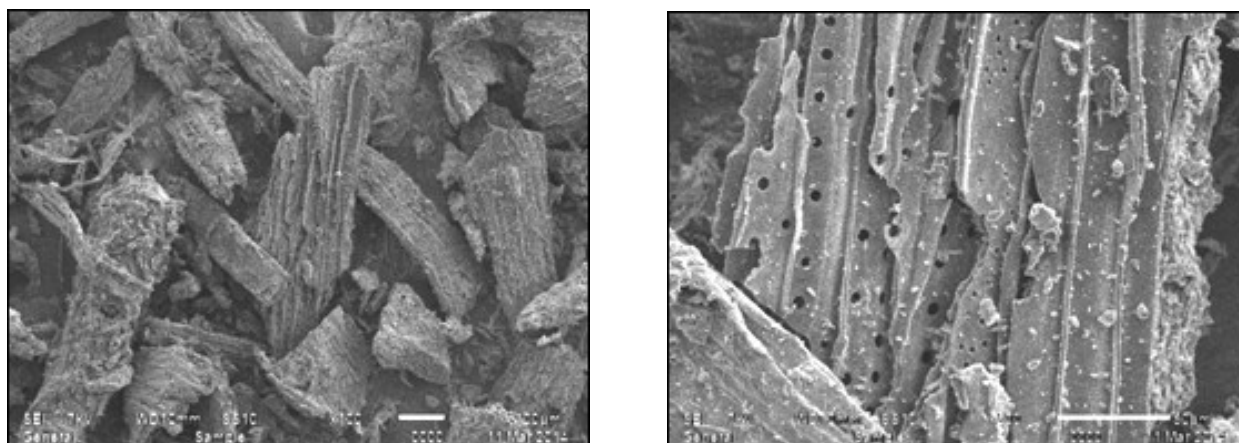


Рис. 1. Схема установки для определения адсорбции оксидов азота: 1 – ёмкость для сбора оксидов азота; 2 – колба и делительная воронка для получения газов; 3 – смеситель; 4 – бутылка с запорной жидкостью; 5 – адсорбционная колонка, заполненная ГЛ; 6 – бутылка с раствором карбамида; 7 – воздуходувка для просасывания газа через колонку; 8 – склянка Дрекселя и поглотительные склянки для отбора проб газа на входе в колонку; 9 – склянка Дрекселя и поглотители для отбора проб газа на выходе из колонки; 10 – поглотитель сернистых газов; 11 – реометр; 12 – стакан (слив)

Морфология ГЛ при различном увеличении представлена на рисунке 2.

При увеличении в $100\times$ видно, что морфология ГЛ сохраняет геометрические параметры основных компонентов используемого сырья (рис. 2а). При увеличении в $500\times$ (рис. 2б) заметно, что они имеют отверстия, в которых ранее при росте древесины располагались паренхимные клетки, подающие растворы от корневой системы в верхнюю часть дерева. При пропускании газа через колонку, заполненную ГЛ, оксиды азота сорбируются рыхлой поверхностью частиц ГЛ, внутренними отверстиями и другими неплотностями, увеличивающими действующую поверхность сорбента. Следовательно, можно ожидать, что ГЛ является активным поглотителем оксидов азота.



а

б

Рис. 2. Морфология гидролизованного лигнина, а – 100×, б – 500×

В исследованиях объём загрязнённого оксидами азота газа составлял 10 л. Результаты определения концентрации диоксида азота в газе до и после очистки приведены в таблице. Погрешность составляла $\pm 2\%$.

Таблица

**Влияние содержания лигнина в сорбционной колонке
на концентрацию диоксида азота в очищаемом газе**

| Содержание лигнина в сорбционной колонке, г | Концентрация диоксида азота, мг/м ³ | |
|---|--|---------------|
| | До очистки | После очистки |
| 15 | 27,40 | 3,69 |
| 30 | | 3,60 |
| 45 | | 4,50 |

Оказалось, что после очистки газа, содержащего 27 мг/м³ диоксида азота, при помощи ГЛ в количестве 15–45 г остаточная концентрация NO₂ составила 3,60–4,50 мг/м³, что превышает ПДК_{р.з.} в среднем в 2 раза.

Для повышения степени очистки до нормируемого уровня в ГЛ массой 15 г был добавлен окислитель KMnO₄ в количестве 0,5–2,5 г. Результаты очистки от диоксида азота приведены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что степень очистки воздуха достигает практически 99,6% при содержании 1 г KMnO₄ в 15 г ГЛ. Остаточная концентрация диоксида азота соответствует 0,09 мг/м³, что ниже ПДК_{р.з.}



Рис. 3. Зависимость степени очистки воздуха от NO_2 от содержания окислителя в сорбенте

Выводы. Гидролизный лигнин может использоваться как сорбент диоксида азота из топочных газов котлов теплоэлектростанций.

Установлено, что очистка воздуха от диоксида азота до ПДК_{р.з.} достигается при использовании соотношения ГЛ : $\text{KMnO}_4 = 15 : 1$.

Библиографический список

1. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. Справочное пособие. Л. : Химия, 1982. 592 с.
2. СТО 70238424.13.040.40.001-2008. Тепловые электрические станции. Экологическая безопасность. Технические требования к установкам очистки дымовых газов от оксидов азота. М., 2008. 28 с.
3. Исидоров В. А. Экологическая химия. СПб. : Химиздат, 2001. 302 с.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕЦИКЛИНГА ПРУТКОВОГО ЛОМА ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ВИНТОВОГО АРМАТУРНОГО ПРОФИЛЯ, КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ «ОЗЕЛЕНЕНИЯ» МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

С. Н. Лежнев¹, Е. А. Панин²

¹ Рудненский индустриальный университет,
г. Рудный, Республика Казахстан, sergey_legnev@mail.ru,
² Карагандинский индустриальный университет,
г. Караганда, Республика Казахстан, cooper802@mail.ru

Работа посвящена разработке и исследованию новой технологии рециклинга пруткового лома черных металлов, позволяющей без переплавки получать готовый конечный продукт в виде винтового арматурного профиля, который имеет широкое применение в строительной отрасли.

Ключевые слова: рециклинг, прутковый лом, радиально-сдвиговая прокатка, винтовой арматурный профиль, микроструктура.

На данный момент в мире производится почти 2 млрд тонн стали, которая применяется для изготовления различной металлопродукции, используемой в различных отраслях промышленности. При этом необходимо признать, что металлургия чаще всего является «грязной» отраслью, так как в данном случае идет достаточно сильное загрязнение окружающей среды. Поэтому перед металлургическими компаниями уже не одно десятилетие стоит задача по «озеленению» металлургии. И в настоящее время есть достижения в данном направлении. В тоже время, хочется отметить, что и сама металлопродукция, отслужившая свой срок, превращается в отходы, так называемый лом, который также необходимо утилизировать. Одним из самых простых и часто применяемых способов утилизации лома черных и цветных металлов и сплавов, является переплавка и дальнейшее вторичное использование. Если говорить о металлоломе черных металлов, то в некоторых странах мира в практику уже давно вошел и другой способ его переработки, а именно рециклинг некоторых отслуживших свой срок металлоизделий (ОСМ) различными способами горячей обработки давлением с получением нового товарного продукта. На наш взгляд, данный способ переработки лома черных металлов и сплавов можно отнести к «зеленым» технологиям, так как он позволяет внести свой небольшой вклад в улучшение экологической обстановки в мире.

На данный момент во многих странах мира разработан целый ряд различных технологических процессов по переработке некоторых ОСМ с помощью горячей обработки давлением в товарные продукты. Основоположником данного направления переработки ОСМ является американским ученым Е. Е. Slick, который еще в начале прошлого столетия разработал технологию переработки железнодорожных рельсов горячей прокаткой в калибрах с целью получения фланцевых профилей [1]. Но тогда предложенная им технология не нашла широкого применения на практике. И только в конце 20 века данное направление заинтересовало мировое научное сообщество и производителей металлопродукции. В настоящее время опубликовано значительное количество работ, посвященных соответствующей технологии [2–5]. Например, одна из этих технологий, а именно технология перекачки железнодорожных рельсов в строительную арматуру, нашла применение на металлопрокатном заводе в г. Тула (Россия).

Еще одним перспективным способом рециклинга некоторых ОСМ является их перекачка на станах радиально-сдвиговой прокатки [6]. Но чаще всего данный способ применим только для рециклинга металлоизделий цилиндрической формы, например, насосных штанг [7] и бывших в эксплуатации железнодорожных осей [8], а также пруткового лома черных металлов и сплавов [9], в том числе в виде арматуры [10]. В основе данного метода во всех случаях лежит принцип горячей радиально-сдвиговой прокатки бывшего в употреблении так называемого прутка до меньшего диаметра и уже после-

дующего использования полученного прутка меньшего поперечного сечения по назначению. Хочется отметить, что радиально-сдвиговая прокатка позволяет получать длинномерные изделия из различных материалов с градиентной ультрамелкозернистой структурой [11]. Данный способ наиболее технологичен и прост в осуществлении по сравнению со многими другими способами обработки металлов давлением, реализующих в процессе деформирования интенсивные пластические деформации.

Как уже было отмечено выше, радиально-сдвиговая прокатка позволяет перерабатывать прутковый лом черных металлов с получением товарного продукта в виде прутков различного назначения. В последующем данные прутки можно использовать для получения различной высококачественной металлопродукции, например, метизной продукции или стяжного винта для опалубки, но для этого потребуются дополнительные технологические решения.

Развивая направление рециклинга пруткового лома с помощью радиально-сдвиговой прокатки, нами был предложен новый технологический процесс для переработки пруткового металлолома, совмещающий радиально-сдвиговую прокатку и прессование через винтовую матрицу (рис. 1). Данная технология позволит получать из пруткового металлолома круглого поперечного сечения, а также арматуры, высококачественный товарный продукт в виде винтовой арматуры с градиентной ультрамелкозернистой структурой и с заданным уровнем механических свойств.

Ранее в работах [12–13] нами с помощью компьютерного моделирования в программном комплексе DEFORM уже была доказана возможность реализации данного совмещенного процесса и определены наиболее рациональные геометрические и технологические параметры для его реализации. Целью данной работы является подтверждение на практике возможности получения винтовой арматуры с градиентной ультрамелкозернистой структурой в ходе реализации нового совмещенного способа, представленного на рисунке 1.

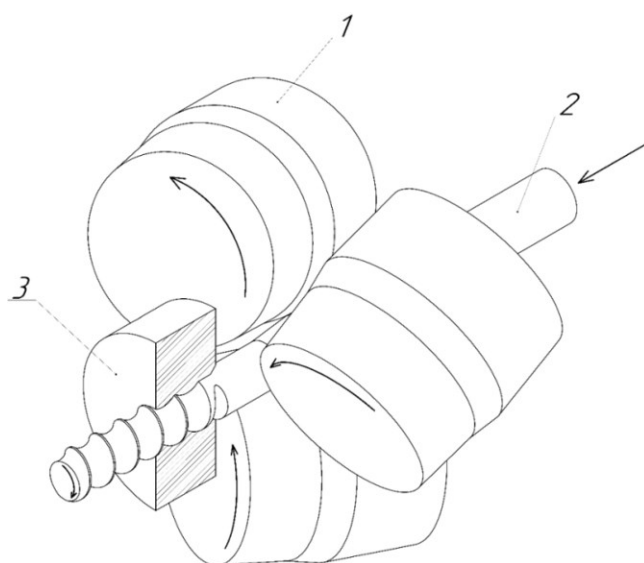


Рис. 1. Совмещенный способ получения винтового арматурного профиля:
1 – прокатные валки стана радиально-сдвиговой прокатки; 2 – заготовка;
3 – матрица

Лабораторная совмещенная установка для получения арматурного профиля была собрана на базе стана радиально-сдвиговой прокатки РСП 10-30, на который была установлена винтовая матрица.

В качестве исходных заготовок для проведения физического эксперимента были использованы куски арматуры из стали марки 25Г2С класса А-III (А400) ГОСТ 5781-82 диаметром 28 мм и длиной 200 мм, которые были подвергнуты гомогенизирующему отжигу.

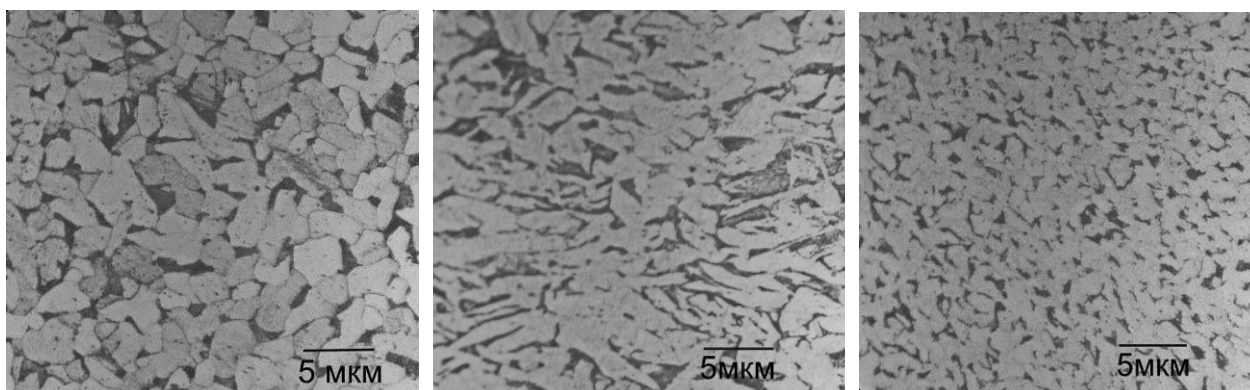
Технология рециклинга лома в виде арматуры включала в себя два этапа: 1-й этап – выкатывание арматурного профиля исходной заготовки (арматуры) на стане радиально-сдвиговой прокатки для получения обычной цилиндрической заготовки и создания первоначальных условий для формирования в будущем получаемом винтовом профиле градиентной ультрамелкозернистой структуры; 2-й этап – деформирование полученной на первом этапе цилиндрической заготовки на уже созданной совмещенной установке с целью получения винтового профиля с градиентной ультрамелкозернистой структурой.

При реализации первого этапа куски арматуры диаметром 28 мм перед деформированием на стане радиально-сдвиговой прокатки РСП 10–30 подвергались нагреву до температуры 1100 °С и выдержке при данной температуре в трубчатой печи Nabertherm. После чего было осуществлено деформирование данных кусков арматуры на стане радиально-сдвиговой прокатки до диаметра 22 мм за 2 прохода по схеме $\varnothing 28 \rightarrow \varnothing 25 \rightarrow \varnothing 22$ мм с шагом абсолютного обжатия по диаметру за проход равном 3,0 мм. После чего заготовки были отправлены обратно в печь температура, в которой была снижена до 1000 °С для подогрева. В это время на стан радиально-сдвиговой прокатки монтировалась винтовая матрица с диаметром (максимальным) рабочего винтового канала равным 20 мм. На втором этапе деформирование заготовок диаметром 22 мм уже было осуществлено на собранной совмещенной установке, т. е. сначала заготовка прокатывалась в рабочей клетке стана РСП 10–30 с абсолютного обжатия по диаметру 2 мм, на выходе из которой она входила в винтовую матрицу и за счет заталкивающего усилия, создаваемого валками, проталкивалась через винтовой канал.

Для проведения металлографических исследований с помощью оптической микроскопии на микроскопе OLIMPUS BX53M были подготовлены микрошлифы из исходного образца (после гомогенизирующего отжига) и из полученного винтового профиля. Микроструктура исследовалась в центре и на периферии сечения прутка. Результаты металлографических исследований представлены на рисунке 2.

Анализ эволюции микроструктуры показал, что при реализации предложенного технологического процесса для переработки пруткового металлолома, совмещающего радиально-сдвиговую прокатку и прессование через винтовую матрицу, исходная микроструктура исходный размер зерен стали 25Г2С после деформирования существенно уменьшился. При этом микроструктура в периферийной зоне полученного винтового профиля имеет преимущественно равноосный ультрамелкозернистый характер. В центральной

же зоне полученного винтового профиля в большей степени наблюдаются вытянутые в направлении прокатки зерна, что обусловлено предварительной деформацией исходных кусков арматуры по стандартной схеме радиально-сдвиговой прокатки [6].



а б в

Рис. 2. Микроструктура стали 25Г2С: а – исходная; б – в центральной зоне полученного винтового профиля (продольное направление); в – в периферийной зоне полученного винтового профиля (продольное направление)

Вывод: проведенные исследования доказали на практике ранее полученные в ходе компьютерного моделирования результаты, а именно то, что предлагаемый совмещенный технологический процесс получения винтового профиля реализуем. Данный процесс может быть использован для рециклинга пруткового лома черных и цветных металлов с получением готового товарного продукта в виде винтового профиля и, соответственно, его можно отнести к «зеленым» технологиям.

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP14869135).

Библиографический список

1. Patent USA 1086789. Method of rolling flanged shapes. Edwin E. Slick. 1914.
2. Смирнов В. К., Шилов В. А., Михайленко А. М. Технология переработки железнодорожных рельсов на сортовой прокат // Сталь. 1995. № 2. С. 46–48.
3. Patent USA 4982591. Rail recycle process. В. Darrell McGahhey. 1991.
4. Бахтинов Ю. Б. О целесообразности перекачки изношенных рельсов в сортовые профили // Производство проката. 2000. № 7. С. 2–4.
5. Бадюк С. И., Лещенко А. И. Получение сортовых профилей проката из изношенных железнодорожных рельсов // Обработка материалов давлением. 2010. № 4. С. 162–167.
6. Современное развитие элементов теории, технологии и министанов радиально-сдвиговой прокатки / С. П. Галкин, Ю. В. Гамин, А. С. Алещенко, Б. А. Романцев // Черные металлы. 2021. № 12. С. 51–58.
7. Галкин С. П., Романцев Б. А. Инновационная технология рециклинга насосных штанг с применением технологии и министанов радиально-сдвиговой прокатки в условиях ОАО «Очерский машиностроительный завод» // Инженерная практика. 2014. № 9. С. 58–61.

8. Гревцева В. В., Галкин С. П. Экспериментальное опробование технологии повторного использования железнодорожных осей с применением радиально-сдвиговой прокатки // 72-е Дни науки студентов НИТУ «МИСиС» : материалы 17-й молодежной науч.-практ. конф. (г. Москва, 21 марта – 7 апреля 2017 г.). Москва : НИТУ «МИСиС». 2017. С. 27–30.

9. Recycling of stainless steel bar scrap by radial-shear rolling to obtain a gradient ultrafine-grained structure / S. Lezhnev, A. Naizabekov, E. Panin et al. // METALURGIJA. 2021. Vol. 60. No. 3–4. P. 339–342.

10. Radial-shear rolling as a new technological solution for recycling bar scrap of ferrous metals / S. N. Lezhnev, A. B. Naizabekov, I. E. Volokitina et al. DOI: 10.31643/2021/6445.06 // Complex Use of Mineral Resources. 2021. No. 1. P. 46–52.

11. Galkin S. P. Radial shear rolling as an optimal technology for lean production. DOI: 10.3103/S0967091214010069 // Steel Transl. 2014. Vol. 44. No. 1. P. 61–64.

12. Development and computer simulation of the new combined process for producing a rebar profile / S. Lezhnev, A. Naizabekov, E. Panin et al. DOI: 10.1155/2023/7348592 // Modeling and Simulation in Engineering. 2023. Article No. 7348592.

13. Development and computer simulation of a new technology for forming and strengthening screw fittings / S. Lezhnev, E. Panin, A. Tolkushkin et al. // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2023. Vol. 58. No. 5. P. 955–960.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОДЕГРАДИРУЕМОСТИ ДИОПСИДА И НАПОЛНЕННЫХ ИМ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Е. В. Перушкина, Е. М. Готлиб, И. Д. Твердов, Е. С. Ямалева

*Казанский национальный исследовательский
технологический университет, г. Казань, Россия,
PerushkinaEV@corp.knrtu.ru, egotlib@yandex.ru*

В статье представлены экспериментальные данные почвенной деструкции диоксида и эпоксидных композиций с внесением 5% и 10% диоксидсодержащих наполнителей. Выявлена зависимость между респираторной активностью почвы и ее дегидрогеназной активностью в присутствии исследуемых композиций и диоксида.

Ключевые слова: диоксидсодержащий наполнитель, эпоксидные композиции, биодоступность, дегидрогеназная активность почвы, микробиоценоз почвы.

Вопросы экологической безопасности приобретают всё более важное значение, что определяет актуальность разработки технологий переработки сельскохозяйственных отходов, не имеющих пищевого или кормового значения [1, 2]. Одним из перспективных путей развития биоэкономики является применение наполнителей, получаемых на основе рисовой шелухи, которые снижают стоимость наполненных ими полимерных материалов и ускоряют их биодеградацию после окончания эксплуатации [3]. В этом аспекте особенно интересен получаемый на базе золы рисовой шелухи [4] диоксидсодержащий

наполнитель, который относится к группе силикатных биосовместимых материалов [5].

Цель работы – изучить биодеградацию диопсида и наполненных им эпоксидных композиций.

В экспериментах изучали композиции на основе ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), отвержденные аминафенолом АФ-2 (ТУ 2494-052-00205423-20, при комнатной температуре в течение 7 суток.

Диопсидсодержащий наполнитель (СД) был синтезирован твердофазным методом при 1100 °С в течение 3 ч на основе полученной при 500 °С золы рисовой шелухи и доломита, при содержании их 33% и 62%, соответственно, и добавлении 5% борной кислоты, для снижения температуры спекания [6].

Исследовали биодоступность для почвенных микроорганизмов СД и наполненных им полимерных материалов и влияние их на ферментативную активность почвы, как ее наиболее стабильный биохимический показатель [7].

Пластины эпоксидных материалов размерами 20 мм × 70 мм, толщиной 1,1 мм были помещены в серую лесную почву влажностью 60%. Влажность почвы контролировали методом высушивания до постоянной массы при температуре 105 °С, согласно требованиям ГОСТ 28268-89.

Продолжительность эксперимента – 90 суток, температурный режим почвенной инкубации: 23–25 °С.

Для оценки влияния материалов на микробиоценоз почвы применяли спектрофотометрический метод определения дегидрогеназной активности (ДГА) почвы в присутствии 1% раствора трифенилтетразолий хлорида (ТТХ), раствора глюкозы и фосфатного буфера. Для анализа отбирали слой почвы в непосредственной близости от образца полимера. Измерения проводили в трех биологических повторностях [8].

Определение респираторной активности почвы проводили по методу Штурма, для проведения эксперимента образцы предварительно измельчали до частиц размером 1 мм.

Активность ферментов группы дегидрогеназ является информативным показателем качества почвы, в зависимости от интенсивности процессов нитрификации, азотфиксации, дыхания, поглощения почвой кислорода [9]. При антропогенном воздействии на экосистему почвы ферментативная активность микроорганизмов, как правило, заметно снижается, вследствие этого измерение выбранного показателя в динамике почвенного тестирования позволяет установить наличие и интенсивность загрязнения почвы.

Дегидрогеназную активность определяли по количеству восстановленного формазана. В ходе эксперимента периодически отбирали образцы почвы, находившейся в непосредственной близости от полимерной пластины или из средней части почвы с внесением порошка.

Для эффективного контроля проводили периодическое увлажнение почвы стерильной водопроводной водой, а также ворошение почвенного слоя для обеспечения воздухообмена.

Результаты измерений представлены в таблице 1.

Согласно полученным данным, дегидрогеназная активность микрофлоры почвы в присутствии всех исследуемых образцов сохраняется в течение 90 суток (табл. 1). Это свидетельствует об отсутствии ингибирующего эффекта исследуемых образцов на почвенные окислительно-восстановительные ферменты, а именно дегидрогеназы.

Таблица 1

**Дегидрогеназная активность микрофлоры почвы
(мкг формазана/г почвы)**

| Образец | Продолжительность эксперимента, сутки | | | | |
|----------------------|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 0 | 30 | 45 | 60 | 90 |
| Почва (контроль) | 7,53±0,3 | 25,8±0,3 | 38,1±1,3 | 41,0±2,2 | 38,3±1,8 |
| ЭД-20 + 10% диопсида | 7,53±0,3 | 8,4±0,3 | 9,2±0,8 | 10,4±1,3 | 12,5±1,2 |
| ЭД-20 + 5% диопсида | 7,53±0,3 | 9,2±0,4 | 10,2±0,9 | 12,4±1,2 | 14,6±1,1 |
| Диопсид (порошок) | 7,53±0,3 | 35,8±0,2 | 40,3±1,5 | 48,3±1,8 | 48,5±2,3 |

Для всех почвенных микроорганизмов, получающих энергию за счет окисления разнообразных субстратов почвы, характерен фермент – дегидрогеназа, катализирующая реакцию отщепления водорода, т. е. дегидрирования органических веществ. В случае внесения полимерных композиционных материалов, это их органические компоненты.

При добавлении в почву порошка диопсида отмечено повышенное значение ДГА, относительно контроля, уже через 30 суток экспозиции. Это подтверждает микробиологическую деградацию органических компонентов в присутствии диопсида [10].

При внесении в почву наполненных эпоксидных материалов процессы биологической деструкции полимера можно отметить на 90 сутки эксперимента, что характеризуется повышением ферментативной активности в 1,5–2 раза по сравнению с началом тестирования.

В тоже время биodeградация наполненных диопсидом материалов, судя по дегидрогеназной активности микрофлоры почвы (табл. 1), существенно (более чем в 3 раза) меньше, чем у образца исследуемого кальций-магниевого силиката.

Установлено, что внесение в почву СД обуславливает увеличение дыхательной активности почвенного микробиоценоза примерно в 2 раза, по сравнению с этим показателем для контрольного образца. Это свидетельствует об использовании диопсида микроорганизмами почвы в качестве субстрата. Этот наполнитель не увеличивает биоразложение эпоксидных композиций в почве, судя по выделению углекислого газа (табл. 2).

**Дыхательная активность почвы в присутствии СД
и наполненных им материалов**

| Вариант | Дыхательная активность почвы, мг СО ₂ – С/г в час |
|----------------------|--|
| Почва (контроль) | 3,88±0,42 |
| ЭД-20 + 10% диопсида | 0,08±0,01 |
| ЭД-20 +5% диопсида | 0,13±0,02 |
| Диопсид (порошок) | 7,14±0,45 |

При антропогенном воздействии на экосистему почвы ферментативная активность микроорганизмов, как правило, заметно снижается, вследствие этого измерение этого показателя в динамике почвенного тестирования позволяет косвенно оценить биodeградацию закопанных в почву материалов. Установлено, что при добавлении в почву порошка диопсида увеличивается значение дегидрогеназной активности микрофлоры почвы, относительно контроля, уже через 30 суток экспозиции. Это коррелирует с ростом дыхательной активности почвенного микробиоценоза при введении диопсида примерно в 2 раза, по сравнению с этим показателем для контрольного образца. Эти результаты свидетельствуют о разложении наполнителя почвенными микроорганизмами и биodeградации неприродных соединений до простых и нетоксичных веществ.

Библиографический список

1. Recent progress of rice husk reinforced polymer composites: a review / M. A. Suhot, M. Z. Hassan, S. A. Aziz, M. Y. Md Daud. DOI: 10.3390/polym13152391 // *Polymers*. 2021. Vol. 13. No. 15. Article No. 2391.
2. 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.
3. Rohani A. B., Rosiyah Y., Seng N. G. Production of high purity amorphous silica from rice husk // *Procedia Chemistry*. 2016. Vol. 19. P. 189–195.
4. Диопсид как наполнитель эпоксидных полимеров / И. Д. Твердов, Е. М. Готлиб, Р. Ш. Нцуму, Е. С. Ямалеева // *Южно-Сибирский научный вестник*. 2023. № 4. С. 11–15.
5. A novel cost-effective approach to fabricate diopside bioceramics: A promising ceramics for orthopedic applications / P. Srinath, P. Abdul Azeem, K. Venugopal Reddy et al. DOI: 10.1016/j.apmt.2021.01.038 // *Adv. Powder Technol.* 2021. Vol. 32. No. 3. P. 862–872.
6. Сравнение модифицирующего действия в эпоксидных композициях диопсид содержащих наполнителей на основе техногенного и растительного сырья / Е. М. Готлиб, И. Д. Твердов, Э. Р. Галимов и др. // *Известия КГАСУ*. 2023. № 3 (65). С. 36–44.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. М. : МГУ, 1991. С. 124–160.
8. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М. : Наука, 2005. С. 54–80.
9. Łukowski A., Dec D. Influence of Zn, Cd, and Cu fractions on enzymatic activity of arable soils. DOI: 10.1007/s10661-018-6651-1 // *Environ. Monit. Assess.* 2018. Vol. 190. No. 5. Article No. 278.
10. Plastic wastes biodegradation: mechanisms, challenges and future prospects / S. S. Ali, T. Elsamahy, R. Al-Tohamy et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146590 // *Science of total environment* 2021. Vol. 780. P. 1–10.

БИОТЕХНОЛОГИЯ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОД ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Р. С. Кузьмин, О. В. Никитин

ООО «Экоаудит», г. Казань, Россия, ecotexp@yandex.ru

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по разработке биотехнологии фиторемедиации фильтрационных вод полигона захоронения твердых коммунальных отходов (на примере «Полигона ТБО г. Набережные Челны») от загрязняющих веществ. Представлены данные по исходному химическому составу фильтрата и сведения по химическому составу после процедуры очистки с использованием двух вариантов ботанических площадок (с осокой и тростником).

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, полигон ТКО, фильтрационные воды, фильтрат полигона, почвенно-растительный фильтр, биоплато, фиторемедиация, рекультивация.

Одной из актуальных экологических проблем урбанизированных территорий является снижение негативного воздействия полигонов захоронения твердых коммунальных отходов (ТКО) на объекты гидросферы, обусловленного фильтрационными водами (ФВ) [1–3]. ФВ характеризуются высоким (в сотни раз превышающим ПДК) содержанием токсичных органических и неорганических веществ, поэтому они представляют серьезную угрозу для окружающей среды и качества грунтовых и поверхностных вод [4–7].

ФВ или фильтрат полигона образуются также в процессе проводимой рекультивации полигонов отходов [8]. Применение высших растений для очистки и доочистки сточных вод известно с середины второй половины XX века [9–11], встречаются названия: ботаническая площадка, биоплато, почвенно-растительный фильтр.

Общей целью данной работы является разработка биотехнологии фиторемедиации фильтрационных вод полигонов ТКО от токсичных неорганических и органических веществ, использование биотехнологии для различных стадий (эксплуатация, рекультивация) полигона ТКО.

ФВ в рамках данного исследования были получены с полигона захоронения твердых коммунальных отходов «Полигон ТБО г. Набережные Челны» (Республика Татарстан, Тукаевский район). Площадь объекта размещения отходов – 130 тыс. м², проектная вместимость – 2,12 млн м³. Полигон эксплуатируется с 2009 года. Для сбора ФВ в южной части полигона предусмотрен пруд-сборник (55°40'45.5" с. ш., 52°34'07.7" в. д.) площадью около 2,5 тыс. м². ФВ из пруда-сборника используются для пролива тела полигона в летнее время для предотвращения самовозгорания. На территории полигона применяется система компостирования отходов на отдельной площадке для уменьшения органической составляющей захораниваемых отходов. ФВ полигона

включают дождевые и талые воды со всей территории объекта. Образцы ФВ для исследований в объеме 200 л были отобраны в июле 2023 г.

В отобранных пробах в аккредитованной лаборатории (RA.RU.21NB26) был установлен первоначальный химический состав ФВ. Были использованы следующие средства измерений: рН-метр рН-150МИ, спектрофотометр ПЭ-5300ВИ, концентратомер КН-2м, система капиллярного электрофореза Калель-104Т, спектрометр атомно-абсорбционный МГА-1000, весы HR-250AZG. Результаты химического анализа исходных фильтрационных вод полигона твердых бытовых отходов, подтверждающие высокий уровень загрязнения, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав исходных фильтрационных вод полигона ТКО

| № | Определяемая характеристика | Метод, методика измерений | Результат измерений, мг/дм ³ |
|----|---|---------------------------------|---|
| 1 | рН | Потенц., ПНДФ 14.1:2:3:4.121-97 | 7,6±0,2 |
| 2 | Взвешенные вещества | Грав., ПНДФ 14.1:2:3.110-97 | 354±30 |
| 3 | ХПК (мгО ₂ /дм ³) | Фот., ГОСТ 31859-2012 | 11400±1440 |
| 4 | БПК ₅ (мгО ₂ /дм ³) | Титр., ПНДФ 14.1:2:3:4.123-97 | > 2000 |
| 5 | Аммоний-ион | Фот., ПНДФ 14.1:2:3.1-95 | > 150 |
| 6 | Нитрит-ионы | Фот., ПНДФ 14.1:2:4.3-95 | 0,39±0,05 |
| 7 | Нитрат-ионы | Фот., ПНДФ 14.1:2:4.4-95 | < 0,10 |
| 8 | Сульфаты | Титр., ПНД Ф 14.1:2:3.108-97 | 31±4 |
| 9 | Хлориды | Титр., ПНДФ 14.1:2:3.96-97 | 2119±160 |
| 10 | Общий фосфор | Фот., ПНД Ф 14.1:2:4.248-07 | 3,9±0,5 |
| 11 | Железо общее | Фот., ПНДФ 14.1:2:4.50-96 | 0,30±0,06 |
| 12 | Нефтепродукты | ИК-сп., ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000 | 2,8±0,6 |
| 13 | Марганец | ААС, ПНД Ф 14.1:2.253-09 | 0,38±0,05 |
| 14 | Цинк | ААС, ПНД Ф 14.1:2.253-09 | < 0,0050 |
| 15 | Хром | ААС, ПНД Ф 14.1:2.253-09 | 0,0100±0,0022 |
| 16 | Кадмий | ААС, ПНД Ф 14.1:2.253-09 | 0,00060±0,00014 |
| 17 | Свинец | ААС, ПНД Ф 14.1:2.253-09 | 0,0083±0,0017 |
| 18 | Мышьяк | ААС, ПНД Ф 14.1:2.253-09 | < 0,0050 |
| 19 | Калий | Кэф, ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000 | 958±80 |
| 20 | Натрий | Кэф, ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000 | 1746±150 |
| 21 | Магний | Кэф, ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000 | 370±31 |
| 22 | Кальций | Кэф, ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000 | 200±17 |
| 23 | Сухой остаток | Грав., ПНД Ф 14.1:2:4.261-2010 | 6372±375 |

Примечание: Потенц. – потенциометрия, Грав. – гравиметрия, Титр. – титриметрический анализ, Фот. – фотометрия, ИК-сп. – ИК-спектроскопия, ААС – атомно-абсорбционная спектроскопия, Кэф. – капиллярный электрофорез; для рН, ХПК и БПК₅ указаны свои единицы измерений.

Был заложен полевой эксперимент в условиях, приближенных к условиям полигона (рис.). Пластиковые ёмкости (по 12 шт. на каждый вариант эксперимента) были заполнены субстратом (мытый гранитный гравий 20 % об. и речной песок 80 % об.), в который были укоренены высшие водные растения: тростник обыкновенный (*Phragmites australis*) и осока лисо-

видная (*Carex vulpinoidea*). На дне пластиковых ёмкостей была предусмотрена перфорация, для отвода и сбора фильтрата, принудительно повторно подаваемого на поверхность площадок. Общая продолжительность эксперимента с рециркуляцией фильтрата на пилотной установке с использованием ботанических площадок составила 30 сут.

По завершению эксперимента, собранный фильтрат был проанализирован в лабораторных условиях (табл. 2), что позволило установить итоговый химический состав и эффективность очистки.

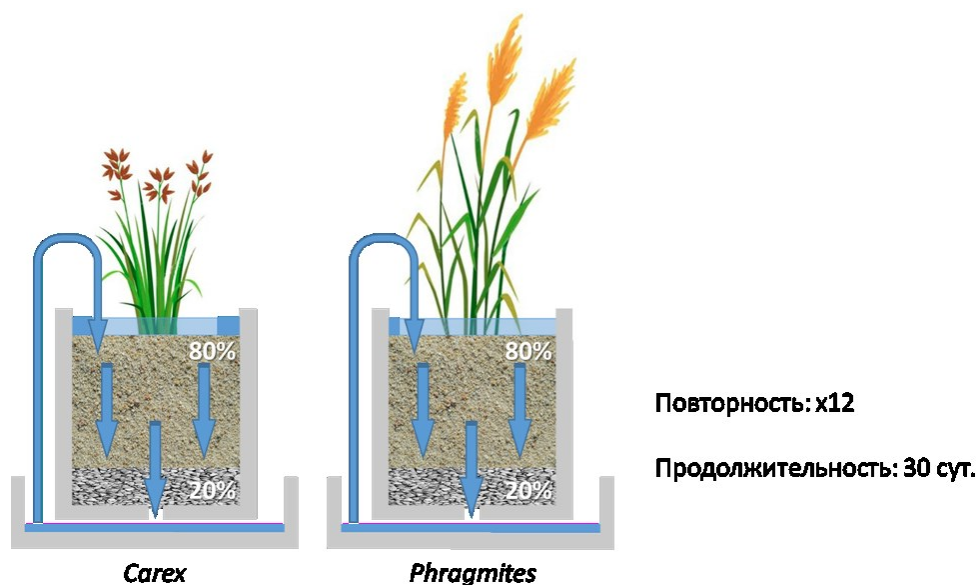


Рис. Общая схема эксперимента по очистке ФВ полигона ТКО с использованием двух вариантов ботанических площадок

Эффективность очистки по взвешенным веществам составила 44% для вариантов эксперимента с тростником и 14% для вариантов эксперимента с осокой. По ХПК эффективность очистки составила около 87%, по БПК₅ – около 70%. Концентрация общего фосфора уменьшилась на 59%. Существенно, почти на 100%, снизилось содержание нефтепродуктов. Ввиду того, что не была установлена исходная концентрация аммонийного азота, точное значение эффективности очистки по этому показателю не установлена.

Для практической реализации рассматриваемой процедуры биологической очистки фильтрата полигона ТКО важна экономическая составляющая. Основным предлагаемым способом очистки ФВ полигонов ТКО согласно СП 320.1325800.2017 «Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация» [12] является обратный осмос. Установки обратного осмоса очистки концентрированных сточных вод, таких как, например, ФВ имеют одно существенное преимущество – они могут обеспечить качество очистки воды до рыбохозяйственных нормативов, что необходимо для сброса в водные объекты.

Недостатком очистных сооружений на основе обратного осмоса является их высокая стоимость и цена эксплуатации: стоимость для одного объекта начинается от 70 млн рублей, ежегодные затраты – миллионы рублей на за-

мену мембран. Другой недостаток установок обратного осмоса – образование сильно загрязненной воды (концентрата), который захоранивается в верхней части этого же полигона, очищенную воду (пермеат) используют для обязательного полива в летнее время карт захоронения ТКО в целях обеспечения пожаробезопасности. Уничтожение концентрата от установок обратного осмоса возможно на установках сжигания жидких отходов, стоимость подобных установок составляет от 10 млн рублей при сопоставимых ежегодных затратах на топливо.

Таблица 2

Химический состав фильтрационных вод после процедуры очистки на ботанических площадках с тростником и осокой

| № | Определяемая характеристика | После очистки тростником | | После очистки осокой | |
|----|--|---|-------|---|-------|
| | | результат измерений, мг/дм ³ | ЭО, % | результат измерений, мг/дм ³ | ЭО, % |
| 1 | рН | 8,3±0,2 | – | 7,8±0,2 | – |
| 2 | Взвешенные вещества | 198±17 | 44,07 | 306±26 | 13,56 |
| 3 | ХПК, мгО ₂ /дм ³ | 1502±190 | 86,82 | 1592±200 | 86,04 |
| 4 | БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³ | 601±45 | 69,95 | 637±48 | 68,15 |
| 5 | Аммоний-ион | 138±24 | 8,00* | > 150 | – |
| 6 | Нитрит-ионы | 0,182±0,021 | 53,33 | 0,185±0,022 | 52,56 |
| 7 | Нитрат-ионы | < 0,20 | – | < 0,20 | – |
| 8 | Общий фосфор | 1,6±0,3 | 58,97 | 1,6±0,3 | 58,97 |
| 9 | Натрий | 1576±130 | 9,74 | 1654±140 | 5,27 |
| 10 | Калий | 431±36 | 55,01 | 395±33 | 58,77 |
| 11 | Кальций | 56±5 | 72,00 | 72±6 | 64,00 |
| 12 | Магний | 181±15 | 51,08 | 173±15 | 53,24 |
| 13 | Сухой остаток | 4362±330 | 31,54 | 4703±360 | 26,19 |
| 14 | Нефтепродукты | 0,148±0,030 | 94,71 | 0,16±0,03 | 99,83 |

Примечание: ЭО – эффективность очистки; * – ориентировочное значение, т. к. не установлена точная исходная концентрация.

Разрабатываемая биотехнология фиторемедиации фильтрационных вод полигона коммунальных отходовкратно дешевле установок обратного осмоса, очищенная подобным образом вода не достигает уровня рыбохозяйственных показателей, что не требуется для технической воды, которой поливают карты отходов в летнее время в целях обеспечения пожаробезопасности. Ежегодная эксплуатация установок биотехнологии фиторемедиации ФВ также дешевле и проще существующих систем очистки, высшие водные растения в конце сезона необходимо удалять и направлять на площадки компостирования при полигоне.

Для целей рекультивации полигонов бытовых (коммунальных) отходов и различных свалок использование биотехнологии фиторемедиации ФВ с обустройством герметичного пруда сборника наилучший вариант совме-

ния экологических и экономических целей. Биотехнология фиторемедиации концентрированных стоков является природоподобной.

Библиографический список

1. Сунгатуллин Р. Х., Хазиев М. И., Шанин А. Е. Геоэкологические исследования на Самосыровском полигоне твердых бытовых отходов // Ученые записки Казанского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2008. Т. 150. № 1. С. 168–181.
2. Оценка и очистка фильтрационных вод полигонов ТБО / Н. В. Селиванова, Т. А. Грифонова, О. Г. Селиванов, В. Ю. Чухланов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8–2. С. 99–102.
3. Hazardous wastes and management strategies of landfill leachates: a comprehensive review / M. T. El-Saadony, A. M. Saad, N. A. El-Wafai et al. DOI: 10.1016/j.eti.2023.103150 // Environ. Technol. Innovation. 2023. Vol. 31. Article No. 103150.
4. Bodzek M., Łobos-Moysa E., Zamorowska M. Removal of organic compounds from municipal landfill leachate in a membrane bioreactor. DOI: 10.1016/j.desal.2006.09.004 // Desalination. 2006. Vol. 198. No. 1–3. P. 16–23.
5. Кутляхметов А. Н., Кузьмин Р. С. Территории складирования и длительного хранения отходов, золотоизвлекающих производств как источник опасности для поверхностных и подземных вод // Журнал экологии и промышленной безопасности. 2012. № 3–4. С. 78–85.
6. Mature landfill leachate treatment by coagulation/flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes / C. Amor, E. De Torres-Sociás, J. A. Peres et al. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.12.036 // J. Hazard. Mater. 2015. Vol. 286. P. 261–268.
7. Минашкина А. В., Кондратенко С. В. Изменчивость химических показателей фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов в пос. имени А. Космодемьянского Калининградской области. DOI: 10.33933/2713-3001-2021-64-558-574 // Гидрометеорология и экология. 2021. № 64. С. 558–574.
8. Применение результатов аэрофотосъемки, полученных с использованием данных БПЛА, для оценки остаточной емкости полигона отходов на примере Республики Татарстан / Л. Г. Ахметзянова, Б. М. Усманов, Р. С. Кузьмин и др. DOI 10.35634/2412-9518-2021-31-4-404-415 // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31. № 4. С. 404–415.
9. Barr M. J., Robinson H. D. Constructed wetlands for landfill leachate treatment. DOI:10.1034/j.1399-3070.1999 // Waste Manage. Res. 1999. Vol. 17. No. 6. P. 498–504.
10. Bulc T. G. Long term performance of a constructed wetland for landfill leachate treatment. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2006.01.003 // Ecological Engineering. 2006. Vol. 26. No. 4. P. 365–374.
11. A critical review of biological processes and technologies for landfill leachate treatment / D. Bove, S. Merello, D. Frumento et al. DOI: 10.1002/ceat.201500257 // Chem. Eng. Technol. 2015. Vol. 38. No. 12. P. 2115–2126.
12. СП 320.1325800.2017. Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация (с Изменением № 1). М. : Стандартинформ, 2018. 12 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ПОЧВЫ МЕТОДОМ БИОЦЕМЕНТАЦИИ

*Д. А. Головкина^{1,2}, Е. В. Журишкина^{1,2}, И. М. Лапина^{1,2},
А. А. Кульминская^{1,2}*

¹ НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, г. Гатчина, Россия,

² Курчатовский геномный центр – ПИЯФ, г. Гатчина, Россия,
golovkina_da@pnp.i.nrcsk.ru

В статье рассмотрено использование отработанных пивных дрожжей в качестве основы для выращивания бактериальных инокулятов. Кроме того, для дополнительного армирования почвы, было показано внесение льняной костры, опилок и макулатуры почву для увеличения показателей прочности. В заключении можно сделать вывод, что использование органических отходов для уплотнения почвы методом биоминерализации имеет большой потенциал для дальнейшей работы.

Ключевые слова: биоминерализация, органические отходы, карбонат кальция, бактериальные штаммы, утилизация, уплотнение почвы.

В последние десятилетия заметно усилилась тенденция к использованию экологически чистых материалов и технологий в области инженерно-геологического строительства. Биоцементация является инновационной «зеленой» технологией. На фоне традиционных методов, использующих химические реагенты для стабилизации почвы, биологическое уплотнение является более экологичной и простой технологией [1]. В данном случае укрепление происходит за счет индукции осаждения карбоната кальция уреолитическими бактериями в порах почвы [2]. Для реализации биоцементации на практике и удовлетворения требований гражданского строительства необходимо решить некоторые проблемы. Известно, что в почвах во время биоцементации может происходить неравномерное осаждение карбоната кальция. Для решения этой проблемы в течение долго времени использовали синтетическое армирование, но из-за сложностей внесения в почву и опасного воздействия на окружающую среду, такой подход не кажется привлекательным. Армирование натуральным волокном имеет потенциал благодаря своей экологичности, богатству ресурсов и экономической эффективности по сравнению с другими материалами [3].

В связи с ростом уровня благосостояния в промышленно развитых странах увеличивается объем отходов производства. В рамках разработки экологически безопасных стратегий валоризации представляется целесообразным использование побочных продуктов или отходов производства для укрепления почв путем биоминерализации. Для уплотнения больших объемов почв необходимо получить значительное количество бактериальной биомассы, сохраняющей ее биоминерализующие свойства. Затраты на питательную

среду, используемую для культивирования микроорганизмов, составляет большую часть технологии. Для удешевления процесса можно заменить дорогостоящие компоненты на недорогие источники питательных веществ из отходов пищевой промышленности – отработанные пивные дрожжи. Другие органические отходы могут быть использованы непосредственно при биоцементации в качестве нативных волокон для укрепления почвы.

В нашей предыдущей работе при скрининге уреолитических бактерий было выявлено несколько штаммов, способных к биоминерализации и заполнению микротрещин на поверхности бетонных образцов [4]. В последующей работе [5] были проведены испытания технологии уплотнения почвы выбранными штаммами в лабораторных и полевых условиях. Целью данной работы было изучение влияния замены некоторых компонентов универсальной питательной среды (среда LB) отходами пивоварения на рост и уреолитическую активность биоминерализующих бактерий. А также проанализировать влияние добавления измельченной макулатуры, льняной костры и опилок на прочностные характеристики почвы.

Для изучения влияния замены компонентов питательной среды на органические отходы был использован спектрофотометрический метод, для определения уреазной активности штаммов при росте на универсальной и разработанной питательной среде был использован кондуктометрический метод (кондуктометр DFRobot DFR0300-H Gravity: Analog). Испытание на неограниченную прочность образцов почвы с внесенными добавками и без них проводили с использованием прибора для испытаний на сжатие КП-9. Для оценки количества образовавшегося карбоната кальция использовали метод разложения почв кислотами в карбонометре КМ-НТ с манометром МТИ 2,5/0,5.

Для удешевления технологии биоцементации стандартные компоненты универсальной питательной среды для культивирования микроорганизмов (пептон и дрожжевой экстракт) заменили на экстракт из отработанных пивных дрожжей (среда ПД). Состав среды (г/л): экстракт из отработанных пивных дрожжей – 5; глюкоза – 10; NaCl – 10 г. После 24 часов роста показатели биомассы *B. subtilis* K51, *B. cereus* 4b и *M. luteus* 6 увеличились в 1,4, 1,5 и 1,8 раза соответственно, а для *B. subtilis* 168 значения были сопоставимы с таковыми на контрольной среде LB. Анализ уреазной активности штаммов при культивировании на разработанной среде выявил резкое увеличение параметров у *B. subtilis* K51 и *B. subtilis* 168 по сравнению с контрольной, в то время как у штаммов *B. cereus* 4b и *M. luteus* 6 показатели активности были сопоставимы на обеих средах (рис. 1).

На втором этапе работы для дополнительного армирования почвы были добавлены целлюлозосодержащие отходы разных производств (измельченная макулатура, опилки и льняная костра). Добавление макулатуры в почву, обработанную с помощью бактерий, увеличило показатели прочности в 2 раза по сравнению с образцом без добавок (рис. 2). В качестве контроля использовались образцы почвы, обработанные водой и цементирующим раствором (растворы мочевины и хлорида кальция).

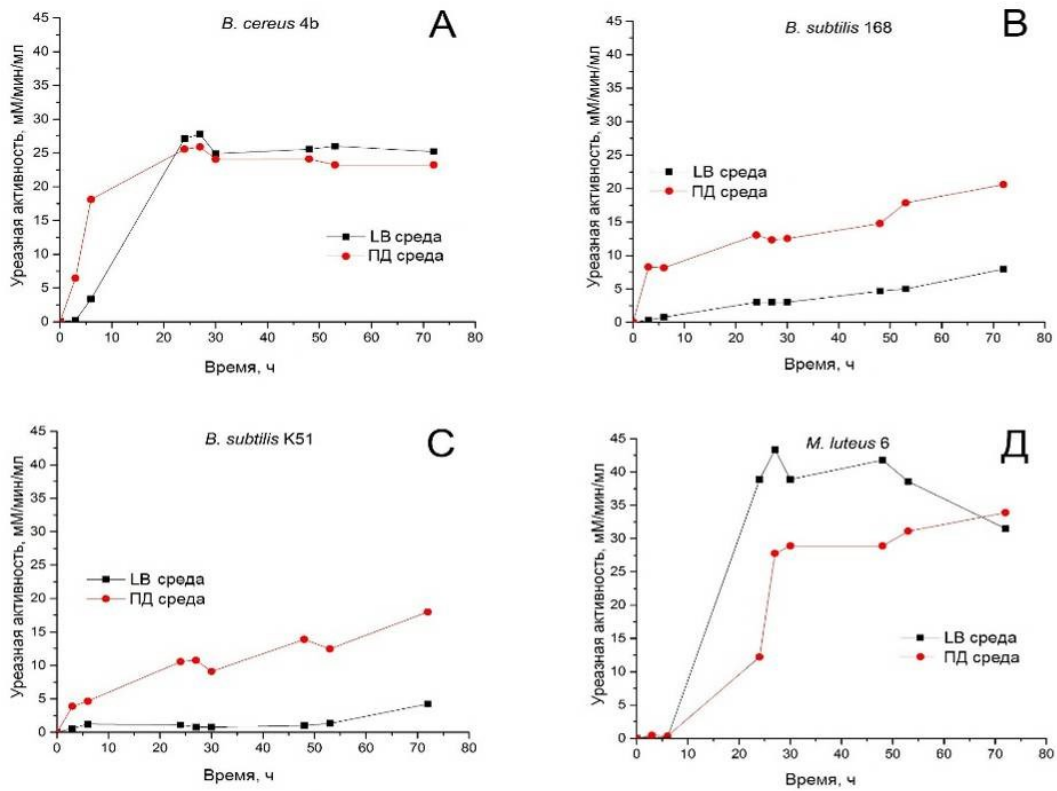


Рис. 1. Анализ специфической уреазной активности биоминерализующих штаммов на среде ПД и LB

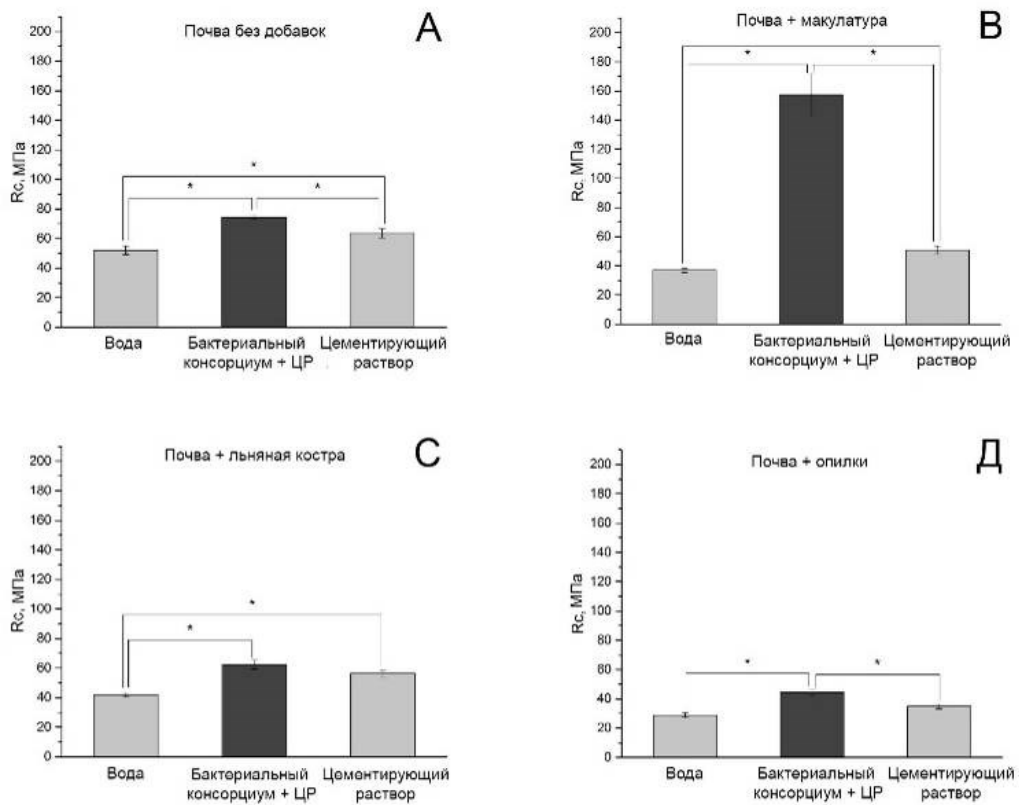


Рис. 2. Показатели прочности образцов почвы, обработанных бактериальной суспензией с различными добавками

Образцы почвы после разрушения были проанализированы на содержание осажденного карбоната кальция (рис. 3). Наибольший процент выпавшего в осадок CaCO_3 обнаружен в образце с измельченной макулатурой, который почти в 1,5 раза превышает показатель почвы без добавок.

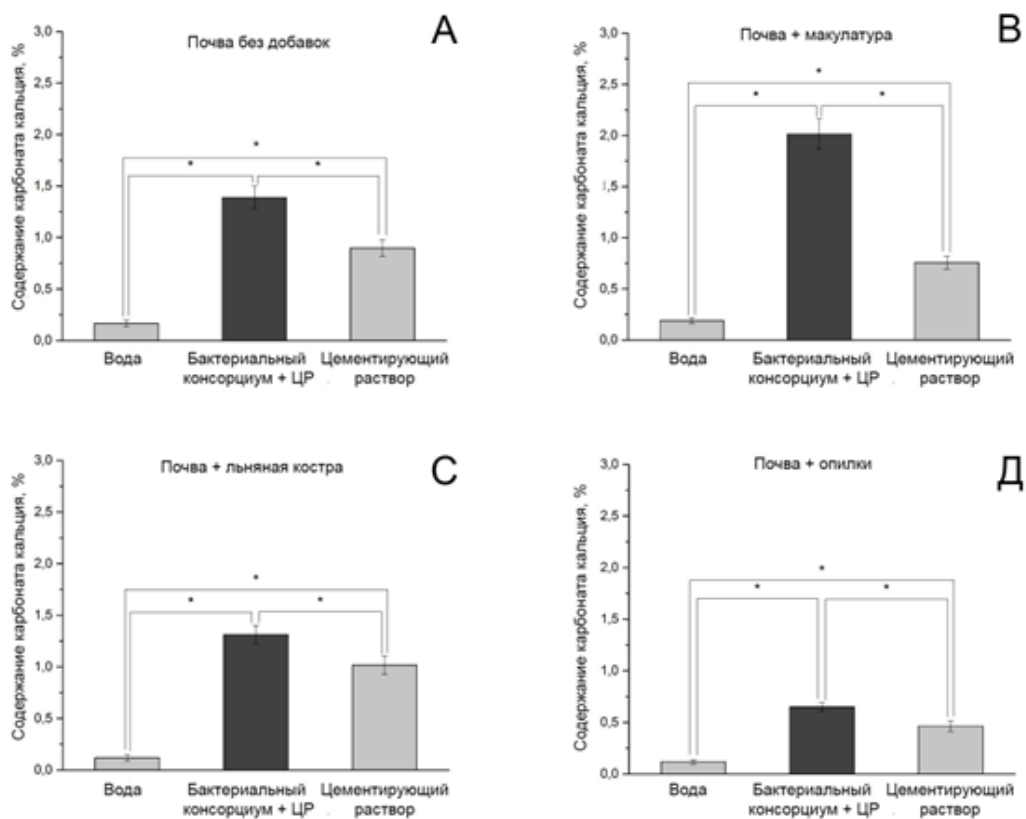


Рис. 3. Содержание карбоната кальция в образцах почвы, обработанных бактериальной суспензией с различными добавками

Таким образом, была продемонстрирована возможность использования органических отходов в технологии биоцементации почвы. Было изучено влияние замены компонентов стандартной питательной среды на отходы пивного производства. Штаммы, выросшие на разработанной питательной среде, показали увеличение параметров биомассы и уреазной активности по сравнению с контрольной средой. Кроме того, в работе было продемонстрировано использование органических отходов (измельченной макулатуры, льняной костры и опилок) в качестве армирующих добавок для дополнительного укрепления при биоцементации почвы. При внесении макулатуры прочность на сжатие образцов почвы увеличилась в 2 раза, а содержание карбоната кальция увеличилось почти в 1,5 раза по сравнению с образцами без добавок. Внесение в почву льняной костры и опилок снижало прочностные характеристики образцов. Результаты работы были опубликованы в журнале *Applied Science* в 2023 году [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке «Курчатовского геномного центра – ПИЯФ» программой развития центров генетических исследований мирового уровня, Соглашение No. 075-15-2019-1663.

Библиографический список

1. Bio-mediated method for improving surface erosion resistance of clayey soils / B. Liu, Y. H. Xie, C. S. Tang et al. DOI: 10.1016/j.enggeo.2021.106295 // *Engineering Geology*. 2021. Vol. 293. No. 19. Article No. 106295.
2. Seifan M., Sarabadani Z., Berenjian A. Microbially induced calcium carbonate precipitation to design a new type of bio self-healing dental composite. DOI: 10.1007/s00253-019-10345-9 // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2020. Vol. 104. No. 7. P. 2029–2037.
3. Gowthaman S., Nakashima K., Kawasaki S. A State-of-the-art review on soil reinforcement technology using natural plant fiber materials: past findings, present trends and future directions. DOI: 10.3390/ma11040553 // *Materials*. 2018. Vol. 11. No. 4. Article No. 553.
4. Calcifying bacteria flexibility in induction of CaCO₃ mineralization / D. A. Golovkina, E. V. Zhurishkina, L. A. Ivanova et al. DOI: 10.3390/life10120317 // *Life*. 2020. Vol. 10. No. 12. Article No. 317.
5. Field trials of soil improvement technology with a bacterial mixture / D. A. Golovkina, E. V. Zhurishkina, J. Xu, A. A. Kulminskaya. DOI: 10.1007/978-3-031-40470-2_25 // *Biogenic–Abiogenic Interactions in Natural and Anthropogenic Systems 2022*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, 2023. P. 425–439.
6. Integration of organic waste for soil stabilization through MICP / D. A. Golovkina, E. V. Zhurishkina, A. D. Filippova et al. DOI:10.3390/app14010062 // *Applied Science*. 2024. Vol. 14. No. 1. Article No. 62.

БИОСОРБЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЛИСТЬЕВ *AVENA SATIVA*

*А. С. Романова*¹, *В. В. Окулова*¹, *Е. В. Товстик*^{1,2}, *А. И. Фокина*¹
¹ *Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,*
² *Федеральный аграрный научный центр
Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия,
tovstik2006@inbox.ru*

В статье представлены результаты исследования адсорбционной способности (АС) измельченных листьев овса (*Avena sativa* L.) в отношении метиленового синего. Расчет величины АС проведен по результатам измерения оптической плотности раствора метиленового синего до и после контакта раствора красителя с измельченными листьями овса. Пригодность методики для определения АС листьев подтверждена по двум характеристикам: линейность и повторяемость. В ходе исследования установлено, что измельченные листья овса сорбируют метиленовый синий и могут быть рекомендованы для дальнейшего исследования в качестве сорбента.

Ключевые слова: адсорбционная способность, метиленовый синий, листья, овес.

Процессы сорбции широко используются в различных областях химической и медицинской промышленности. Наиболее распространены сорбционные процессы в методах защиты окружающей среды от загрязнения. Разви-

тию сорбционной технологии также способствует создание новых типов сорбентов [1, 2].

Одним из потенциальных загрязнителей окружающей среды выступает катионный краситель – метиленовый синий. Он используется в химическом анализе для определения АС энтеросорбентов [3], в текстильной и прочих отраслях промышленности для крашения. Благодаря уникальной молекулярной структуре метиленовый синий используется в качестве лекарственного средства в медицине. Его активно применяют для лечения различных метгемоглобинемий [4].

Попадание метиленового синего в поверхностные воды нежелательно ввиду его токсичности [5]. В связи с этим разрабатываются различные способы очистки сточных вод от данного красителя, в том числе посредством сорбции [3]. В качестве сорбентов все чаще рассматриваются отходы растениеводства, что связано с наличием в их составе пектиновых веществ и целлюлозы, содержащих различные функциональные группы [6].

Цель работы – оценка сорбционной способности измельченных листьев овса (*Avena sativa* L.).

Листья овса отбирали в фазу молочной спелости растения, промывали под проточной водой для удаления пыли, сушили при комнатной температуре (20 ± 2 °С) без доступа света. С целью увеличения сорбционной способности, листья измельчали в лабораторной мельнице, пропускали через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Исследование АС проводили с помощью спектрофотометрического метода. Метод анализа основан на определении содержания красителя в растворах по поглощению монохроматического излучения света в видимой области спектра. При смешивании с водой кристаллический метиленовый синий растворяется и окрашивает раствор в темно-синий цвет. Характерный синий цвет связан с тем, что он поглощает спектр видимого света с длинами волн в диапазоне 600–700 нм. В результате контакта метиленового синего с сорбентами интенсивность окраски раствора снижается за счет уменьшения концентрации красителя в растворе. По величине снижения оптической плотности раствора можно установить АС сорбента.

Изучение АС листьев по отношению к метиленовому синему включало приготовление серии растворов данного красителя с концентрациями: 0,15; 0,30; 0,75; 1,00; 1,50 г/дм³. К 50 см³ каждого из серии растворов прибавляли по 0,17 г (точная навеска) измельченных листьев. Встряхивали растворы на шейкере при 130 об/мин. По истечению 1 часа 2 см³ суспензии помещали в микроцентрифужные пробирки и центрифугировали (7000 об/мин) в течение 20 мин. Отбирали 1 см³ надосадочной жидкости, помещали в мерную колбу на 500 см³, доводили объем раствора дистиллированной водой до метки, перемешивали.

Оптическую плотность стандартного и испытуемых растворов метиленового синего измеряли при длине волны 664 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм. Адсорбционную способность (X , мг/г) рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{(A_0 - A) \times C \times 50}{A_0 \times m},$$

где A_0 , A – оптическая плотность стандартного и испытуемого растворов метиленового синего соответственно; C – концентрация раствора метиленового синего (мг/дм³); m – масса навески листьев (г).

Для установления зависимости между оптическими плотностями растворов после контакта с измельченными листьями и величинами исходных концентраций красителя в растворах строили график и находили коэффициент корреляции (рис.).

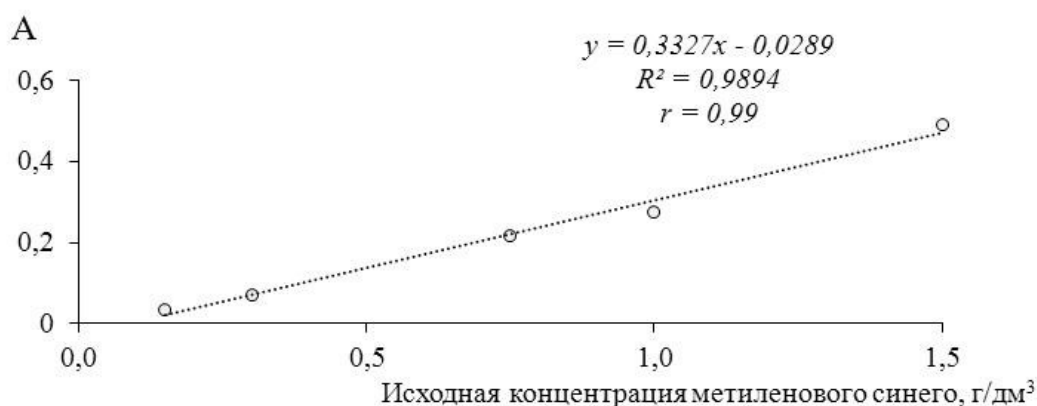


Рис. Зависимость оптической плотности раствора после контакта с измельченными листьями от исходной концентрации метиленового синего

Критерием приемлемости линейности считали коэффициент корреляции (r), величина которого должна быть близка к единице ($r \geq 0,99$). Результаты определения AC характеризовались уравнением линейной зависимости, величина коэффициента корреляции при этом составила 0,99, что отвечало условию $r \geq 0,99$ [7].

Величины, характеризующие повторяемость результатов, представлены в таблице.

Таблица

Метрологическая характеристика повторяемости результатов
($n = 3, P = 0,95$)

| n | x_i | $ x_i - \bar{x} $ | $ x_i - \bar{x} ^2$ | Метрологические характеристики $S_x = 1,9$ $S_{x\text{cp}} = 1,1$ $\Delta = 5,0$ $\varepsilon = 9,0\%$ $RSD = 3,8\%$ |
|---|-------|-------------------|---------------------|---|
| 1 | 52,76 | 2,21 | 4,88 | |
| 2 | 49,29 | 1,26 | 1,59 | |
| 3 | 49,61 | 0,94 | 0,88 | |
| Среднее значение: $\bar{x} = 51$ | | | | |
| Сумма значений $\sum (x_i - \bar{x} ^2) = 4,8$ | | | | |

Согласно проведенным расчетам величина RSD не превышала 10% и составила 3,8%. Таким образом, методика определения АС измельченных листьев овса была отвалидирована по характеристикам линейность и повторяемость.

Адсорбционная способность измельченных листьев овса составила 51 ± 5 мг/г. Полученные данные согласовались с результатами исследования АС яблочного пектина (39 ± 5 мг/г), однако были ниже, чем у измельченных листьев плодовых деревьев и ягодных кустарников (64–132 мг/г) [8].

Таким образом, по результатам проведенных исследований доказан биосорбционный потенциал измельченных листьев *Avena sativa*.

Библиографический список

1. Горлова В. А. Адсорбция метиленового синего на поверхности углерод- и кремнийсодержащих сорбентов из плодовых оболочек риса // Экологобезопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы : материалы IV Всерос. молодежной науч. конф. с междунар. участием : в 2 ч. Ч. 2. (г. Улан-Удэ, 23–26 сентября 2020 г.). Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2020. С. 27–28.

2. Товстик Е. В., Захаров А. В. Адсорбционная способность порошка листьев плодовых деревьев и ягодных кустарников по данным спектрофотометрии. DOI: 10.14258/jcrpm.20230311992 // Химия растительного сырья. 2023. № 3. С. 283–292.

3. Адсорбция метиленового голубого энтеросорбентами различной природы / А. В. Лишай, Т. А. Савицкая, Н. Г. Цыганкова и др. // Журнал Белорусского государственного университета. Химия. 2021. № 1. С. 58–74.

4. Самойлова Н. А., Гуреев А. П., Попов В. Н. Роль тиазиновых красителей в регуляции митохондриальных функций и их применение в медицине // The Scientific Heritage. 2021. № 80–3. С. 16–19.

5. Acute toxicity of textile dye Methylene blue on growth and metabolism of selected freshwater microalgae / A. Krishna Moorthy, B. Govindarajan Rathi, S. P. Shukla et al. DOI: 10.1016/j.etap.2020.1035522 // Environ. Toxicol. Pharmacol. 2021. Vol. 82. Article No. 103552.

6. The utilization of leaf-based adsorbents for dyes removal: A review / L. Bulgariu, L. B. Escudero, O. S. Bello et al. DOI: 10.1016/j.molliq.2018.12.001 // J. Mol. Liq. 2019. Vol. 276. P. 728–747.

7. Фокина А. И., Товстик Е. В., Адамович Т. А. Обработка и представление результатов химического анализа. Киров : ВятГУ, 2023. 41 с.

8. Адсорбционная способность листьев плодовых растений / И. Р. Гребенев, М. В. Исупова, А. А. Елец и др. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием: в 2 кн. Кн. 2. (г. Киров, 26–27 апреля 2022 года). Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 257–260.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭНДОГЛЮКАНАЗНУЮ АКТИВНОСТЬ ШТАММА *IRPEX LACTEUS* 2434 ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ НА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДАХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

О. В. Чемерис

Донецкий государственный университет,
г. Донецк, Россия, chemeris07@rambler.ru

В статье представлены результаты оценки влияния физико-химических параметров (рН питательной среды и температура культивирования) на активность эндоглюканазы штамма 2434 базидиального гриба *Irpex lacteus* при культивировании на лигноцеллюлозных отходах сельского хозяйства – соломе озимой пшеницы и листьях початков кукурузы (талаше). Установлено, что максимум ферментативной активности штамма *I. lacteus* 2434 наблюдался при культивировании на кукурузном талаше на 5-е сутки при 30 °С и рН 4,5, а при культивировании на пшеничной соломе – на 10-е сутки при 34 °С и рН 4,0.

Ключевые слова: гриб *Irpex lacteus*, целлюлазы, эндоглюканаза, лигноцеллюлозные отходы.

Мицелиальные грибы обладают эффективной гидролитической системой, способной превращать лигноцеллюлозный материал в необходимые для роста метаболиты. Обычно эти грибы выделяют внеклеточные ферменты, включая целлюлазы (целлобиогидролазы, эндоглюканазы), гемицеллюлазы (ксиланазы) и β-гликозидазы [1–3]. Пристальное внимание ученых сосредоточено на поиске новых штаммов-суперпродуцентов целлюлаз, способных к синтезу высокоактивных ферментов [2], на выявление закономерностей биоконверсии целлюлозы [4] и на изучение ферментов, способных максимально эффективно разрушать целлюлозу до растворимых моносахаров [5, 6]. Эффективными продуцентами целлюлаз являются грибы, относящиеся к различным видам: *Aspergillus*, *Fusarium* и *Alternaria* [1], *Penicillium verruculosum* [7], *Trichoderma viride* и *Lentinus tigrinus* [8], *Ganoderma applanatum*, *Irpex lacteus* и др. [3].

Одной из проблем биотехнологии является синтез низкого количества целлюлаз. Увеличение количества синтезируемого продуцентом фермента возможно за счет использования дешевого сырья в качестве субстратов при производстве энзимов, в том числе и отходов агропромышленного комплекса, оптимизации условий культивирования [8], а также использование методов для селекции микроорганизмов [5].

Целью настоящей работы была оценка влияния физико-химических факторов (рН питательной среды и температура культивирования) на биосин-

тез внеклеточных эндоглюканаз штаммом *I. lacteus* 2434 при культивировании на лигноцеллюлозных отходах сельского хозяйства.

Штамм *I. lacteus* 2434 культивировали в течение 15-ти суток при температурах от 28 до 34 °С с интервалом 2 в колбах Эрленмейера объемом 100 мл с 50 мл среды Чапека [9]. В качестве единственного источника углерода использовали измельченные до конечного размера частиц 0,5–0,7 см растительные субстраты – солому озимой пшеницы и листья початков кукурузы (талаш) в количестве 2 %. Кислотность питательной среды доводили до значений от 4 до 6 с шагом 0,5 рН с помощью 10%-ного раствора HCl.

Активность эндоглюканазы в составе целлюлазного комплекса определяли в культуральной жидкости (КЖ) штамма *I. lacteus* 2434 относительно Na-карбоксиметилцеллюлозы. Состав реакционных смесей для определения целлюлозолитической активности и условия проведения реакций соответствовали общепринятым методикам [10–12]. За единицу эндоглюканазной активности (Ед) принимали такое количество фермента, которое образовывало 1 μmol редуцирующих сахаров в течение 1 мин в условиях опыта ($t = +37$ °С). Удельную активность (Ед/мг) определяли отношением общей активности КЖ (Ед/мл) к содержанию белка (мг/мл) в культуральной жидкости (КЖ). Редуцирующие сахара определяли методом Шомодьи-Нельсона (калибровочный график строили по глюкозе) [9, 10, 13]. Содержание белка в КЖ определяли по методу Бредфорда [14].

Эндоглюканазная активность штамма *I. lacteus* 2434 в зависимости от условий культивирования на пшеничной соломе представлена на рисунке 1.

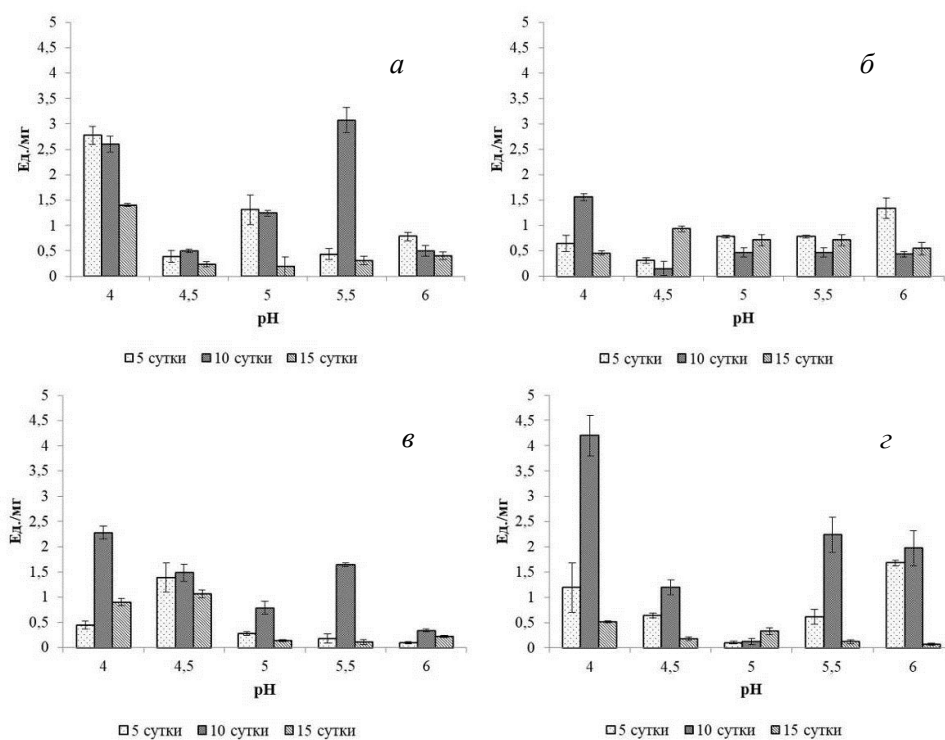


Рис. 1. Эндоглюканазная активность штамма *I. lacteus* 2434 в зависимости от физико-химических параметров культивирования на пшеничной соломе: а – 28 °С, б – 30 °С, в – 32 °С, г – 34 °С

Установлено, что наименьшие значения активности эндоглюканызы наблюдались при культивировании штамма *I. lacteus* 2434 при температуре 30 °С независимо от начального уровня рН питательной среды (рис. 1, б). При культивировании данного штамма при 28 °С, а также при 32 и 34 °С и различных уровнях начального рН питательной среды с пшеничной соломой максимальные значения целлюлозолитической активности относительно Na-КМЦ отмечены на 10-е сутки при рН 4,0, а также при уровне рН 5,5 (рис. 1). Эндоглюканазная активность КЖ продуцента к 15-м суткам культивирования значительно снижалась.

Отмечено, что при культивировании штамма *I. lacteus* 2434 при разных сочетаниях физических и химических факторов на питательных средах с кукурузным талашем эндоглюканазная активность была выше, чем при использовании пшеничной соломы в качестве лигноцеллюлозного субстрата (рис. 2). При этом максимальные пики активности эндоглюканызы наблюдались на 5 сутки при культивировании на питательной среде с рН 4,5 при температуре 30 °С и 34 °С (рис. 2, б и в). Для других вариантов исследования активность эндоглюканызы КЖ была значительно ниже

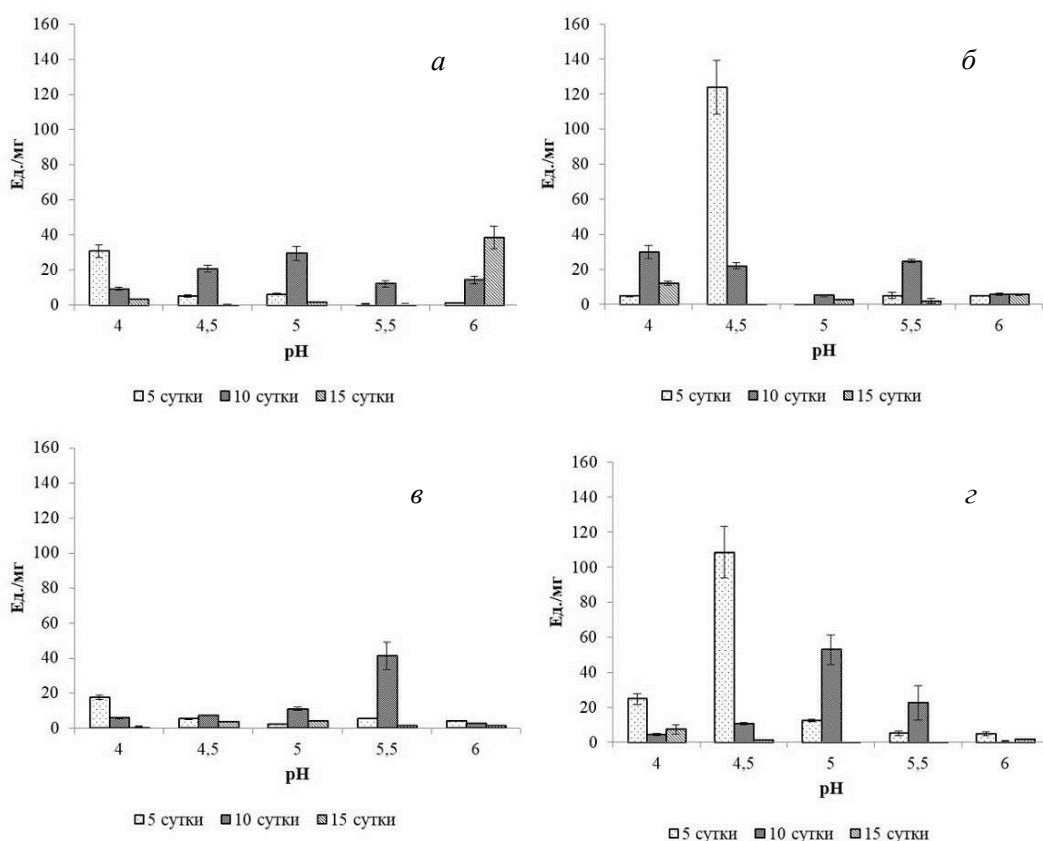


Рис. 2. Эндоглюканазная активность штамма *I. lacteus* 2434 в зависимости от физико-химических параметров культивирования на кукурузном талаше: а – 28 °С, б – 30 °С, в – 32 °С, г – 34 °С

Нужно отметить, что к 15-м сутками эндоглюканазная активность КЖ штамма *I. lacteus* 2434 значительно снижалась по всем вариантам исследования, кроме варианта культивирования при 28 °С и рН 6,0.

Очевидно, что штамм *I. lacteus* 2434 при культивировании на растительных субстратах способен к синтезу нескольких изоформ эндоглюканаз, которые характеризуются различными оптимумами температуры и pH. Аналогичным образом отмечено расхождение оптимальных зон действия температуры и pH питательной среды при культивировании штаммов *I. lacteus* на фильтровальной бумаге [15].

Таким образом, установлены оптимальные значения температуры и pH питательной среды для синтеза внеклеточной эндоглюканазы штаммом *I. lacteus* 2434 при культивировании на лигноцеллюлозных отходах в качестве источника углерода. Максимум ферментативной активности штамма *I. lacteus* 2434 наблюдался при культивировании на кукурузном талаше на 5-е сутки при 30 °С и pH 4,5, а при культивировании на пшеничной соломе – на 10-е сутки при 34 °С и pH 4,0.

Исследование проводилось по теме Государственного задания (№ госрегистрации 124012400346-5).

Библиографический список

1. Мицелиальные грибы рода *Aspergillus*, *Fusarium* и *Alternaria* – продуценты целлюлолитических ферментов / Л. А. Иванова, Л. А. Чурмасова, И. А. Фоменко, Т. П. Кузьмичева // Наукосфера. 2020. № 5. С. 37–42.
2. Оценка биотехнологического потенциала микроскопических грибов рода *Aspergillus* –продуцентов гидролитических ферментов / Е. Н. Соколова, Е. И. Курбатова, Ю. А. Борщева, Л. В. Римарева // Успехи медицинской микологии. 2019. Т. 20. С. 526–534.
3. Review of recent advances in the physiology of the regulation of cellulase and xylanase production by Basidiomycetes / V. Elisashvili, E. Metreveli, T. Khardziani et al. DOI:10.3390/en16114382 // Energies. 2023. Vol. 16. 4382.
4. Ферментативная деструкция целлюлозы: особенности кинетического взаимодействия литических полисахаридмонооксигеназ и индивидуальных целлюлаз / М. В. Семенова, А. В. Гусаков, В. Д. Телицин, А. П. Сеницын. DOI 10.31857/S0555109921050147 // Прикладная биохимия и микробиология. 2021. Т. 57. № 5. С. 477–484.
5. Эндоглюканаза IV *Trichoderma reesei* – новый компонент биокатализаторов на основе целлюлазного комплекса гриба *Penicillium verruculosum* для гидролиза целлюлозосодержащей биомассы / О. В. Проскура, О. Г. Короткова, А. М. Рожкова и др. // Катализ в промышленности. 2013. № 6. С. 73–80.
6. Шубаков А. А., Михайлова Е. А., Мартынов В. В. Биоконверсия целлюлозосодержащего сырья. Ферментативный гидролиз целлюлозы (обзор литературы). DOI: 10.19110/1994-5655-2022-4-27-38 // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2022. № 4(56). С. 27–38.
7. Ферментативный гидролиз целлюлозы смесями мутантных форм целлюлаз *Penicillium verruculosum* / А. С. Доценко, А. В. Гусаков, А. М. Рожкова и др. // Вестник Московского университета. Сер. Химия. 2018. Т. 59. № 2. С. 138–143.
8. Левина Е. А., Атыкян Н. А, Ревин В. В. Влияние источников углеродного и азотного питания на биосинтез целлюлаз грибами *Lentinus tigrinus* ВКМ F-3616 D и *Trichoderma viride* ВКМ F-1131 // Вестник ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2016. № 1. С. 85–93.
9. Методы экспериментальной микологии: справочник / И. А. Дудка, С. П. Вассер, И. А. Элланская и др.; отв. ред. В. И. Билай. К. : Наук. думка, 1982. 552 с.
10. Сеницын А. П., Гусаков А. В., Черноглазов В. М. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов. М. : Изд-во МГУ, 1995. 224 с.

11. 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.

12. Measurement of cellulase activity / Ed. T. K. Ghose. DOI: 10.1351/pac198759020257 // Pure Appl. Chem. 1987. Vol. 59. No. 2. P. 257–268.

13. Nelson N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of sugars. DOI: 10.1016/S0021-9258(18)71980-7 // J. Biol. Chem. 1944. Vol. 153. No. 2. P. 375–380.

14. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. DOI: 10.1006/abio.1976.9999 // Anal. Biochem. 1976. Vol. 72. P. 248–254.

15. Древаль К. Г. Культивування базидіоміцетів – активних продуцентів целлюлозолитичних ензимів. II. Ендоглюканазна активність культуральних фільтратів базидіоміцетів стосовно Na-карбоксиметилцелюлози // Біотехнологія. 2012. Т. 5. № 2. С. 86–91.

ИЗУЧЕНИЕ РОСТА И РАЗВИТИЯ ЧЕРВЕЙ ВИДА *DENDROBAENA VENETA*

*А. С. Мягкова*¹, *Г. В. Песцов*¹, *О. В. Прокудина*¹, *А. В. Третьякова*¹,
*Н. С. Коваленко*¹, *В. С. Воронцов*², *К. А. Смирнов*³

¹ Тульский государственный педагогический университет
имени Л. Н. Толстого, г. Тула, Россия, *info@tsput.ru*,

² Музей-усадьба Л. Н. Толстого «Ясная поляна»,
г. Тула, Россия, *uaspol@urpmis.ru*,

³ ООО «Биокрафт», г. Тула, Россия, *Flak@ya.ru*

В статье представлены данные по изучению влияния кормового субстрата на рост, развитие и размножение червей вида *Dendrobaena veneta*. Для проведения исследования были подобраны кормовые субстраты разного состава, состоящие из отходов животноводства (ферментированный конский навоз), сельскохозяйственных и пищевых отходов, листового опада. Определен тип кормового субстрата, на котором рост, развитие и увеличение численности популяции червей были наиболее высокими.

Ключевые слова: утилизация, органические отходы, сельскохозяйственные отходы, *Dendrobaena veneta*, кормовой субстрат, биогумус.

Утилизация различных органических и сельскохозяйственных отходов в настоящее время является актуальной проблемой, их количество постоянно увеличивается, а места для захоронения ограничены, все это не способствует снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду. Большинство органических отходов возможно использовать как питательный субстрат для различных групп макро- и микроорганизмов, а также для получения компоста и удобрений. Одним из наиболее популярных методов является утилизация с помощью навозных червей. Данный метод позволяет применять разные виды червей, которые способны поедать и перерабатывать

растительные остатки, экскременты животных и другую органику, а в результате получать полезные продукты [1].

Вермикультивирование является элементом биотехнологии, который основан на выращивании червей с целью утилизации органических отходов, а также для получения их биомассы и органического удобрения биогумуса [2]. Одними из наиболее популярных объектов вермикультивирования являются навозные черви видов *Dendrobaena veneta*, *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* [3, 4].

Dendrobaena veneta (Rosa, 1886) – один из наиболее широко используемых видов компостных червей с длиной тела 50–70 мм и полосатой красной пигментацией на сегментах. Этот вид в настоящее время широко распространен по всей Европе. *D. veneta* была и остается предметом различных исследований: клеточно-биологических, иммунологических, почвенных, экологических. Используемые научные методы позволяют изучать разные аспекты жизнедеятельности этих червей, включая анатомию, морфологию, физиологию, биоэкологию, сезонную изменчивость и др. [2, 5, 6].

Научно-исследовательская работа была проведена в микробиологической лаборатории Центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии» Тульского государственного педагогического университета имени Л. Н. Толстого и теплице Музея-усадьбы Л. Н. Толстого «Ясная поляна», популяция червей была предоставлена ООО «Биокрафт».

Было проведено исследование изучения динамики наработки биомассы червями *D. veneta*, которое наблюдали в течение 21 суток, а также увеличения их количества в течение 35 суток. Для опыта были подобраны субстраты на основе отходов животноводства (ферментированный конский навоз – эталон), пищевых отходов (некондиционные фрукты и овощи – 50% с добавлением 50% ферментированного конского навоза), отходов сельского хозяйства (ферментированные солома, ботва овощных культур – 50% и ферментированный конский навоз – 50%), а также смеси листового опада (50%) и ферментированного конского навоза (50%). Отбирали половозрелых червей в количестве 100 шт., которых помещали в контейнеры объемом 5 л. Масса субстрата в каждом контейнере составляла 2 кг. Выращивали червей при постоянной температуре 22 °С, влажности субстрата 75–80%. Повторность опыта восьмикратная.

В результате исследования было установлено, что для наработки биомассы червями *D. veneta* подходят все виды субстратов, но лучший результат был показан на компосте из ферментированного конского навоза с добавлением некондиционных овощей и фруктов, на котором биомасса червей на 14 сутки была выше на 6%, а на 21 сутки на 4%, чем в эталонном варианте (табл.). В субстрате на основе листового опада и сельскохозяйственных отходов с добавлением ферментированного конского навоза черви развивались несколько хуже, количество полученной биомассы по сравнению с эталоном на 2 сутки было 87% и 91% соответственно. Добавление ферментированного конского навоза в количестве 50% в каждый из субстратов необходимо, так как в предварительных опытах было установлено, что на субстратах, состоя-

ших только из листового опада и только из сельскохозяйственных отходов, черви плохо развивались и их биомасса была значительно меньше. Обращает на себя внимание тот факт, что биомасса червей на 14 сутки была выше, чем на 21 сутки. Это указывает на основательную переработку корма в течение двух недель и необходимость последующих своевременных подкормок.

Также было проведено исследование по учету численности популяции червей *D. veneta* на изучаемых органических субстратах.

Было установлено, что наибольшую численность червей наблюдали на субстрате из пищевых отходов. В учете, проведенном на 35 сутки, среднее количество особей разного возраста в контейнере выросло до 350 штук. Наименьшая численность червей была на субстрате на основе листового опада, она составила 200 шт., на сельскохозяйственных отходах и отходах животноводства популяция достигла 250 шт., и 290 шт. соответственно.

Таблица

Изучение влияния кормового субстрата на рост и развитие червей вида *Dendrobaena veneta*

| № | Субстрат | Биомасса червей (г) | | | % к эталону | |
|---|--------------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------------|----------|
| | | 7 сутки | 14 сутки | 21 сутки | 14 сутки | 21 сутки |
| 1 | Отходы животноводства (эталон) | 27,8±1,54 | 62,1±5,51 | 45,5±2,39 | 100 | 100 |
| 2 | Листовой опад | 22,7±1,65 | 50,2±2,62 | 39,4±2,36 | 81 | 87 |
| 3 | Сельскохозяйственные отходы | 25,8±1,12 | 55,4±4,26 | 41,5±3,89 | 89 | 91 |
| 4 | Пищевые отходы | 31,1±1,91 | 66,0±5,33 | 47,1±2,64 | 106 | 104 |

Таким образом, переработка органических отходов с помощью червей *D. veneta* является эффективной и перспективной. Данный способ не требует высоких ресурсных затрат в его реализации. Изучение роста и развития червей *Dendrobaena veneta* имеет большое значение в их практическом применении в сельском хозяйстве, так как биогумус, получаемый в результате утилизации отходов, является хорошим органическим удобрением. Дальнейшие исследования позволят изучить более широкий спектр субстратов различного состава, усовершенствовать методы их подготовки, оптимизировать количество подкормок и массу корма, добавляемого в единицу времени.

Библиографический список

1. Романова Е. М., Мухитова М. Э., Титова Е. В. Сравнительный анализ эффективности утилизации отходов животноводства с использованием красного калифорнийского гибрида *E. andrei* // Известия ОГАУ. № 1 (17). Оренбург, 2008. С. 159–162.
2. Чачина С. Б., Жигулин С. С. Рекультивация почв, загрязненных отработанным автомобильным маслом, с использованием дождевых червей *Dendrobaena veneta* и микробиологических препаратов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10-1. С. 79–83.
3. Kekillioglu A., Erdoğan A. A. Research on the bio-ecology, morphology and seasonal variation of *Dendrobaena veneta* (Rosa, 1886). DOI: 10.24925/turjaf.v10isp1.2806-2810.5758 // Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology. 2022. Vol. 10. P. 2806–2810.

4. Козлова А. М., Добрынин Д. Е., Сомин В. А. Изучение вермикомпостирования с использованием червей *Dendrobaena veneta* // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств : материалы XXIII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Барнаул, 25–26 октября 2023 г.). Барнаул : Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова, 2023. С. 255–257.

5. Chemical composition of earthworm (*Dendrobaena veneta* Rosa) biomass is suitable as an alternative protein source / M. Garczyńska, J. Kostecka, G. Pączka et al. DOI: 10.3390/ijerph20043108 // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2023. Vol. 20. No. 4. Article No. 3108.

6. The earthworm *Dendrobaena veneta* (Annelida): A new experimental-organism for photobiomodulation and wound healing / A. Amaroli, S. Ferrando, M. Pozzolini et al. DOI: 10.4081/ejh.2018.2867// Eur. J. Histochem. 2018. Vol. 62. No. 1. Article No. 2867.

РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ АЗОВСКОГО МОРЯ

*И. С. Шемет, И. В. Кораблина, Т. О. Барабашин
ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»),
г. Ростов-на-Дону, Россия, krym@rostov.fish.gov.ru*

Исследование концентрации полихлорированных бифенилов в Азовском море за период с 1991 по 2023 годы показало постепенное снижение их содержания как в воде, так и в донных отложениях. Этот процесс обусловлен уменьшением промышленного производства в 1990-е годы и внедрением комплексных природоохранных мероприятий, включая очистку стоков и переход на замкнутые циклы промышленности. Такие изменения способствуют улучшению экологической ситуации в регионе и снижению воздействия токсикантов на морские экосистемы.

Ключевые слова: полихлорированные бифенилы, токсикант, донные отложения, концентрация.

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) являются весьма стойкими и стабильными веществами, которые способны накапливаться в гидробионтах. Наибольшее содержание этих токсикантов обнаружено в хищниках верхних уровней в пищевых цепях водных экосистем.

В настоящее время около 40% произведенных полихлорбифенилов попадают в окружающую среду, 98% из них оказывает воздействие на морские экосистемы. В последние десятилетия ПХБ стали одним из главных источников негативного воздействия на живые организмы. Их называют «экологическими бомбами замедленного действия», и во многих странах мира мониторинг этих загрязнителей является неотъемлемой частью программ охраны природы [1].

Донные отложения Азовского моря отбирали согласно [2] с 1991 по 2023 годы на всей акватории Азовского моря. Были отобраны пробы на

32 станциях, расположенных в следующих районах моря: Северном, Западном, Центральном, Южном, Восточном, а также Таганрогском заливе.

В годы экономической стагнации (1991–2000 гг.) частота обнаружения ПХБ в воде Азовского моря составила 11% от общего числа наблюдений, а в осадках – 18%. Показатели их содержания в воде колебались в пределах от 5,0 до 123,0 нг/л, а в осадках – от 1,0 до 15,3 мкг/кг сухой массы. В период регулярных наблюдений (с 2001 по 2006 гг.) данные загрязнители наблюдаются повсеместно [3]. Концентрации этих веществ имеют широкий диапазон: от 5,0 до 426 нг/л в воде, и от 1,0 до 73,0 мкг/кг сухой массы в осадках. Стоит отметить, что присутствие данных соединений в осадках более распространено (3,0–68%), чем в воде (17–48%).

В период с 2021 по 2023 гг. встречаемость ПХБ в воде Азовского моря снизилась до 3% от общего числа наблюдений. Снизились и абсолютные концентрации обнаруживаемых токсикантов: в воде – до 18,8 нг/л, в донных отложениях – до 12,1 мкг/кг (табл.).

Таблица

**Характеристика загрязнения ПХБ воды и донных отложений
Азовского моря в период 2021–2023 гг.**

| Годы | Вода | Донные отложения |
|------|-----------------------------|-------------------------------|
| | Диапазон концентраций, нг/л | Диапазон концентраций, мкг/кг |
| 2021 | 1,0–18,8 | 0,4–12,1 |
| 2022 | 1,0–10,4 | 0,4–1,1 |
| 2023 | 1,0–16,6 | 0,4–0,7 |

Таким образом, очевидно снижение концентраций ПХБ в воде и донных отложениях Азовского моря. Так, нижний порог ПХБ в воде составляет в настоящее время меньше 1,0 нг/л, что в среднем в 6 раз ниже, чем 15 лет назад. В донных отложениях минимальный порог имеет концентрацию меньше 0,4 мкг/кг, что, соответственно, в 3 раза ниже результатов прошлых лет.

Таким образом, была проведена масштабная работа по изучению содержания ПХБ в Азовском море. Выявлено постепенное снижение концентрации поллютантов. Только в воде концентрация ПХБ от максимального порога в 123 нг/л снизилась до 16,6 нг/л. Этому результату способствовали как падение уровня промышленного производства в 1990-е годы, так и комплексные природоохранные мероприятия, включая качественную очистку бытовых и промышленных стоков, переход промышленных предприятий на замкнутые циклы применения пресных вод и др.

Библиографический список

1. Новый подход к оценке загрязненности донных отложений Азовского моря / И. Г. Корпакова, А. А. Кленкин, Ю. А. Конев и др. // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2005. № 2. С. 45–53.

2. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность : действ. с

01.01.2082. М., 1980. [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/7884/?ysclid=lv0zdetj9e785373599> (дата обращения: 08.02.2024).

3. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение / А. А. Клёнкин, И. Г. Корпакова, Л. Ф. Павленко, З. А. Темердашев. Краснодар : Изд-во ФГУП АзНИИРХ, 2007. 324 с.

DYNAMICS OF CHANGE: ASSESSING INDIA'S LANDSCAPE IN 2024

Dr. Seema Sharma

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

seemasharma@cvrump.ac.in

India in 2024 witnesses significant developments across political, economic, socio-cultural, and scientific domains. This research paper aims to analyze the multifaceted transformations occurring in the country, focusing on political dynamics, economic resurgence, socio-cultural transformations, and India's leadership in science.

Keywords: India 2024, political reforms, economic resurgence, societal transformations, vaccine diplomacy.

India in 2024 witnesses significant developments across political, economic, socio-cultural, and scientific domains. This research paper aims to analyze the multifaceted transformations occurring in the country, focusing on political dynamics, economic resurgence, socio-cultural transformations, and India's leadership in science, particularly in the context of COVID-19 vaccine production and distribution. The paper will explore the implications of these developments for India's domestic landscape, international relations, and global contributions, with a specific focus on Prime Minister Narendra Modi's leadership and India's role in global health diplomacy.

This research employs a qualitative research methodology, utilizing a combination of literature review, analysis of government policies and initiatives, and synthesis of expert opinions and news articles from reputable sources such as The Indian Express. Data collection involves gathering information on political developments, economic indicators, socio-cultural trends, and scientific advancements in India in 2024. The analysis is conducted through thematic coding and interpretation of key findings to identify trends, challenges, and opportunities across various domains.

The research findings highlight significant developments in India across political, economic, socio-cultural, and scientific domains in the year 2024. These include:

– political shifts reflected in the mandate for change and progress following the general elections, with a focus on governance efficiency, economic revitalization, and global engagement;

– economic resurgence driven by domestic reforms, strategic investments, and progressive fiscal policies, fostering growth and job creation across key sectors;

– socio-cultural transformations driven by changing demographics, technological advancements, and heightened awareness around gender equality, environmental sustainability, and social justice.

India's leadership in science demonstrated through its contributions to COVID-19 vaccine production, distribution, and global health partnerships, showcasing its commitment to public health and global solidarity.

The year 2024 marks a pivotal period for India, characterized by significant developments across political, economic, and socio-cultural domains. Following general elections, a new government prioritized reforms aimed at addressing key challenges and fostering progress. Economic resurgence was driven by domestic reforms and global factors, with investments in critical sectors driving growth and job creation. Societal transformations reflected changing demographics and values, propelled by increased urbanization and digitalization. Despite progress, challenges like socio-economic disparities persist, necessitating sustained efforts. Noteworthy among socio-cultural shifts was the inclusion of women in combat roles, symbolizing broader strides towards gender equality. The Indian family adapted amidst evolving dynamics, balancing tradition and modernity. India's leadership in science, exemplified by COVID-19 vaccine efforts, showcased its global commitment to public health and solidarity. Prime Minister Narendra Modi's leadership continued to shape India's trajectory, emphasizing inclusive development and global leadership. India's role in vaccine production and research, global health partnerships, capacity building, and vaccine diplomacy are key facets of its global engagement. By leveraging its strengths and addressing challenges, India aims to navigate towards a prosperous future.

In conclusion, India in 2024 stands at a critical juncture marked by significant transformations and opportunities across various domains. Political shifts, economic resurgence, socio-cultural transformations, and India's leadership in science, particularly in the context of COVID-19 vaccine production, underscore its commitment to progress, inclusivity, and global solidarity. By navigating through challenges and leveraging its strengths, India has the potential to chart a course towards a brighter and more prosperous future for generations to come.

References

1. Bertaud A. Land Markets, Government Interventions, and Housing Affordability. Wolfensohn Center For Development, Brookings Institute, 2010. Working Paper No. 18. 55 p.
2. Bhalla S. India's Rural Economy: Issues and Evidences. New Delhi : Institute for Human Development, 2005. Working Paper No. 25. 70 p.
3. Brueckner J. K., Sridharr K. S. Measuring welfare gains from relaxation of land-use restrictions: The case of India's building-height limits. DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2012.08.003 // Regional Science and Urban Economics. 2012. Vol. 42. No. 6. P. 1061–1067.
4. Chen J. Rapid urbanization in China: A real challenge to soil protection and food security. DOI: 10.1016/j.catena.2006.04.019 // Catena. 2007. Vol. 69. No. 1. P. 1–15.

5. Panagariya A. The Triumph of India's Market Reforms: The Record of the 1980s and 1990s // Policy Analysis. No. 554. Washington DC : Cato Institute, 2005. 24 p.

6. Bhalla S. S., Bhasin K. Whose economic performance was better, UPA or NDA? Growth rates don't tell the whole story [Internet resource]. – URL: <https://theprint.in/opinion/whose-economic-performance-was-better-upa-or-ndagrowth-rates-dont-tell-the-whole-story/1928162> (accessed: 16.03.2024).

СЕКЦИЯ 2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

МОНИТОРИНГ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ ЗОНЫ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. Н. Агеева

*Белорусско-Российский университет,
г. Могилев, Республика Беларусь, ageeva.tam@yandex.by*

В результате аварии на ЧАЭС значительная часть территории Могилевской области остается в зоне радиоактивного загрязнения, где проживающее население подвергается хроническому облучению. В статье представлены данные мониторинговых исследований об изменении радиоэкологической ситуации в загрязненных населенных пунктах и дозах облучения населения.

Ключевые слова: мониторинг, зоны радиоактивного загрязнения, ^{137}Cs , население, дозы облучения.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС 35% территории Могилевской области (10,4 тыс. км²) оказалось в зоне радиоактивного загрязнения. Основной вклад в формирование долговременного загрязнения внес ^{137}Cs . На территории области, где плотность загрязнения почв ^{137}Cs составила 37,0 кБк/м² и выше, располагалось 1157 населенных пунктов (н. п.). Из них 170 н. п. в последующие годы были выселены и захоронены, в связи с создавшейся неблагоприятной радиоэкологической ситуацией, обусловленной высоким уровнем загрязнения (555–1480 кБк/м² и более). Проживая долгие годы на радиоактивно загрязненных территориях, население подвергается хроническому техногенному облучению.

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» (от 12 ноября 1991 г.), территория радиоактивного загрязнения была разделена на пять зон: зона эвакуации (отчуждения), зона первоочередного отселения, зона последующего отселения, зона с правом на отселение, зона проживания с периодическим радиационным контролем. При зонировании территорий приняты следующие критерии: плотность загрязнения почв радионуклидами чернобыльского происхождения (^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{238,239,240}\text{Pu}$) и величина средней годовой эффективной дозы облучения населения (*далее* – СГЭД-облучения) [1].

Поэтому на протяжении всего послеаварийного периода в зонах радиоактивного загрязнения проводится радиационный контроль и мониторинг, с целью уточнения меняющейся радиоэкологической ситуации, обусловленной естественным распадом радионуклидов, получения информации о дозах облучения населения и его критических групп для обоснования и осуществления комплекса мер радиационной защиты, обеспечения дозиметрической информацией населения и заинтересованных организаций, получения данных для верификации и уточнения параметров радиологических моделей. На основании полученных данных формируется также «Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения», который пересматривается, обновляется и утверждается Советом Министров Республики Беларусь через каждые пять лет в связи с изменением радиационной обстановки. Снижение уровней загрязнения территорий и СГЭД-облучения обуславливает изменение статуса населенных пунктов, перевод их из более «жестких» зон в менее «жесткие» или выход из зоны радиоактивного загрязнения.

Для уточнения радиационной обстановки в населенном пункте (в рамках радиационного контроля и мониторинга) проводится измерение мощности гамма-излучения на его территории и отбор проб почв для определения содержания радионуклидов в них и оценки уровня загрязнения населенного пункта.

Дозовый мониторинг складывается из мониторинга доз внешнего облучения и мониторинга доз внутреннего облучения и является важной составной частью системы обеспечения безопасного проживания и хозяйственной деятельности населения.

Внешнее облучение зависит от плотности поверхностного загрязнения почв, на той территории, где живет и работает человек. При мониторинге доз внешнего облучения жителей загрязненных территорий используют два основных вида измерений. Во-первых, это индивидуальный дозиметрический контроль, который позволяет наиболее точно учесть все факторы, влияющие на формирование внешнего облучения, и выявить критические группы населения, имеющие наибольшие дозы по роду занятий или особенностям поведения. Во-вторых, это измерение мощности амбиентной дозы (МАД) гамма-излучения в различных локациях населенного пункта и его ареала (жилые и общественные здания, приусадебные участки, улицы, а также прилегающие территории, на которых ведется хозяйственная деятельность или проводится свободное время). Результаты исследований позволяют оценить среднегодовую эффективную дозу внешнего облучения жителей населенного пункта, получаемую за счет чернобыльской компоненты.

Дозы внутреннего облучения формируются за счет поступления радионуклидов в организм человека с продуктами питания, в основном местного производства и произрастания. Поэтому пищевые привычки населения, его социальный статус и территориально-рекреационные особенности населенных пунктов могут существенно влиять на дозы внутреннего облучения [2, 3].

Мониторинг доз внутреннего облучения предусматривает инструментальные измерения содержания ^{137}Cs в организме человека с помощью спектрометра излучения человека (СИЧ-измерения) и измерения содержания ^{137}Cs в основных дозообразующих пищевых продуктах, потребляемых населением.

Обследование населения проводят с помощью стационарных и мобильных СИЧ-установок (типа СКГ-АТ1316 и др.), которые позволяют получать статистически достоверную информацию о содержании ^{137}Cs в организме человека и уровне его внутреннего облучения. Стационарные установки располагаются в учреждениях здравоохранения наиболее загрязненных районов области. С их помощью обследуется в основном население, обращающееся за медицинской помощью в эти учреждения. Мобильные СИЧ-установки имелись в распоряжении ГУ «РНПЦ Радиационной медицины и экологии человека» и ряда организаций других ведомств (МЧС). Они позволяли проводить многоразовые углубленные обследования жителей конкретных населенных пунктов в разных зонах радиоактивного загрязнения. Полученные подробные данные особенно важны были для корректировки параметров дозиметрических моделей, используемых при оценке текущих и прогнозируемых доз облучения населения. Однако в последнее время использование мобильных СИЧ-установок свелось к минимуму.

Результаты всех СИЧ-измерений собираются в региональные (электронные) базы данных, которые затем передаются в ГУ «РНПЦ Радиационной медицины и экологии человека». На базе данного учреждения создан Государственный дозиметрический регистр. Сюда же поступают и результаты мониторинга пищевых продуктов, отбираемых ежегодно в населенных пунктах зоны радиоактивного загрязнения. Государственный дозиметрический регистр осуществляет верификацию данных, представленных регионами, оценку текущих и прогнозируемых доз внутреннего и внешнего облучения населения, формирует каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь и предоставляет обобщенную информацию по дозам облучения в государственные органы управления.

За прошедший после аварии период уровень загрязнения территорий ^{137}Cs снизился более, чем в два раза. Согласно последнего Перечня населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения (2021 г.), в зоне последующего отселения (плотность загрязнения почв ^{137}Cs от 555 до 1480 кБк/м²) Могилевской области осталось только в 2 населенных пунктах (н. п.), в которых жители на данный момент отсутствуют. В зоне с правом на отселение (уровень загрязнения от 185 до 555 кБк/м²) осталось 69 н. п., в зоне проживания с периодическим радиационным контролем (уровень – от 37 до 185 кБк/м²) еще находится 589 н. п. [4]. По сравнению с Перечнем 1991 года количество населенных пунктов в зоне радиоактивного загрязнения Могилевской области уменьшилось в 1,6 раза. В настоящее время численность населения в данной зоне составляет около 100 тыс. человек.

СГЭД-облучения жителей 351 н. п. области (или 33,7% их общего числа в зонах радиоактивного загрязнения), в соответствии с Каталогом доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь 1992 г., превышали 1,0 мЗв/год, а в некоторых и 5,0 мЗв/год [5]. Наряду с высокими дозами внешнего облучения, в 31 н. п. и дозы внутреннего облучения населения превышали 1,0 мЗв/год, что было связано с повышенным содержанием ^{137}Cs в значительной части сельскохозяйственной продукции. В последующие годы, в связи с проведенным отселением жителей населенных пунктов зон первоочередного и последующего отселения, осуществлением защитных мероприятий в сельском хозяйстве, естественным распадом радионуклидов, отмечалось многократное снижение средних годовых эффективных доз облучения населения. К 2015 г. в зоне радиоактивного загрязнения области осталось только восемь населенных пунктов, где СГЭД-облучения могла превысить 1,0 мЗв (согласно Каталогу доз, 2015 г.), пять из которых были нежилые. При этом максимальное значение СГЭД-облучения составляло 1,85 мЗв (в н. п., где жители отсутствуют) [6]. Сейчас их осталось только два. Последние годы в населенных пунктах зоны радиоактивного загрязнения дозы внутреннего облучения выше 1,0 мЗв/год не прогнозировалось. Это обусловлено значительным снижением содержанием ^{137}Cs в молоке, мясе, картофеле, овощах и другой сельскохозяйственной продукции, производимой как в общественном, так и частном секторе.

Однако в отдаленный после аварии период участились случаи использования населением в пищу лесных грибов и ягод, высокая активность которых еще сохраняется на всей территории радиоактивного загрязнения. Результаты мониторинга доз внутреннего облучения населения с использованием СИЧ-установок показывают, что на территории области продолжают регистрироваться единичные случаи, когда дозы внутреннего облучения превышают 1,0 мЗв, причем даже в населенных пунктах, где суммарная доза внешнего и внутреннего облучения (в соответствии с Каталогом) не должна превышать 1,0 мЗв/год. Это может быть обусловлено как разнообразием радиологических и социально-демографических условий проживания, так и внутренними закономерностями поведения конкретных жителей и их пищевыми привычками [2, 3, 7]. Неоднократно отмечено, что высокие дозы чаще регистрируются среди социально незащищенных и малообеспеченных категорий граждан (безработных, пенсионеров, сторожей, дворников и т. п.), а также работников леса и членов их семей, при этом значительный вклад в формирование доз внутреннего облучения вносит пищевая продукция леса (грибы, ягоды, мясо диких животных). Данные многолетних измерений также показывают, что в течение календарного года, в зависимости от сезона, содержания ^{137}Cs в организме человека может существенно изменяться. Разброс колебаний может достигать 25–70% от среднегодового содержания. Эти колебания обусловлены сезонными различиями содержания ^{137}Cs в пищевых продуктах, сезонными изменениями в структуре питания, а также особенностями метаболизма ^{137}Cs в организме человека. Таким образом, вклад внут-

ренного облучения в суммарную дозу облучения населения может варьировать в широких пределах и достигать в отдельных случаях 70–90%, что необходимо учитывать при корректировке параметров дозиметрических моделей.

Результаты измерений мощности гамма-излучения, проводимых последние десять лет, показали, что наиболее высокие средние по населенным пунктам значения МАД были характерны для зоны последующего отселения (от 0,21 до 0,24 мкЗв/ч), несколько ниже они были в зоне с правом на отселение (от 0,11 до 0,17 мкЗв/ч) и самые низкие в населенных пунктах зоны проживания с периодическим радиационным контролем (от 0,10 до 0,12 мкЗв/ч), т. е. на уровне естественного радиационного фона, который был до аварии на ЧАЭС. Как видим, средние значения МАД в населенных пунктах коррелируют с плотностью загрязнения территорий.

Мониторинг индивидуальных доз внешнего облучения (методом ИДК) жителей населенных пунктов не выявил их существенных отличий у представителей различных профессиональных и социальных групп. Тем не менее, установлено, что дозовые нагрузки в группе механизаторов, полеводов, лесоводов, работающих на землях с плотностью загрязнения ^{137}Cs 555–1480 кБк/м² были несколько выше (на 10–20%), чем в среднем по населенному пункту, где они проживали. Группы школьников, пенсионеров и служащих, находящихся большую часть времени в населённом пункте, где плотность загрязнения почв не превышала 370 кБк/м², характеризовались более низкими значениями доз внешнего облучения. Необходимо также отметить, что прямой метод ИДК сопряжен с большими расходами, а его результаты во многом зависят от соблюдения правил эксплуатации индивидуальных дозиметров населением, что увеличивает погрешность измерений. Поэтому в отдаленный после аварии период целесообразность его применения снижается. Достаточно осуществлять контроль доз внешнего облучения расчетным методом по мощности дозы гамма-излучения. И только для верификации расчетных данных осуществлять измерение индивидуальных доз у небольшой группы населения с применением более чувствительных дозиметров.

Таким образом, несмотря на улучшение радиэкологической ситуации на территории Могилевской области, в зоне радиоактивного загрязнения еще остаётся 660 н. п. Мониторинг уровня загрязнения почв радионуклидами чернобыльского происхождения и доз внешнего и внутреннего облучения населения позволяет оценить изменяющуюся радиэкологическую ситуацию в населенных пунктах и принять управленческие решения по согласованию переноса населенных пунктов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения. Данные дозового мониторинга позволяют получать достоверную информацию о текущих дозах облучения и используются для верификации и уточнения параметров радиологических моделей, а также для прогноза изменения радиационной обстановки в результате естественных процессов и практической деятельности. Информация о дозах облучения населения и его критических групп необходима для обоснования мер радиационной защиты и осу-

ществления реабилитационных мероприятий на территории радиоактивного загрязнения.

Библиографический список

1. Сборник нормативных, методических, организационно-распорядительных документов Республики Беларусь в области радиационного контроля и безопасности / Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров РБ, РНИУП «Институт радиологии». 4-е изд., перераб. и доп. Гомель, 2005. 331 с.
2. Роль радиоэкологических и социальных факторов в формировании доз внутреннего облучения сельских жителей территории радиоактивного загрязнения / Т. Н. Агеева, А. В. Щур, Т. И. Чегерова и др. // Экологический вестник. 2010. № 2 (12). С. 40–49.
3. Казаченок Н. Н., Агеева Т. Н. Радиоэкологические проблемы в зонах радиоактивного загрязнения : монография. Могилев : БРУ, 2020. 309 с.
4. Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зоне радиоактивного загрязнения (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 08.02.2021 г. № 75). Минск, 2021. 54 с.
5. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь. Минск, 1992. 94 с.
6. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь: утверждены Министром здравоохранения Республики Беларусь 27.03.2015. Гомель : ГУ «РНПЦ радиационной медицины и экологии человека», 2015. 76 с.
7. Влияние радиоэкологической ситуации в приселитебных лесных массивах на дозы внутреннего облучения сельских жителей / А. В. Щур, Д. В. Виноградов, Т. Н. Агеева и др. // Вестник ПГТУ. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 1 (29). С. 79–86.

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОБЕГАХ *ULMUS PUMILA L.* В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

В. Н. Дрожжина

*Воронежский государственный педагогический университет,
г. Воронеж, Россия, o.drozzhin@gmail.com*

В работе приведены результаты оценки содержания тяжелых металлов в листьях и стеблях годичных побегов *Ulmus pumila L.* на территории парков и скверов г. Воронежа. В стеблях концентрация тяжелых металлов выше, чем в листьях, на разных пробных площадках концентрация меняется в зависимости от степени антропогенной нагрузки, рельефа местности и типа почв.

Ключевые слова: вяз приземистый, листья, стебли, тяжелые металлы.

Древесные растения, произрастающие в городских условиях, подвергаются воздействию различных загрязняющих веществ, среди которых большую долю составляют тяжелые металлы. Часть из них не включаются в процессы жизнедеятельности растения, но могут оказывать сильное токсическое воздействие на растительные организмы. Другая часть включается в процессы и является их необходимой составляющей, однако переизбыток или недостаток данных веществ приводит к различным нарушениям. Растения, ис-

пользуемые для озеленения городской среды, могут накапливать тяжелые металлы и являться биосорбентами, таким образом, на некоторое время элементы выводятся из круговорота веществ. Виды древесных растений можно использовать в качестве биоиндикаторов загрязнения по количеству накопленных тяжелых металлов [1].

Цель исследования – проанализировать содержание тяжелых металлов в побегах вяза приземистого и возможность его использования как биоиндикатора.

Объектом исследования выступил *Ulmus pumila* L., довольно часто встречающийся в условиях городского озеленения, отличающийся быстрыми темпами роста и устойчивостью к загрязнению. В конце вегетационного сезона определяли содержание тяжелых металлов в листьях и дефолиированных годичных побегах. Сбор материала осуществляли в средней части кроны на пробных площадках, заложенных на территории г. Воронежа. Всего заложено 5 площадок на территории Левобережного района в зоне воздействия выбросов химических предприятий и расположения крупных автомагистралей.

Пробная площадка (ПП) № 1 – Сквер «Защитников Воронежа» – особо охраняемая природная территория местного значения. Площадь 2112,4 м². Почвы на объекте преимущественно дерново-лесные супесчаные надпойменных террас. Рельеф ровный, уклон не более 2°. С восточной и юго-восточной стороны сквер примыкает к автотрассе по ул. Ленинский проспект, с западной стороны находится автомобильная развязка Вогрэсовского моста.

Пробная площадка № 2 – Сквер имени Василия Шукшина. С восточной стороны сквер примыкает к автотрассе по ул. Ленинский проспект, с северной стороны находится жилая застройка ул. Ленинский проспект, с запада проходит улица набережная Авиастроителей, на юге сквер ограничен зданием Дворца культуры имени Кирова. Почвы на объекте преимущественно дерново-лесные супесчаные надпойменных террас. Рельеф ровный, уклон не более 2°.

Площадка № 3 – Парк «Южный» особо охраняемая природная территория местного значения. Считается самым большим парком в промышленной зоне города. Площадь 8972 м². Почвы на объекте преимущественно темно-серые лесные супесчаные, достаточно дренированные, легкие, гумуса менее 2%. Рельеф достаточно ровный, уклон 1–2°. С западной стороны находится автотрасса по ул. Новосибирской.

Площадка № 4 – Сквер «Чижовский». Северная граница сквера примыкает к жилому дому по адресу г. Воронеж, ул. Грамши, 70, южная к автомобильной дороге по ул. Грамши. Почвы аллювиальные луговые оглеенные суглинистые на аллювиальных отложениях. Поверхность ровная.

Пробная площадка № 5 – Лесной массив урочище Чижовская дача. Остепенённая поляна в нагорной дубраве (Урочище Чижовская дача), входит в состав Гремяченского лесничества, является памятником природы регионального значения, занимающим площадь в 0,5 га. Площадка расположена на

правом берегу Воронежского водохранилища, крутой склон которого сложен песчано-суглинистыми породами, покрытыми смешанным древостоем.

Определение тяжелых металлов проводили методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на спектрофотометре фирмы Shimadzu AA-6300, с предварительной минерализацией образцов в муфельной печи при температуре (500 ± 25) °С.

Содержание железа, марганца и меди в побегах на исследуемых ПП в среднем на 30–40% выше, чем в листьях, что связано с наличием биологических барьеров в растительном организме. Критические показатели на площадках не обнаружены [2].

Содержание кадмия в побегах значительно превышает его содержание в листовых пластинках. Исключением является только площадка № 1, где в листьях обнаружено максимальное накопление этого тяжелого металла, при минимальном его содержании в ветвях *U. pumila* L., так как кадмий способен к свободному фолиарному проникновению через листья. Данная ПП расположена рядом с крупным транспортным перекрестком, на котором происходит частое торможение и разгон автомобилей, работа двигателя на холостом ходу.

Концентрации цинка в вегетативных органах растения приблизительно одинаковы, с незначительным увеличением содержания в побегах.

Максимальное содержание марганца определено в ветвях и листьях, собранных с первой площадки. В отличие от него, кадмий присутствует в вегетативных органах объекта исследования в очень низких концентрациях. Это можно объяснить высокой устойчивостью вяза к накоплению в своих тканях данного поллютанта.

Наименьшее содержание свинца на всех ПП относительно присутствия других тяжелых металлов, объясняется особенностью данного элемента накапливаться в основном в корнях растений, при незначительном усвоении побегами и листьями. Еще одной причиной может стать, как и в случае с кадмием, низкая предрасположенность *U. pumila* L. к усвоению свинца. Максимальное значение (1,34 мг/кг) обнаружено на ПП № 3 – Парк «Южный».

На 5 площадке выявлен высокий уровень присутствия практически всех определяемых тяжелых металлов. Максимальное присутствие в листьях вяза приземистого, в сравнении с остальными ПП, определено по цинку, марганцу, свинцу. Высоко относительное содержание железа в побегах (40,4 мг/кг). Урочище Чижовская находится в нижней части склона, вдоль которого идет активный смыв с прилегающей крупной автомобильной дороги по улице Грамши – Матросова и расположенного неподалеку военного аэродрома Балтимор. Кислая реакция почвы на данном участке способствуют снижению катионного обмена и повышению подвижности этих элементов, а, следовательно, доступности их для растения (табл.).

Анализ полученных результатов показал, что максимальное содержание тяжелых металлов в побегах и листьях вяза приземистого обнаружено на пробных площадках, находящихся в непосредственной близости от источников выбросов химических предприятий и автомагистралей. Данные по мар-

ганцу и железу свидетельствуют об их значительном накоплении в наземных органах выбранного объекта исследования, что совпадает с данными других авторов [3]. Такое соотношение концентраций объясняется тем, что основным источником поступления тяжелых металлов в природную среду являются выхлопные газы автомобилей и продукты стирания шин и тормозных колодок. Необходимо также учитывать рельеф, характер почвенного покрова, уровень транспортной нагрузки территории.

Таблица

**Содержание тяжелых металлов
в вегетативных органах *Ulmus pumila* L., мг/кг**

| № ПП | Объект | Железо | Медь | Цинк | Марганец | Свинец |
|------|--------|-------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 1 | Побег | 37,0±0,7* | 1,1±0,1*** | 10,6±0,1 | 22,6±1,3* | 0,55±0,03* |
| | Листья | 24,5±0,6* | 1,1±0,0 | 9,2±0,0 | 12,0±1,1 | 0,40±0,03** |
| 2 | Побег | 50,8±1,2*** | 2,0±0,0 | 11,1±0,7 | 19,7±1,1 | 0,39±0,00** |
| | Листья | 23,1±0,7** | 1,2±0,1 | 9,5±0,7 | 10,4±1,0 | 0,36±0,03 |
| 3 | Побег | 47,0±1,1*** | 2,6±0,2 | 8,9±0,7** | 18,9±1,1 | 1,34±0,02** |
| | Листья | 33,4±1,1*** | 1,2±0,1 | 8,6±0,5 | 9,8±1,6 | 0,38±0,01*** |
| 4 | Побег | 44,1±1,7 | 1,8±0,1* | 10,9±1,1 | 21,3±1,9 | 0,94±0,02 |
| | Листья | 29,3±0,7* | 1,4±0,1 | 8,7±1,0 | 11,4±1,2 | 0,35±0,02*** |
| 5 | Побег | 40,4±1,3 | 2,2±0,1 | 12,2±0,9 | 19,2±1,1 | 0,88±0,16 |
| | Листья | 26,8±0,8 | 1,3±0,1 | 9,6±0,8 | 12,6±0,9 | 0,74±0,03 |

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ (по отношению к контролю).

Токсичных концентраций тяжелых металлов в побегах вяза приземистого не обнаружено, различия в концентрации тяжелых металлов на разных пробных площадках свидетельствуют о различной антропогенной нагрузке на территории и возможности использования данного вида в целях мониторинга загрязнения окружающей среды.

В целом полученные данные подтверждают наше предположение о возможности использования рода *Ulmus* в качестве фитоиндикатора содержания тяжелых металлов в окружающей среде.

Библиографический список

1. Марочкина Н. В., Куринская Л. В., Иванисова Н. В. Аккумуляция тяжелых металлов листьями *Parthenocissus guinguefolia* L. // АгроЭкоИнфо. 2023. № 3 (57). С. 11–25.
2. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск : Наука, 1991. 151 с.
3. Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами и их накопление в листьях и хвое лесобразователей Предуралья / Р. В. Уразгильдин, Р. Р. Сулейманов, Р. Х. Гиниятуллин и др. // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 6. С. 60–66.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ БИОФИЛЬНЫХ И ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ *CICHORIUM INTYBUS* L. В УСЛОВИЯХ УРБОСРЕДЫ

Н. Г. Габитов, Г. Г. Бускунова

Сибайский институт (филиал)

«Уфимский университет науки и технологий»,

г. Сибай, Россия, gulsina_busk@mail.ru

В данной работе представлены результаты распределения биофильных и токсичных элементов в растениях *Cichorium intybus* L. Образцы были отобраны в г. Сибай Республики Башкортостан. Тяжелые металлы были определены атомно-абсорбционным методом, результаты которого представлены в мг/кг.

Ключевые слова: тяжелые металлы, предельно допустимая концентрация, коэффициент накопления, акропетальный коэффициент, *Cichorium intybus* L.

Cichorium intybus L. (цикорий обыкновенный) – многолетнее травянистое растение из семейства сложноцветных. Широко известен как растение, корни которого используют в качестве заменителя кофе [1]. Также это растение может быть использовано как лекарственное сырье: цикорий обладает различными полезными свойствами – понижает артериальное давление, успокаивает нервную систему, стабилизирует работу сердца, помогает снизить уровень сахара в крови. Известно, что химический состав растений существенно зависит от того, на каких почвах они произрастают. Загрязнение почв тяжелыми металлами может привести к накоплению этих поллютантов в органах и тканях растений [2, 3]. Вопрос о том, какие токсичные элементы накапливаются в растениях в условиях урбосреды и целесообразно ли использование такого сырья в качестве фитоматериала представляет большой практический интерес. В связи с этим, исследования растений *Cichorium intybus* L. на содержание тяжелых металлов (ТМ), расчет коэффициента накопления и биогеохимической активности вида являются весьма актуальными.

Цель работы – представить биогеохимические показатели тяжелых металлов в растениях *Cichorium intybus* L., произрастающих в условиях города Сибай Республики Башкортостан.

На территории города в случайном порядке были собраны образцы растений *Cichorium intybus* L. Отбор и подготовку растительных проб производили согласно общепринятой методике. Растительные образцы отбирали в сухую погоду и разбирали на части (корни, стебли, листья, цветки), которые высушивали, измельчали и упаковывали в промаркированные бумажные конверты для последующего химического анализа. Параллельно с пробоотбором

растительных образцов осуществляли сбор образцов почв в местах произрастания растений. Содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Ni, Mn, Cd, Cu и Pb) в образцах почв и растений определяли атомно-абсорбционным методом в лаборатории Сибайской обогатительной фабрики на аппарате «CONTR AA» с пламенным атомизатором «ацетилен-воздух».

Величину загрязнения почв подвижными формами ТМ оценивали по кратности превышения предельно-допустимых концентрации (ПДК), коэффициенту концентрации тяжелых металлов (Кс) и суммарному показателю химического загрязнения (Zс).

При определении экологической чистоты исследуемого вида использовали метод кратности превышения МДУ ТМ в растениях. В растениях *Cichorium intybus* были изучены такие биогеохимические показатели (БП) как: коэффициент накопления (КН), биогеохимическая активность вида (БХА), акропетальный коэффициент (АК) [4, 5]. Расчеты были проведены в программном обеспечении Microsoft Excel.

Полученные результаты химического анализа почвы, показали, что уровень суммарного показателя загрязненности составил 9,90 (табл. 1), что соответствует допустимой категории загрязненности почв ($Z_c < 16$). Экологическая обстановка относительно удовлетворительная ($8 < Z_c < 16$), а уровень загрязнения – слабый.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почвах исследуемой территории

| Показатели | Тяжелые металлы | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| | Cu | Zn | Fe | Ni | Mn | Cd | Co | Pb |
| Фактические концентрации, мг/кг | 2,5 | 251 | 171 | 4,9 | 76 | 0,5 | 0,3 | 9,5 |
| ПДК, мг/кг | 3 | 23 | 3800* | 4 | 140 | 0,3* | 5 | 6 |
| Кс | 0,83 | 10,91 | 0,05 | 1,23 | 0,54 | 1,70 | 0,06 | 1,58 |
| Zс | 9,90 | | | | | | | |

Примечание: * – фон.

Исследования показали, что концентрации Cu, Mn и Pb в растительных образцах не превышали МДУ. Содержание Zn в растениях превышали норму в 7,4–12 раз; Fe – в 8–32 раза; Ni – в 99–147 раз; Cd – 1,5–3,3 раза; Co – 5–8 раз (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в растениях *Cichorium intybus* L. в урбанизированных экосистемах

| Наименование пробы | Содержание тяжелых металлов, мг/кг | | | | | | | |
|--------------------|------------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Cu | Zn | Fe | Ni | Mn | Cd | Co | Pb |
| цветки | 18 | 371 | 2587 | 147 | 61 | 0,9 | 5,8 | 0,8 |
| листья | 23 | 480 | 2240 | 119 | 36 | 1,0 | 5,0 | 2,9 |
| стебли | 30 | 371 | 807 | 99 | 34 | 0,5 | 7,0 | 3,8 |
| корни | 24 | 600 | 3265 | 116 | 37 | 0,2 | 8,3 | 3,6 |
| МДУ, мг/кг | 30 | 50 | 100 | 1 | 100 | 0,3 | 1,0 | 5,0 |

В растениях *Cichorium intybus* L. Cu, Zn, Fe, Co, Pb распределены по акропетальному типу, Ni, Mn, Cd – по базипетальному типу. По коэффициенту накопления можно сказать, что в растениях Zn и Ni относятся к группе элементов энергичного накопления, Cu – сильного накопления, Co – слабого накопления, Fe, Mn, Pb – среднего захвата (табл. 3). Биогеохимическая активность вида составил 247.

Таблица 3

Биогеохимические показатели в растениях *Cichorium intybus* L.

| Биогеохимические показатели | Тяжелые металлы | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
| | Cu | Zn | Fe | Ni | Mn | Cd | Co | Pb | БХА |
| КН в цветках | 6,0 | 16,1 | 0,7 | 36,8 | 0,4 | 1,8 | 1,2 | 0,1 | 63,1 |
| КН в листьях | 7,7 | 20,9 | 0,6 | 29,8 | 0,3 | 2,0 | 1,0 | 0,5 | 62,6 |
| КН в стеблях | 10,0 | 16,1 | 0,2 | 24,8 | 0,2 | 0,9 | 1,4 | 0,6 | 54,3 |
| КН в корнях | 8,0 | 26,1 | 0,9 | 29,0 | 0,3 | 0,4 | 1,7 | 0,6 | 66,8 |
| АК | 1,0 | 1,5 | 1,7 | 1,0 | 0,9 | 0,2 | 1,4 | 1,4 | 247 |

Результаты исследований показывают, что содержание тяжелых металлов в растениях *Cichorium intybus* L., собранных на территории г. Сибай, превышает установленные нормы. Следовательно, не рекомендуется использовать данное растение, выросшее в условиях города, в качестве лекарственного сырья. В условиях г. Сибай *Cichorium intybus* L. является концентратором Zn и Ni.

Библиографический список

1. Сайбель О. Л., Чупарина Е. В., Мартынов А. М. Изучение элементного состава травы цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) // Евразийский Союз Ученых. 2015. № 3–7 (12). С. 160–161.
2. Маркина Е. О., Григорьев В. В., Сырчина Н. В. Влияние различных добавок на подвижность тяжелых металлов в почвах // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров, 28–29 апреля 2016 г.). Кн. 2. Киров : ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 87–90.
3. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Кузнецов Д. А. Животноводческие комплексы как источники загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (Cu, Zn). DOI: 10.15393/j1.art.2023.13182 // Принципы экологии. 2023. № 1 (47). С. 82–89.
4. Бускунова Г. Г., Ягафарова Г. А. Тяжелые металлы в системе «почва – дикорастущее лекарственное растение» (на примере *Cichorium intybus* L.). DOI: 10.55355/snv2022111103 // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11. № 1. С. 36–42.
5. Бускунова Г. Г. Экологическая оценка чистоты лекарственного растительного сырья *Thymus serpyllum* L. в условиях Зауралья Республики Башкортостан. DOI: 10.55355/snv2023122103 // Самарский научный вестник. 2023. Т. 12. № 2. С. 24–29.

МОНИТОРИНГ ЦЕНОПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ВИДОВ-ДОМИНАНТОВ ЛУГОВЫХ АССОЦИАЦИЙ ПОЙМЫ р. ИПУТЬ

Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
г. Гомель, Республика Беларусь, dajneko@gsu.by*

Проведенный популяционно-онтогенетический анализ ценопопуляций видов-доминантов луговых экосистем пойменного луга р. Ипуть выявил, что в онтогенетическом составе изученной ценопопуляции доминировали средневозрастные генеративные растения (42–45%), также значительное участие принимали молодые генеративные растения (24–26%), виргинильные растения (14–16%). Участие старых генеративных растений было невелико (10–12%). В ряде ценопопуляций в онтогенетическом составе присутствовали также и имматурные растения, что свидетельствовало о наличии недавнего семенного размножения и благоприятных условий ее развития.

Ключевые слова: ценопопуляция, доминанты, генеративные растения, пойма р. Ипуть.

Решение многих прикладных хозяйственных проблем невозможно без понимания структуры и функционирования популяций соответствующих видов растений. Особенно ценной является информация в луговедении. Популяционно-онтогенетический подход дает возможность осуществлять мониторинг и эффективный контроль за состоянием ценопопуляций хозяйственно ценных видов растений в луговых сообществах [1–3].

С целью выяснения ценопопуляционной структуры доминантных видов наиболее типичных и широко распространенных луговых сообществ нами в 2018–2023 гг. выполнены ценопопуляционно-онтогенетические исследования луговых ассоциаций поймы р. Ипуть Добрушского района Гомельского области, Республика Беларусь.

По эколого-флористической классификации нами было выделено 3 луговых ассоциаций: асс. *Agrostietum vulgaris* Domin 1926, асс. *Poo-Festucetum pratensis* Sapegin 1986, асс. *Calamagrostietum epigeii* Sapegin 1986.

Флористический состав изучали по методу А. А. Корчагина [4] одновременно с геоботаническим описанием травостоев луговых экосистем [5–9]. Латинские названия видов высших растений даны по определителю [10].

Ценопопуляционную структуру доминантных видов луговых экосистем изучали путем закладки учетных площадок размером 25 × 25 см вразброс в 10-кратной повторности с последующим определением онтогенетического состава и плотности особей по существующим методикам [11]. Классификация луговых экосистем выполнена на основе эколого-флористических критериев по методу Браун-Бланке [12].

Анализ онтогенетической структуры и динамики плотности особей вида доминанта *Agrostis vulgaris* ассоциации *Agrostietum vulgaris* за шестилетний период с 2018 г. по 2023 г. показал, что в 2018 году в онтогенетическом составе находилось 5 онтогенетических групп, где наибольшее участие принимали средневозрастные генеративные растения (g_2) – 42,6%, молодые генеративные (g_1) – 26,2%, виргинильные (v) – 15,3%, имматурные (im) – 8,9% и старые генеративные (g_3) – 7,0%. Как видно, меньше всего принимали участие имматурные и старые генеративные растения (табл.).

Таблица

Онтогенетическая структура видов-доминантов ассоциаций луговых экосистем пойменного луга р. Ипать Добрушского района в 2018-2023 году, особь/м²

| Название ассоциации | Виды-доминанты | Годы | Онтогенетическая структура | | | | | Всего |
|---------------------------------|------------------------------|------|----------------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------|
| | | | имматурные (im) | виргинильные (v) | молодые генеративные (g_1) | средневозрастные (g_2) | старые генеративные (g_3) | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| <i>Agrostietum vulgaris</i> | <i>Agrostis vulgaris</i> | 2018 | 4,3± 0,22 | 7,4± 0,42 | 12,7± 0,84 | 20,6± 1,12 | 3,4± 0,21 | 48,4 |
| | | 2019 | 6,4± 0,39 | 6,2± 0,43 | 14,5± 0,88 | 20,8± 1,60 | 2,7± 0,16 | 52,6 |
| | | 2020 | 3,4± 0,20 | 5,1± 0,41 | 12,6± 0,88 | 22,7± 1,52 | 6,7± 0,54 | 50,5 |
| | | 2021 | 2,9± 0,18 | 4,8± 0,32 | 12,1± 0,76 | 23,7± 1,92 | 6,1± 0,38 | 49,6 |
| | | 2022 | 2,2± 0,14 | 4,4± 0,29 | 10,4± 0,82 | 24,9± 2,01 | 5,7± 0,38 | 47,6 |
| | | 2023 | 1,9± 0,12 | 3,9± 0,26 | 9,2± 0,74 | 26,1± 2,08 | 4,9± 0,32 | 46,0 |
| <i>Poo-Festucetum pratensis</i> | <i>Poa pratensis</i> | 2018 | 8,4± 0,44 | 12,6± 0,78 | 16,1± 0,92 | 26,2± 1,54 | 4,9± 0,26 | 58,2 |
| | | 2019 | 5,2± 0,48 | 11,7± 0,82 | 19,3± 1,15 | 24,3± 1,51 | 6,2± 0,37 | 66,7 |
| | | 2020 | 4,2± 0,33 | 7,2± 0,43 | 10,4± 0,73 | 30,6± 2,44 | 9,7± 0,68 | 62,1 |
| | | 2021 | 3,4± 0,32 | 6,4± 0,54 | 9,7± 0,86 | 31,3± 2,19 | 9,2± 0,76 | 60,0 |
| | | 2022 | 1,3± 0,11 | 5,3± 0,46 | 8,3± 0,52 | 32,7± 2,44 | 8,8± 0,35 | 56,4 |
| | | 2023 | – | 4,7± 0,37 | 6,7± 0,52 | 34,3± 2,62 | 8,3± 0,66 | 54,0 |
| <i>Calamagrostietum epigeii</i> | <i>Calamagrostis epigeii</i> | 2018 | 5,2± 0,21 | 10,4± 0,52 | 13,6± 0,72 | 23,9± 1,43 | 4,6± 0,28 | 57,9 |
| | | 2019 | – | 14,1± 0,84 | 15,4± 0,92 | 27,7± 4,8 | 5,2± 0,31 | 62,4 |
| | | 2020 | – | 11,6± 0,92 | 12,3± 0,86 | 23,7± 1,95 | 8,6± 0,68 | 56,2 |

Окончание таблицы

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------------------------|------------------------------|------|---|--------------|---------------|---------------|--------------|------|
| <i>Calamagrostietum epigeii</i> | <i>Calamagrostis epigeii</i> | 2021 | – | 9,3± 0,78 | 10,4± 0,84 | 25,6± 2,42 | 8,1± 0,68 | 53,4 |
| | | 2022 | – | 8,4± 0,62 | 9,1± 0,74 | 26,9± 2,34 | 7,4± 0,56 | 51,8 |
| | | 2023 | – | 7,2± 0,59 | 8,6± 0,67 | 27,4± 2,98 | 6,9± 0,58 | 50,1 |

Рассматривая популяцию *Agrostis vulgaris* в 2019 г., видно, что в ней преобладают средневозрастные генеративные растения – 43,3%, участие молодых генеративных растений составило 27,6%. Почти равное участие было у имматурных – 12,2% и виргинильных растений – 11,8%. Минимальным было участие старых генеративных растений – 5,1% (табл.).

Анализируя онтогенетическую структуру *Agrostis vulgaris* в 2020 г. видно, что наибольшее участие принимали средневозрастные генеративные растения (g_2) – 45,0%, молодые генеративные (g_1) – 25,0%, несколько меньшее значение было у старых генеративных растений (g_3) – 13,3% и виргинильных растений (v) – 10,1%. Меньше всего оказалось имматурных растений – 6,6% (табл.).

Анализируя онтогенетическую структуру этого вида в 2021 г., можно видеть, что она имела сходные соотношения онтогенетического состава, как и в предыдущие годы. Так, участие (g_2) было 46,8%, у (g_1) – 24,4%, у (g_3) – 12,3%, у (v) – 9,8%, у (im) – 5,8%. Аналогичное соотношение наблюдалось и в 2022 году. Так, участие (g_2) составляло 52,3%, (g_1) – 21,8%, (g_3) – 12,0%, (v) – 9,3%, (im) – 4,6%.

В 2023 г. онтогенетическая структура имела следующий состав: средневозрастные генеративные растения – 56,7%, молодые генеративные – 20,0%, старые генеративные – 10,7%, виргинильные растения – 8,5%, имматурные – 4,1%.

Анализ численности онтогенетических групп от первого года наблюдений к шестому показал, что численность имматурных растений уменьшилась на 2,4 особи, виргинильных – на 3,5 особи, молодых генеративных – на 3,5 особи, у средневозрастных генеративных увеличилась на 5,5 особи, а у старых генеративных на 1,5 особи. Общая средняя численность особей на 1 м² за шесть лет наблюдений составила 49,1±4,4.

Анализ онтогенетической структуры и динамики плотности особей вида-доминанта *Poa pratensis* ассоциации *Poo-Festucetum pratensis* за этот же период с 2018 г. по 2023 г. выявил, что в 2018 г. в онтогенетическом составе находилось пять онтогенетических групп, где более высокое участие принимали средневозрастные генеративные растения (g_2) – 38,4%; молодые генеративные растения (g_1) – 23,6%, виргинильные (v) – 18,5%, имматурные растения (im) – 13,4%, старые генеративные (g_3) – 6,1%.

Рассматривая популяцию вида-доминанта *Poa pratensis* в 2019 г. можно отметить, что в ней также преобладали (g_2) растения – 36,4%, (g_1) – 17,6%,

виргинильные (v) – 77,5%, имматурные растения (im) – 7,8%, старые генеративные (g₃) – 9,3%.

Анализируя онтогенетическую структуру *Poa pratensis* в 2020 г. видно, что онтогенетический состав состоял из 5 онтогенетических групп с преобладанием средневозрастных генеративных растений – 49,3%. Близкие значения наблюдались у молодых генеративных растений – 16,7% и у старых генеративных – 15,6%. Несколько меньшим было участие виргинильных растений 11,6% и самым минимальным оказалось участие имматурных растений – 6,8%.

Анализируя онтогенетическую структуру этого вида в 2021 г. видно, что она имела сходное соотношение онтогенетического состава, как и в предыдущие годы. Так, участие g₂ было 52,2%; участие молодых и старых генеративных растений было практически равным: 16,2% и 15,3%, у виргинильных особей эта величина составила 10,7%, а у имматурных растений – 5,6%.

Аналогичное соотношение также наблюдалось и в 2022 г. Так, участие (g₂) составляло 58,0%, невысокое отличие отмечалось у (g₁) и (g₃) растений: 14,7% и 15,6% соответственно, (v) – 9,4%, (im) – 2,3%.

В 2023 году онтогенетический состав имел следующую относительную структуру: средневозрастные генеративные растения составляли 63,5%, старые генеративные – 15,4%, молодые генеративные – 12,4%, виргинильные – 8,7%.

Анализ численности онтогенетических групп от первого года наблюдений к шестому году выявил, что численность имматурных растений за это время уменьшилась на 7,1 особи/м²; виргинильных – на 7,9 особи/м²; молодых генеративных – на 9,4 особи/м², средневозрастных – увеличилось на 8,1 особи/м², старых генеративных на 3,4 особи/м².

Средняя численность особей на 1 м² за шесть лет наблюдений составила 59,6±5,4.

Анализ онтогенетической структуры и динамики плотности особей вида-доминанта *Calamagrostis epigeei*, ассоциации *Calamagrostietum epigeei* за шестилетний период с 2018 по 2023 гг. выявил, что в 2018 г. в онтогенетическом составе находилось пять онтогенетических групп, с доминированием средневозрастных генеративных растений (g₂) – 41,6%, молодых генеративных (g₁) – 23,5%, виргинильных (v) – 18,0%, имматурных (im) – 9,0%, старых генеративных (g₃) – 7,9%. Как видно из анализа, наименьшее участие принимали старые генеративные растения и имматурные.

Рассматривая онтогенетическую структуру ценопопуляции *Calamagrostis epigeei* в 2019 г. видно, что доминирующее положение занимали средневозрастные генеративные растения (g₂) – 41,6%, молодые генеративные (g₁) – 25,9%, виргинильные (v) – 23,7%, старые генеративные (g₃) – 8,8%.

Анализируя онтогенетическую структуру *Calamagrostis epigeei* в 2020 г. можно видеть, что наибольшее участие принимали (g₂) растения – 42,2%, (g₁) – 21,9%, (v) – 20,6%, (g₃) – 15,3%.

Анализируя онтогенетическую структуру популяции *Calamagrostis epigeii* в 2021 г. можно видеть, что она имела сходные соотношения онтогенетического состава, как и в предыдущие годы.

Так, участие (g_2) было 47,9%, (g_1) – 19,5%, (v) – 17,4%, (g_3) – 15,2%. Аналогичное соотношение наблюдалось и в 2022 году. Так, участие (g_2) составляло 51,9%, молодых генеративных – 17,6%, виргинильных – 16,2%, старых генеративных – 14,3%.

В 2023 г. онтогенетическая структура имела следующий состав: средневозрастные растения – 54,7%, молодые генеративные – 17,2%, виргинильные – 14,4%, старые генеративные – 13,8%.

Анализ численности онтогенетических групп от первого года наблюдений к шестому показал, что имматурные растения присутствовали только в первый год наблюдений, у виргинильных растений численность уменьшилась на 3,2 особи/м², молодых генеративных на 5,1 особи/м², средневозрастных генеративных растений увеличилась на 3,5 особи/м², а старых генеративных на 2,3 особи/м².

Анализ динамики плотности изучаемых ценопопуляций луговых экосистем пойменного луга р. Ипуть Добрушского района по годам исследований показал колебания численности как в сторону их увеличения, так и уменьшения.

Библиографический список

1. Злобин Ю. А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста : монография. Сумы : Университетская книга, 2009. 263 с.
2. Жукова Л. А. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола : РИИК «Ланар», 1995. 224 с.
3. Изучение и сохранение пойменных лугов : материалы Междунар. совещания (Калуга, 26–28 июня 2013 года). Калуга : ООО «Ноосфера», 2013. 180 с.
4. Корчагин А. А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника : сб. науч. статей. Л. : Наука, 1964. Т. 3. С. 39.
5. Александрова В. Д. Классификация растительности. Л. : Наука, 1969. 273 с.
6. Карамышева З. В. Опыт обработки описаний пробных участков степных сообществ методом Браун-Бланке // Ботанический журнал. 1967. Т. 52. № 8. С. 1132–1145.
7. Миркин Б. М., Розенберг Г. С. Фитоценология. Принципы и методы. М. : Наука, 1978. 212 с.
8. Миркин Б. М., Наумова Л. Г. Наука о растительности. Уфа : Изд-во «Гилем», 1998. 413 с.
9. Раменский Л. Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л. : Наука, 1971. 334 с.
10. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова. Мн. : Дизайн ПРО, 1999. 472 с.
11. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / отв. ред. А. А. Уранов, Т. И. Серебрякова. М. : Наука, 1976. 217 с.
12. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Wien, New-York : Springer-Verlag, 1964. 865 p.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ НЕО-ОЧАГИ ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ПРИРОДНЫХ СРЕД В ДОНБАССЕ

А. И. Сафонов

*Донецкий государственный университет,
г. Донецк, Россия, andrey_safonov@mail.ru*

Проведен первичный скрининг новых геолокалитетов потенциальной генотоксичности природных сред по состоянию растений в системе экологического мониторинга Донбасса. В основе метода полевых экспресс-идентификаций лежит структурный анализ растительного материала в статистическом сравнении с имеющимися данными по фенотипической пластичности индикаторных видов.

Ключевые слова: генотоксичность, фитотоксичность, экологический мониторинг, Донбасс, оценка состояния среды, фитоиндикация.

В широком спектре экологических проблем регионов [1] для различных субъектов Российской Федерации есть много общего, что решается на государственном уровне и (или) в рамках отдельных исследовательских проектов. Однако в каждом регионе существуют не только свои эксклюзивные научные направления, обусловленные в большинстве случаев природно-климатическими и историко-этнографическими особенностями, но и эксклюзивные возможности для проведения запланированных научных исследований. До начала военных событий на территории Донбасса приоритетным направлением работы научной школы экологической ботаники в Донецком госуниверситете был фитомониторинг, направленный на диагностику природных сред в условиях промышленного освоения местности. С 2014 г. к существующим проблемам индустриализации добавились особые формы вмешательства в структуру открытых экосистем – военные действия.

Цель работы – на основании существующей базы данных об экологической пластичности растений-индикаторов в Донбассе (1996–2024 гг.), учитывая доказанную для многих признаков фенотипическую природу структурной гетерогенности, выделить признаки, сопряжённые с генотипичностью сред для формирования геолокалитетов её проявления как очагов потенциальной опасности при проведении диагностики экотопов.

В интегральной и частной оценке состояния природных сред центральным критерием системы загрязнений является геохимический и, как функционально значимые параметры, всегда важно учитывать биогеохимические характеристики [2]. Тестирование генотоксичности условий проживания и жизнедеятельности человека является часто используемой манипуляцией в экологических экспертизах [3], которые, безусловно, важны для мероприятий по восстановлению и оптимизации экосистем после завершения стадии критического возмущения в их равновесии [4]. Существуют также серии аналитиче-

ских программ по оценке мутационной и генотипической активности местности в отделенных последствиях при воздействии на человеческие популяции в результате ведения военных действий [5, 6], что возможно использовать в перспективе для изучения состояния здоровья жителей Донбасса и сопредельных территорий.

Используя накопленный опыт работы с палинологическим материалом растений-индикаторов [7], отдельные методические подходы в анализе точек роста и клеток-инициалей [8], данные об актуальном геохимическом контрасте в системе мониторинговой сети Центрального Донбасса [9], включающие результаты ингредиентного анализа на высокоточном оборудовании [10], было выделено два принципиальных (и доступных в статистическом учёте) критерия генотоксичности среды: 1) по степени деформации пыльцевых зёрен как наиболее чувствительного биомаркера к аэрополлютантам; 2) по уровню abortивных и деградативных процессов эмбриотоксического значения с учётом индикаторных структур в строении зародышевого аппарата изученных видов растений.

За годы мониторинговых экспериментов в Донбассе было установлено, что выявленные признаки структурной организации растений, имеющие индикаторное значение, пластичны фенотипически. И при смене локации произрастания на следующий год, или 2–3 вегетационных сезона, регистрируемые (в большинстве случаев вегетативные или архитектурные) характеристики, например, в побегообразовании не наследуются, что позволило иметь список индикаторных индексов для биотестирования без имеющихся данных о возможных генотипических эффектах по другим признакам.

В собирательном понимании генотоксичности важны показатели состояния половых клеток. Для цветковых растений модельно демонстративным является свободно парящая в приземном слое атмосферы пыльца (автономный мужской гаметофит на клеточном уровне организации), меняющая свои морфоструктурные показатели в зависимости от агрессивности её окружающих газовой смеси. Поэтому признаки по дефектному строению пыльцы были положены в основу первого блока характеристик для обнаружения локалитетов потенциальной генотоксичности в Донбассе. Метод реализован в полевых условиях для родов растений: *Berteroa* (L.) DC., *Brassica* L., *Bromopsis* (Leys.) Holub, *Bromus* L., *Calamagrostis* (L.) Roth, *Capsella* (L.) Medik., *Chelidonium* L., *Convolvulus* L., *Dactylis* L., *Digitaria* (L.) Scop., *Diplo-taxis* (L.) DC., *Elytrigia* L., *Diplo-taxis* (L.) DC., *Euphorbia* Neck., *Reseda* L., *Sin-apis* L., *Sisymbrium* (Murray) Roth, *Thlaspi* L., *Senecio* L. (первой половины вегетационного сезона) и *Ambrosia* L., *Artemisia* L., *Atriplex* L., *Centaurea* Lam., *Chenopodium* L., *Cichorium* L., *Cirsium* (L.) Scop., *Cyclachaena* (Nutt.) Fresen., *Echium* L., *Galinsoga* Cav., *Grindelia* (Purch) Dunal, *Hyoscyamus* L., *Lactuca* (L.) C. A. Mey., *Melilotus* (L.) Pall., *Plantago* L., *Polygonum* L., *Stenactis* Nees., *Tri-pleurospermum* (L.) Sch. Bip. второй половины вегетационного сезона [11].

При подготовке картографического материала (рис. 1) были выделены зоны с показателем индекса дефектной пыльцы в процентном соотношении к нормальной – более 17% из общей выборки палиносорбов. Порог идентификации установлен эмпирически при допущении ценопопуляционной нормы до 7–10% общего объема данных.

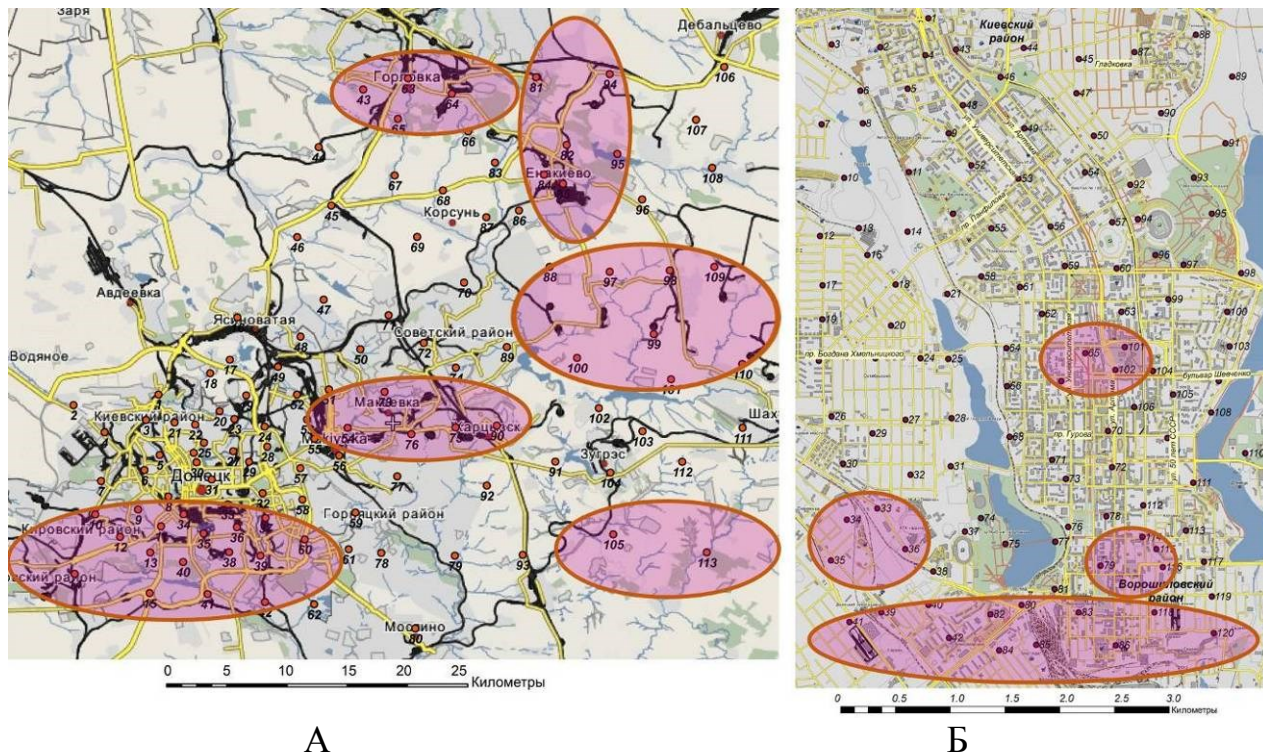


Рис. 1. Распределение очагов потенциальной генотоксичности среды по палинологическим данным на территории Центрального Донбасса (А) и фрагмента центральной части г. Донецка (Б)

Методика работы с пыльцевым материалом и учет нетипичных проявлений в нём, а также при статистическом учёте эмбриотоксического эффекта как частоты встречаемости тератологической схизокотилии видов-индикаторов из числа цветковых растений и их aberrантных семязачатков описана ранее [12]. Она была использована в определении потенциальной генотоксичности природных сред и по эмбриотропному критерию фитомониторинга.

Для картографирования (рис. 2) выделяли территории ареальным способом очерчивания в зависимости от регистрации в мониторинговых точках (113 учетных площадок по всей территории Донбасса и дискретных 120 точек – для фрагмента центральных районов г. Донецка) эмбриотоксических эффектов у *Amaranthus retroflexus* L., *Atriplex patula* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Centaurea diffusa* Lam., *Dactylis glomerata* L., *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Echium vulgare* L., *Plantago lanceolata* L., *Polygonum aviculare* L., *Reseda lutea* L., *Senecio vulgaris* L., *Sisymbrium polymorphum* (Murray) Roth, *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. Пороговым значением для установления генотоксичности по эмбриотропному критерию было эмпи-

рически установлено 16% от анализа всей выборки растений конкретной учетной площадки. При этом значения менее 10% по анализируемому признаку были оценены как ценотическая норма для исследуемой местности. Шкала оценки для всей территории Центрального Донбасса (рис. 2. А) и исключительно урбанизированных территорий (рис. 2. Б) была унифицирована.

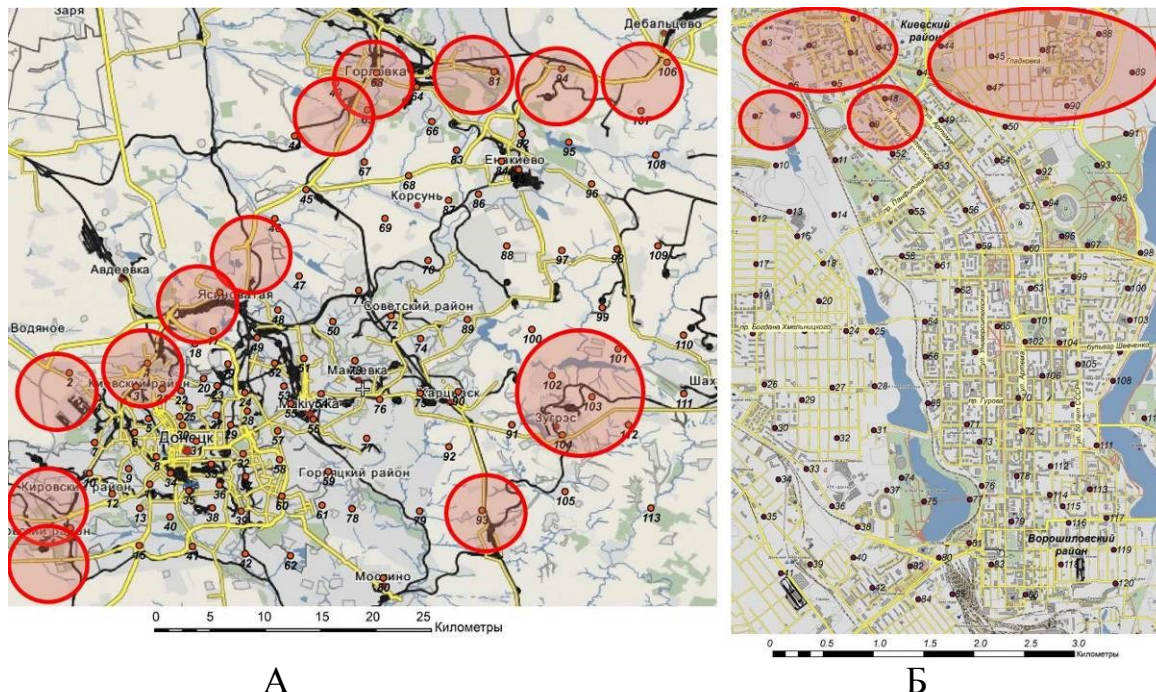


Рис. 2. Распределение очагов потенциальной генотоксичности среды по фитоэмбриотропным данным на территории Центрального Донбасса (А) и фрагмента центральной части г. Донецка (Б)

Несмотря на то, что оба блока критериев (по пыльце и атипичности зародышей) теоретически формируют потенциал для учёта генотоксичности, картографические сведения имеют различный «узор» распределения значений, который, безусловно, нуждается в функциональном осмыслении. Общность обоих совокупных признаков отмечается на отдельных участках урбанизированных экотопов (например, в городах Донецке, Макеевке, Горловке, Енакиево), что для всех вовлеченных в анализ параметров логично с точки зрения не только урбанизации, но и локализации источников промышленных эмиссий металлургического и горнодобывающего циклов производства. Возможно, что данные о пыльцевых критериях нуждаются в детализации на цитогенетическом уровне, включающем молекулярную диагностику, которую провести в современных условиях при отсутствии научно-технической базы в регионе не представляется возможным.

Система распределения повышенных значений тератных структур зародышевого аппарата растений-индикаторов на 95% отражает современную ситуацию по воздействию на экосистемы вдоль линии непосредственного соприкосновения с активными боевыми действиями на территории Донбасса. Следовательно, функционально такой критерий более информативен для ин-

дикации полемостресса (фактора войны), а также, по-видимому, плотнее сопряжён с токсичностью более консервативной природной среды (по сравнению с воздушной) – эдафическим горизонтом корнеобитания используемых в мониторинге растительных объектов.

Очаги генотоксичности были названы новыми (нео-очаги), поскольку в представленных картографических материалах размещены результаты 2022–2023 гг. исследований. Для этого периода в регионе были зафиксированы радикально новые сценарии геохимической миграционной активности [10] по сравнению с осуществляющимися ранее [9].

Рабочая гипотеза по обособлению признаков потенциальной генотипической идентификации в фитомониторинге Донбасса сформулирована впервые.

Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ НИОКТР 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;-1.6.12), а также инициативной темы кафедры ботаники и экологии ДонГУ «Ботаника антропогенеза: индикация и оптимизация».

Библиографический список

1. Ашихмина Т. Я., Огородникова С. Ю. XVIII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Экология родного края: проблемы и пути их решения» // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 219–220.

2. Ермаков В. В. Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы // Геохимия. 2015. № 3. С. 203–221.

3. Genotoxicity testing and biomarker studies on surface waters: an overview of the techniques and their efficacies / S. Tabrez, S. Shakil, M. Urooj et al. DOI: 10.1080/10590501.2011.601849 // J. Environ. Sci. Health C Environ. Carcinog. Ecotoxicol. Rev. 2011. Vol. 29. No. 3. P. 250–275.

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. Elevated somatic mutation and evidence of genomic instability in veterans with Gulf War illness / S. G. Grant, O. M. Ibrahim, X. L. Jin et al. DOI: 10.1016/j.lfs.2021.119746 // Life Sci. 2021. Vol. 281. Article No. 119746.

6. Mutagenicity monitoring following battlefield exposures: Longitudinal study of HPRT mutations in Gulf War I veterans exposed to depleted uranium / R. J. Albertini, P. M. Vacek, E. W. Carter et al. // Environ. Mol. Mutagen. 2015. Vol. 56. No. 7. P. 581–593.

7. Мирненко Н. С., Сафонов А. И. Пыльца как тест-система индикации неблагоприятной городской среды (на примере г. Донецка) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 3. С. 12–17.

8. Сафонов А. И. Функциональная значимость меристем растений-индикаторов в биодиагностике природных сред // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров, 25 ноября 2021 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 10–13.

9. Морфогенетические аномалии бриобионтов в условиях геохимически контрастной среды Донбасса / А. И. Сафонов, А. С. Алемасова, И. И. Зиньковская и др. DOI: 10.31857/S0016752523100114 // Геохимия. 2023. Т. 68. № 10. С. 1032–1044.

10. Neutron activation analysis of rare earth elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the diagnosis of ecosystems of Donbass / I. Zinicovscaia, A. Safonov, A. Kravtsova et al. DOI: 10.1134/S1547477124020158 // Phys. Part. Nuclei Lett. 2024. Vol. 21. No. 2. P. 186–200.

11. Сафонов А. И. Эколого-палинологическая ситуация в Донбассе (2014–2020 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 1–2. С. 32–38.

12. Сафонов А. И. Аномалии эмбриональных структур растений-индикаторов Донбасса // Разнообразие растительного мира. 2022. № 3 (14). С. 5–18.

ВЛИЯНИЕ МИКРОПЛАСТИКА НА ЖИЗНЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И УСТОЙЧИВОСТЬ К МЕДИ ПРЕСНОВОДНЫХ РАКООБРАЗНЫХ *DAPHNIA MAGNA*: ЭФФЕКТЫ В РЯДУ ПОКОЛЕНИЙ ПОСЛЕ КРАТКОВРЕМЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

А. Н. Рак, Д. М. Гершкович

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, rakannbio@ya.ru, papirus451@yandex.ru*

В статье представлены результаты оценки эффекта кратковременного воздействия частиц полимерных материалов на пресноводных ракообразных в ряду поколений. Выявлено негативное воздействие на жизненные показатели, отмечен протекторный эффект микропластика в виде повышения устойчивости к токсическому эффекту меди.

Ключевые слова: биотестирование, микропластик, медь, протекторный эффект, *Daphnia magna* Straus.

Загрязнение окружающей среды пластиковым мусором является необратимой и глобальной по масштабам проблемой для экосистем и здоровья человека. Особую озабоченность вызывают мелкие частицы пластика, образующиеся при разложении более крупного мусора, так называемые вторичные микропластики (МП). Опубликованные исследования показали, что частицы МП (размер от 0,1 мкм до 5 мм) широко распространены в водных экосистемах [1]. Частицы МП, чьи размеры сопоставимы с естественными пищевыми частицами, могут поглощаться планктонными организмами, играющими ключевую роль в водных пищевых цепях. Также стоит учитывать большое отношение площади поверхности частиц МП к их объёму и их физико-химические свойства, способствующие накоплению и переносу загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы и стойкие токсические соединения [2]. Таким образом, необходимо понимание долгосрочных комбинированных эффектов МП и загрязняющих веществ, связанных с МП, для оценки фактических экологических рисков, связанных с загрязнением водной среды.

По данным литературы известно о побочных эффектах от воздействия МП на *Daphnia magna* Straus, таких как иммобилизация, гибель и аномальное эмбриональное развитие [3]. Однако только несколько работ посвящены вли-

янию МП на несколько поколений и восстановление организмов после воздействия МП [4].

В нашей работе мы использовали в качестве тест-организмов пресноводных ракообразных *D. magna*. Был проведен хронический тест с оценкой выживаемости и плодовитости особей на протяжении четырех поколений (F0–F3) [5]. Полимерные волокна для проведения опыта были получены из отобранных образцов пластикового мусора супралиторали Баренцева моря в августе 2020 года. В работе были использованы образцы EPS (Expanded Polystyrene) – вспененный полистирол (упаковочный материал). Вторичный МП был получен из макро-образцов с использованием абразива и сита из нержавеющей стали с размером ячеек 300 мкм, затем частицы были отделены от остатков абразивного материала методом плотностной сепарации в дистиллированной воде и высушены. В качестве контрольных образцов для установления зависимости действия полимера, не подверженного биологическим и химическим воздействиям окружающей среды, был использован интактный образец соответствующего материала (первичный МП). Дафнии исходного поколения (F0), полученные из синхронизированной лабораторной культуры, были разделены на 6 групп, в период до появления первого помёта они подвергались воздействию МП и токсиканта (табл. 1). Начиная с первого помёта из экспериментальной среды удалялся МП. В своём исследовании мы предполагаем, что загрязнение медью в природных водах чаще носит долговременный характер, в то время как высокие концентрации МП в водной среде непостоянны.

Таблица 1

Условия проведения хронического опыта для выявления последствий кратковременного воздействия частиц МП

| Поколение | F0 до первого помёта | | F0 после первого помёта, F1-F3 | |
|-----------|------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| | МП | Cu | МП | Cu |
| Контроль | – | – | – | – |
| 1 | первичный EPS, 50 мг/л | – | – | – |
| 2 | вторичный EPS, 50 мг/л | – | – | – |
| 3 | – | 0,05 мг/л | – | 0,05 мг/л |
| 4 | первичный EPS, 50 мг/л | 0,05 мг/л | – | 0,05 мг/л |
| 5 | вторичный EPS, 50 мг/л | 0,05 мг/л | – | 0,05 мг/л |

Полученные результаты представлены в таблице 2. Оценивая плодовитость, можно отметить, что у самок, происшедших от тех, которые подвергались в F0 воздействию как первичного, так и вторичного МП, отмечается восстановление показателей плодовитости – после воздействия первичного МП в F1, а вторичного МП в F2. В то же время, стоит обратить внимание на тот факт, что после воздействия вторичного МП в поколениях F1 и F2 наблюдается увеличение сроков появления первого помёта. При рассмотрении групп, которые в начале эксперимента подвергались комбинированному воздействию МП и ионов меди, стоит отметить некоторый протекторный эффект начиная с поколения F2, подчеркнем, что этот эффект проявляется уже после

удаления из среды частиц МП, которые теоретически могли адсорбировать ионы меди и понизить их биодоступность для дафний. Рассматривая показатель продолжительности жизни, можно отметить, что его восстановление в группах 1 и 2 наступает только в поколении F3, что не соответствует срокам восстановления плодовитости. В группах, инкубируемых в присутствии ионов меди, отмечается снижение показателя продолжительности жизни в течение всех наблюдаемых поколений. Однако в группах, которые на ранних сроках инкубировались в присутствии МП, его снижение заметно ниже.

Таблица 2

Биологические показатели ряда поколений *D. magna* в средах с содержанием разных типов МП в концентрации 50 мг/л и добавлением меди (0,05 мг/л) до и после отмывки от МП

| Параметр | Контроль | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------------------------------------|----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Поколение | Срок появления первого помёта, сутки | | | | | |
| F0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| F1 | 6 | 6 | 11 | 6 | 6 | 6 |
| F2 | 10 | 8 | 13 | 15 | 10 | 10 |
| F3 | 7 | 7 | 7 | 14 | 10 | 7 |
| Средняя суммарная плодовитость, особей/самку ± SD | | | | | | |
| F0 | 36,10 ±1,71 | 44,67 ±2,08 | 42,60 ±2,26 | 35,12 ±3,46 | 47,93 ±1,40 | 35,97 ±2,90 |
| % от контроля | | 124 | 118 | 97 | 133 | 110 |
| F1 | 53,00 ±3,85 | 53,57 ±3,63 | 34,04 ±1,31 | 14,44 ±2,21 | 14,18 ±1,81 | 22,98 ±2,70 |
| % от контроля | – | 101 | 64 | 27 | 27 | 43 |
| F2 | 35,85 ±2,44 | 32,37 ±1,81 | 30,93 ±1,75 | 10,00 ±10,0 | 30,00 ±2,70 | 43,03 ±5,82 |
| % от контроля | – | 90 | 86 | 28 | 84 | 120 |
| F3 | 57,09 ±2,71 | 56,63 ±1,17 | 53,35 ±2,18 | 1,50 ±0,76 | 28,86 ±4,47 | 29,42 ±9,41 |
| % от контроля | – | 99 | 94 | 4 | 51 | 52 |
| Суммарная продолжительность жизни, дафния-дни | | | | | | |
| F0 | 660 | 660 | 649 | 600 | 610 | 620 |
| F1 | 660 | 660 | 660 | 274 | 310 | 366 |
| F2 | 640 | 491 | 484 | 29 | 215 | 208 |
| F3 | 642 | 652 | 634 | 50 | 196 | 149 |

Примечание: жирным шрифтом выделены статистически значимые отличия (Даннет-тест, $p < 0,05$).

В литературе на данный момент недостаточно данных для проведения сравнения полученных результатов. Можно отметить лишь несколько работ близких по содержанию. Так, Martins [4] и коллеги, проводя исследование влияния первичных МП (сферические частицы с диаметром 1–5 мкм, концентрация в среде 0,1 мг/л) выявили значительные изменения в плодовитости дафний, восстановление показателя произошло в поколении F3. Ещё одна работа, описанная С. Schür и др. [6], проводилась без удаления из среды частиц полистирола на протяжении четырех поколений (использовался первичный

МП, размер частиц – не более 63 мкм, концентрация – 2–10 тыс. частиц/мл). В работе авторы отмечают снижение плодовитости особей и полное вымирание популяции к 1–3 поколению. На момент написания работы не найдено публикаций, в которых оценивались бы последствия кратковременного влияния комбинации МП + тяжелый металл.

Рассуждая о причинах повышения устойчивости дафний к воздействию меди после инкубации с МП, необходимо обратиться к работе, в которой оценивалось влияние МП на протеомном уровне. Используя подход, основанный на масс-спектрометрии, группой исследователей был идентифицирован 41 белок, количество которого значительно увеличивалось после воздействия полистирола. В том числе было обнаружено увеличение нескольких белков, связанных с защитными механизмами от токсических веществ [7].

Результаты настоящего исследования показывают, что даже кратковременное воздействие МП на популяцию планктонных организмов может вызвать негативные последствия, устранение которых может происходить вплоть до третьего поколения. Смягчение воздействия ионов тяжелых металлов в присутствии МП может снизить эффективность проведения экологического мониторинга.

Библиографический список

1. Duis K., Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. DOI: 10.1186/s12302-015-0069-y // Environ. Sci. Eur. 2016. Vol. 28. Article No. 2.
2. Holmes L. A., Turner A., Thompson R. C. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.08.052 // Environ. Pollut. 2012. Vol. 160. No. 1. P. 42–48.
3. Size-dependent chronic toxicity of fragmented polyethylene microplastics to *Daphnia magna* / D. An, J. Na, J. Song, J. Jung. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.129591 // Chemosphere. 2021. Vol. 271. Article No. 129591.
4. Martins A., Guilhermino L. Transgenerational effects and recovery of microplastics exposure in model populations of the freshwater cladoceran *Daphnia magna* Straus. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.054 // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 631–632. P. 421–428.
5. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : утв. приказом Росрыболовства № 695 от 04.08.2009 [Электронный ресурс]. – URL: <https://sudact.ru/law/prikaz-rosrybolovstva-ot-04082009-n-695-ob/metodicheskie-ukazaniia-po-razrabotke-normativov/> (дата обращения: 23.03.2024).
6. Microplastics but not natural particles induce multigenerational effects in *Daphnia magna* / C. Schür, S. Zipp, T. Thalau, M. Wagner. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113904 // Environ. Pollut. 2020. Vol. 260. Article No. 113904.
7. Long-term exposure of *Daphnia magna* to polystyrene microplastic (PS-MP) leads to alterations of the proteome, morphology and life-history / B. Trotter, M. V. Wilde, J. Brehm et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148822 // Sci. Total Environ. 2021. Vol. 795. Article No. 148822.

ЗАМЕДЛЕННАЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ В ОЦЕНКЕ ТОКСИЧНОСТИ НЕПРОЗРАЧНЫХ СРЕД ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ НА РОСТ ВОДОРΟΣЛИ ХЛОРЕЛЛА

М. В. Карпов, Ю. С. Григорьев

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия,
karpov1498@mail.ru, gr2897@gmail.com*

В статье представлены данные о влиянии непрозрачных и окрашенных водных сред на интенсивность замедленной флуоресценции при определении концентрации тест-культуры водоросли хлорелла в токсикологическом эксперименте. Проведено сравнение способов определения токсичности таких сред с использованием оптической плотности и замедленной флуоресценции. Показана возможность определения содержания клеток водоросли в окрашенных пробах посредством регистрации замедленной флуоресценции.

Ключевые слова: биотестирование, замедленная флуоресценция, *Chlorella vulgaris*, непрозрачные водные среды, оптическая плотность, метод биотестирования.

Для оценки загрязнения объектов окружающей среды часто используют метод биотестирования [1]. При этом объектами исследования могут являться почвы, отходы или сточные воды, которые после пробоподготовки часто имеют цвет и содержат трудноудаляемые взвешенные частицы. Использование величины прироста хлореллы, определяемого по изменению оптической плотности, при анализе на токсичность непрозрачных сред встречает значительные трудности [2, 3]. Одним из способов решить данную проблему может стать применение для этих целей замедленной флуоресценции (ЗФ), интенсивность которой в меньшей степени зависит от количества взвешенных частиц в пробе и ее окраски [2].

В связи с этим, целью данной работы является исследование возможности использования замедленной флуоресценции при определении количества клеток тест-культуры водоросли в непрозрачных водных средах при проведении биотестирования.

В качестве тест-объекта использовалась лабораторная культура водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer. Культура водоросли выращивалась при постоянной температуре 36 °С и интенсивности света 60 Вт/м² в культиваторе КВ-08 в соответствии с методикой, разработанной в Сибирском федеральном университете [3]. При выращивании культуры использовалась 50% питательная среда Тамия.

В качестве тестируемых проб были взяты почвенные образцы, которые отличались окраской и структурой. Пробы 1, 2 и 4, отобранные с верхнего горизонта, имели черный цвет, у образца 3, взятого с большей глубины окраска была более светлая, характерная суглинистому горизонту.

Для получения вытяжки проба массой 20 г помещалась в емкость объемом 400 мл с 200 мл дистиллированной воды. Емкость устанавливалась на 2 часа в культиватор КВ-05 и вращалась для перемешивания содержимого со скоростью 100 об/мин. Для исключения нагрева пробы и светового воздействия на нее, источник света в культиваторе в это время отключался. Далее смесь фильтровалась через марлевый фильтр и центрифугировалась в течение пяти минут при 4500 об/мин. После этого для проведения эксперимента готовились разбавления супернатанта, для получения образцов с разной степенью окраски и мутности.

Все варианты тестируемой пробы помещались в культиватор КВМ-05, где происходило наращивание хлореллы до оптической плотности $0,150 \pm 20\%$ в течении 22 часов в 2% среде Тамия при засеве 0,005 единиц. Одновременно в культиватор загружались флаконы с пробами, в которые клетки водоросли не вносились. По окончании экспозиции измерялась оптическая плотность проб с помощью прибора ИПС-03 и интенсивность замедленной флуоресценции на приборе Фотон-10. Все используемые приборы производства ООО «СФУ-Система» (г. Красноярск).

В отдельных опытах проводились измерения интенсивности замедленной флуоресценции суспензии водоросли, вносимой в одинаковых объемах в вытяжки разной степени непрозрачности.

Используемые показатели замедленной флуоресценции для данной работы взяты из методики биотестирования проб по изменению относительного показателя замедленной флуоресценции (ОПЗФ) [4]. Наряду с ОПЗФ в работе особое внимание было уделено величине послесвечения, возбуждаемого светом высокой интенсивности (ЗФв), как показателю количества клеток водоросли.

В опыте по определению количества хлореллы в непрозрачной вытяжке из пробы сначала готовились ее разбавления кратные двум. Степень мутности суспензии оценивалась по величине оптической плотности пробы. Таким образом, в результате разбавления особо мутной вытяжки были подготовлены образцы с оптической плотностью равной 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 и 1,6. В эти образцы вносился одинаковый объем суспензии водоросли хлорелла. В первом варианте опытов в кюветы объемом 5 мл добавлялось по 0,1 мл такой концентрации хлореллы, чтобы после смешивания с пробой оптическая плотность хлореллы в кювете составляла 0,020 единиц. Во втором варианте в кюветы с пробами вносилась более концентрированная суспензия для получения оптической плотности 0,160. После этого проводился замер интенсивности ЗФв в пробах, результаты которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Значения показателя замедленной флуоресценции (ЗФв, отн. ед.)
хлореллы с оптической плотностью 0,020 и 0,160
и его отклонения от контроля (%) в пробах разной мутности**

| D | Образец № 1 | | Образец № 2 | | Образец № 3 | | Образец № 4 | |
|----------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| | ЗФв | отклоне- ние от контроля | ЗФв | отклоне- ние от контроля | ЗФв | отклоне- ние от контроля | ЗФв | отклоне- ние от контроля |
| Оптическая плотность 0,020 | | | | | | | | |
| 0* | 1687 | – | 1885 | – | 1949 | – | 1591 | – |
| 0,1 | 1667 | 1,2 | 1840 | 2,4 | 1949 | 0,0 | 1511 | 5,0 |
| 0,2 | 1648 | 2,3 | 1810 | 4,0 | 1923 | 1,4 | 1571 | 1,3 |
| 0,4 | 1606 | 4,8 | 1719 | 8,8 | 1936 | 0,7 | 1505 | 5,4 |
| 0,8 | 1511 | 10,5 | 1620 | 14,1 | 1929 | 1,1 | 1359 | 14,5 |
| 1,6 | 1360 | 19,4 | 1380 | 26,8 | 1945 | 0,2 | 1205 | 24,3 |
| Оптическая плотность 0,016 | | | | | | | | |
| 0* | 1792 | – | 1721 | – | 2045 | – | 1630 | – |
| 0,1 | 1734 | 3,2 | 1661 | 3,5 | 1995 | 2,5 | 1603 | 1,7 |
| 0,2 | 1720 | 4,0 | 1643 | 4,5 | 1996 | 2,4 | 1616 | 0,9 |
| 0,4 | 1664 | 7,2 | 1593 | 7,5 | 1949 | 4,7 | 1546 | 5,2 |
| 0,8 | 1571 | 12,4 | 1476 | 14,3 | 1957 | 4,3 | 1437 | 11,9 |
| 1,6 | 1401 | 21,8 | 1290 | 25,0 | 1939 | 5,2 | 1278 | 21,6 |

Примечание: D – оптическая плотность пробы, * – контроль.

Опыт с добавлением равного количества хлореллы в дистиллированную воду и супернатантов с разными концентрациями взвешенных частиц показал достаточно близкие значения замедленной флуоресценции. Исключение составили пробы с очень высокой мутностью, в которых снижение уровня ЗФ относительно контроля в вытяжках из темных проб почвы № 1; 2 и 4 составило 20–25%. При этом в вытяжке № 3 из более светлой пробы, подавление сигнала практически отсутствовало.

Далее был проведен 22-х часовой эксперимент с теми же образцами для выявления влияния мутности на рост хлореллы. Согласно методике, определение количества хлореллы по оптической плотности в непрозрачных средах проводится посредством вычитания оптической плотности варианта с засевом хлореллы варианта без нее [4]. Для исключения влияния изменения объема, светового облучения и температуры (36 °С) проб во время экспозиции культивирования, пробы без засева хлореллы были также помещены в КВМ-05. После 22-х часов выращивания сначала производился замер оптической плотности проб, а затем замерялся показатель замедленной флуоресценции. Полученные данные представлены в таблице 2.

**Показатели замедленной флуоресценции и оптической плотности
в 22-часовом эксперименте**

| Номер образца | Оптическая плотность пробы без засева хлореллы | Оптическая плотность пробы с засевом хлореллы | Оптическая плотность прироста хлореллы* | Отклонение от контроля, % | ЗФв (22 ч) | Отклонение от контроля, % |
|---------------|--|---|---|---------------------------|------------|---------------------------|
| Дист. вода | 0 | – | 0,143 | – | 1796 | – |
| 1 | 0,444 | 0,593 | 0,149 | -4,4 | 1847 | -2,8 |
| 2 | 0,436 | 0,563 | 0,127 | 11,5 | 1521 | 15,3 |
| 3 | 0,443 | 0,573 | 0,130 | 9,4 | 1637 | 8,8 |
| 4 | 0,344 | 0,455 | 0,111 | 22,7 | 1440 | 19,8 |

Примечание: * – определялась как разница в оптической плотности проб с водорослью и без нее.

Сравнивая результаты, можно отметить, что отклонения от контроля в одинаковых пробах по показателям оптической плотности и ЗФ примерно равны. Максимальное отклонение наблюдается в наиболее темном образце 4, где оба показателя ниже контроля примерно на 20%. В этой ситуации нельзя исключать тот факт, что частично такие отклонения в мутных пробах могут быть обусловлены снижением в них светового облучения тест-культуры водоросли в период ее роста в культиваторе.

Таким образом, проведенные исследования показали высокую эффективность использования замедленной флуоресценции при проведении биотестирования мутных и окрашенных проб по воздействию токсикантов на прирост тест-культуры. Использование показателя замедленной флуоресценции позволяет достаточно надежно определять содержание клеток водоросли в мутных пробах, в том числе и благодаря тому, что сами взвешенные вещества имеют очень низкий уровень послесвечения.

Библиографический список

1. Олькова А. С., Будина Д. В., Даровских Л. В. Анализ результатов биотестирования: особенности, проблемы, подходы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 680–686.
2. Григорьев Ю. С. Методы биотестирования токсичности мутных и окрашенных водных сред // Методы оценки биологической активности гуминовых продуктов : материалы VII Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Д. С. Орлова и III Междунар. науч. школы (г. Москва, 4–8 декабря 2018 г.). М. : МАКС Пресс, 2018. С. 143–144.
3. ПНД ФТ 14.1:2:3:4.10-04, Т 16.1:2:2.3:3.7-04. Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных, природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. М., 2014. 35 с.

4. Пат. 2 482 474. РФ, МПК G01N 33/00 (2006.01). Способ биотестирования токсичности вод и водных растворов : № 2011102403/15 : заявл. 21.01.2011 : опубл. 20.05.2013 / Григорьев Ю. С., Андреев А. А., Кравчук И. С., Гекк П. И. 8 с.

ВЫБОР ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОГО ФИТОМОНИТОРИНГА ДОНЕЦКО-МАКЕЕВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Ю. С. Калинина

*Донецкий государственный университет,
г. Донецк, Россия, yu.kalinina91@mail.ru*

На основании эмпирических данных о состоянии экотопов Донецко-Макеевской урбогеосистемы и инвентаризации элементов сорно-рудеральной фракции региональной флоры выбраны модельные виды для проведения многокомпонентного эколого-токсикологического фитомониторинга. Составлена блок-схема методических подходов в реализации программы экологического мониторинга в Донбассе с помощью высших растений.

Ключевые слова: Донбасс, биотестирование, экологический мониторинг, оценка состояния среды, фитоиндикация.

Система наблюдения, оценки, прогноза и способов управления является базовой в реализации экологического мониторинга как на государственном уровне, так и в общественных экспертизах, что на современном этапе востребовано для территории донецкого экономического региона. Уже более 20 лет в Донецком государственном университете развивается научное направление фитоиндикационного мониторинга [1].

Цель работы – обобщить данные полевого эксперимента по учёту видов-индикаторов на территории Донецко-Макеевской агломерации для реализации программы токсикологического эксперимента в оценке природных и антропогенно трансформированных экосистем.

Среди многочисленных возможностей биомониторинговых подходов [2] использование высших растений имеет ряд преимуществ в связи с их широкой экологической амплитудой и точной фиксацией гелокалитета при получении данных. Используются методические разработки фитоиндикационного содержания для территории Донецка и региона в целом [3, 4]. Выбраны принципы организации мониторинговых исследований эколого-токсикологического характера для крупных городов и мест высокого промышленного импакта [5, 6]. Полученные сведения согласованы с актуальной информацией о состоянии экосистем городов Донецка и Макеевки в индикационном аспекте с использованием высших растений [7, 8].

В качестве рабочей гипотезы для формирования целевого назначения выбрана установка, что патологии видов растений, имеющих высокие харак-

теристика устойчивости при сохранении ценопопуляционных структур в местах глубоких антропогенных трансформаций, проявляются в большей степени при возрастании уровня токсического напряжения в природных средах. При этом фактор механической трансформации ландшафтов должен быть унифицирован для сбора образцов в учетных площадках. Из жизненных форм растений выбраны травянистые, имеющие высокие показатели встречаемости, частую смену генераций и доступность в обработке полученной информации.

Сформированная блок-схема (рис.) объединяет методологический аспект в реализации фитомониторинговой программы, где учтены апробированные способы идентификации фитопатологий, а также разграничены варианты осуществления эксперимента в лабораторных условиях и условиях открытых природно-территориальных комплексов.



Рис. Блок-схема системы организации регионального экологического мониторинга с использованием высших растений

В характеристике сфер применимости регионального токсикологического фитомониторинга (рис.) указаны этапы и аспектные назначения в зависимости от способов использования полученной информации о состоянии среды в урбогеосистеме.

В результате проведенных скрининговых работ выделены виды растений, имеющих более успешное применение в следующих направлениях токсикологического фитомониторинга:

– изучение общего габитуального тератогенеза растений-индикаторов *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Centaurea diffusa* Lam., *Cichorium intybus* L., *Echium vulgare* L., *Reseda lutea* L., *Senecio vulgaris* L., *Tanacetum vulgare* L., *Tragopogon major* Jacq., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. (по надземной части характера побегообразования и макро-деформации соцветий);

– установление потенциальной мутагенности среды по данным палинологического эксперимента с использованием тест-систем видов *Centaurea diffusa* Lam., *Cichorium intybus* L., *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Echium vulgare* L., *Senecio vulgaris* L.;

– сбор характеристик семенного материала *Berteroa incana* (L.) DC., *Centaurea diffusa* Lam., *Cichorium intybus* L., *Plantago major* L., *Reseda lutea* L., *Senecio vulgaris* L., *Tanacetum vulgare* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. для установления эмбриотропности или карпологической гетерогенности растений в разных учетных площадках;

– установление характера деформации поверхностных структур вегетативных органов растений *Berteroa incana* (L.) DC., *Cichorium intybus* L., *Echium vulgare* L., *Plantago major* L., *Tragopogon major* Jacq., (характер опушения, уровень и способы кутикулярных отложений, характер клеток поверхностей листа и стебля) в межфазном переходе «воздух – растение»;

– виды растений для фитотестирования образцов эдафической среды в лабораторных условиях: *Berteroa incana* (L.) DC., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Diplotaxis muralis* (L.) DC.

В фитодиагностике уровня токсичности среды рекомендовано также использовать мохообразные растения часто встречающиеся в районе исследования: *Amblystegium subtile* (Hedw.) Schimp., *Brachythecium campestre* (Müll.Hal.) Bruch et al., *Bryum argenteum* Hedw., *Bryum caespiticium* Hedw., *Bryum capillare* Hedw., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid, *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Schimp.

Токсикологический эксперимент в условиях городской среды на примере крупной агломерационной системы в Донбассе может быть организован по данным фитомониторинга указанных видов при условии корреляционного анализа между показателями структурной гетерогенности видов и их ингредиентного состава в комплексе оценки состояния природных систем.

Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ НИОКТР 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12), а также инициативной темы кафедры ботаники и экологии ДонГУ «Ботаника антропогенеза: индикация и оптимизация».

Библиографический список

1. Глухов А. З. Перспективы проведения фитоиндикационного мониторинга техногенно трансформированных экотопов // Промышленная ботаника. 2002. Т. 2. С. 7–14.
2. Концептуальные подходы к нормированию в системе экологического биомониторинга / С. В. Беспалова, О. С. Горецкий, А. З. Злотин и др. // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2013. № 1. С. 8–15.
3. Safonov A. I. Phytoindicational monitoring in Donetsk // World Ecology Journal. 2016. Vol. 6. No. 4. P. 59–71.
4. Safonov A. I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region // Problems of Ecology and Nature Protection of Technogenic Region. 2013. No. 1. P. 52–59.

5. Опыт ведения токсикологического мониторинга в Москве / Н. В. Завьялов, Ю. Н. Остапенко, Е. Л. Скворцова, В. А. Силаев // Гигиена и санитария. 2009. № 6. С. 69–71.

6. Острые отравления химической этиологии в промышленном городе. Современное состояние, динамика и прогноз / Б. И. Марченко, Л. А. Дерябкина, О. А. Нестерова, К. С. Тарасенко // Здоровье населения и среда обитания. 2023. Т. 31. № 11. С. 33–41.

7. Мирненко Н. С. Пыльца как тест-система индикации неблагоприятной городской среды (на примере г. Донецка) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 3. С. 12–17.

8. Калинина А. В. Травянистые фитоценозы придорожной территории г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 3. С. 6–11.

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИЙ РТУТИ В ПОЧВЕ И ЛИСТЬЯХ БЕРЕЗЫ СУБАРКТИЧЕСКОЙ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

А. С. Денисова^{1,2}, А. В. Горбунов¹, Д. Б. Петренко^{1,2}, Б. В. Ермолаев¹

¹ *Геологический институт Российской академии наук, г. Москва, Россия,
anatolygor@yandex.ru,*

² *Государственный университет просвещения, г. Москва, Россия,
CheprasovaAS@yandex.ru*

В статье представлены результаты оценки уровней накопления ртути в почвах и листьях березы субарктической (*Betula subarctica*) в зоне воздействия рудников и апатитонепелиновых обогатительных фабрик в районе городов Апатиты и Кировск Мурманской области. Установлено, что концентрации ртути в почвах и в листьях березы субарктической на территории гг. Кировска и Апатиты укладываются в понятие фоновых содержаний. Повышенные относительно кларковых концентрации ртути в почвах имеют локальный характер и приурочены к путям транспортировки грузов по железным дорогам.

Ключевые слова: ртуть, почва, листья березы, апатит-нефелиновые руды, Кольский полуостров, атомно-абсорбционный анализ, рентгенофлуоресцентный анализ.

Размещение большого числа промышленных предприятий в центральной части Мурманской области (гг. Кировск, Апатиты, Мончегорск, Оленегорск, пос. Ревда и др.) привело к существенному загрязнению поверхностных вод, почв и атмосферного воздуха в этом регионе [1–3]. Среди приоритетных элементов-токсикантов для данного региона рассматриваются S, Zn, Ni, Cu, Sr, Cr и Co, содержащиеся в добыче и переработке медно-никелевых, железных и апатит-нефелиновых руд [4].

Сравнительно недавно установлено, что в результате деятельности предприятий апатитонепелинового и медно-никелевого производств проис-

ходит существенное поступление ртути в озерно-речную систему: озеро Большой Вудъявр – река Большая Белая – озеро Имандра [5]. При этом, как основной источник ртути рассматривается применение гремучей ртути в капсулах-детонаторах при производстве взрывных работ на первых этапах разработки апатитонегелиновых месторождений.

Вопрос о накоплении ртути в почвах и растительном покрове на территории гг. Кировск и Апатиты практически не изучен. Широкое распространение березы среди других древесных растений данного региона дает возможность использовать ее как биоиндикатор. В целом ряде работ, выполненных в разных климатических зонах, установлено, что в листьях березы в условиях техногенного загрязнения, как правило, увеличивается содержание элементов, которые входят в состав выбросов [6].

Целью настоящей работы явилась оценка уровней накопления ртути в почвах и листьях березы субарктической (*Betula subarctica*) в зоне воздействия рудников и апатитонегелиновых обогатительных фабрик в районе городов Апатиты и Кировск Мурманской области.

Отбор образцов проводился в августе 2023 года. Образцы почвы и листьев березы субарктической отбирали на территории г. Апатиты (7 точек) и г. Кировска (13 точек) (рис. 1).

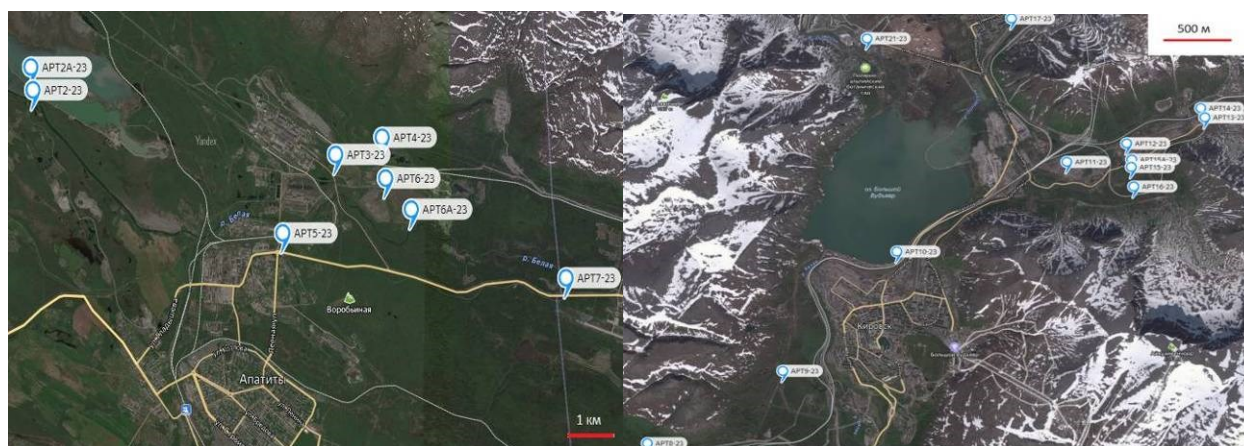


Рис. 1. Схема расположения точек отбора образцов

Отбор проб почвы для анализа осуществляли с глубины 0–5 см в соответствии с рекомендациями, приведенными в источнике [7]. Отбор проб листьев проводили по общепринятым стандартным методикам [8]. Отобранные образцы листьев дважды промывали дистиллированной водой для удаления поверхностного загрязнения. Далее образцы высушивали до постоянной массы при комнатной температуре (20 °С) и измельчали с помощью лабораторной мельницы Stegler LM–250 (Stegler, Китай). Почву также высушивали при комнатной температуре и пропускали через сито с размером ячеек 1 мм.

Анализ образцов осуществлялся в лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН (г. Москва). Для определения концентраций макрокомпонентов в образцах почв был выполнен их рентгенофлуоресцентный анализ с использованием последовательного волнового спектрометра «S8

Tiger» Bruker AXS (Bruker, Германия). Потери при прокаливании (ППП), характеризующие содержание органического вещества, определяли гравиметрическим методом [9]. Определение концентрации ртути проводилось методом атомной абсорбции с «холодным» паром в лаборатории ГИН РАН (г. Москва). Использовался анализатор ртути «РА-915М» с приставкой «ПИРО» (Люмекс, Россия). Контроль качества результатов анализа осуществлялся с помощью анализа стандартных и контрольных образцов, аттестованных на содержание ртути. Предел обнаружения ртути в образцах составлял 2 мкг/кг.

Результаты определения ртути и ряда других компонентов в почвах и листьях березы представлены в таблице.

Таблица

Результаты химического анализа проб почв и листьев березы

| Шифр образца | Листья березы | Почва | | | | |
|--------------------|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Hg | Hg | ППП | Cu | Ni | S |
| | мкг/кг | мкг/кг | % | мг/кг | мг/кг | мг/кг |
| г. Апатиты | | | | | | |
| АРТ-23-2 | 11,7 | 25,9 | 7,01 | 19 | 78 | 531 |
| АРТ-23-3 | 14,0 | 20,2 | 5,74 | 41 | 47 | 578 |
| АРТ-23-4 | 9,5 | 45,6 | 14,99 | 53 | 137 | 1715 |
| АРТ-23-5 | 16,4 | 48,1 | 20,96 | 43 | 103 | 3234 |
| АРТ-23-6 (0-20 см) | 16,6 | 48,0 | 8,45 | 27 | 92 | 1109 |
| АРТ-23-6Б | – | 54,6 | 6,03 | 39 | 102 | 703 |
| АРТ-23-7 | 11,0 | 58,9 | 17,10 | 52 | 114 | 884 |
| г. Кировск | | | | | | |
| АРТ-23-8 | – | 104 | 32,84 | 50 | 119 | 1732 |
| АРТ-23-9 | 16,8 | 17,5 | 4,59 | 16 | 44 | 292 |
| АРТ-23-10 | – | 115 | 9,88 | 72 | 71 | 3294 |
| АРТ-23-11 | 12,0 | 87,6 | 15,35 | 128 | 137 | 4185 |
| АРТ-23-12 | 11,3 | 22,7 | 6,42 | 45 | 65 | 716 |
| АРТ-23-13 | 15,9 | 5,3 | 2,22 | 42 | 43 | 118 |
| АРТ-23-15 | 10,6 | 56,6 | 16,84 | 23 | 72 | 3497 |
| АРТ-23-16 | 10,2 | 180 | 79,77 | 146 | 164 | 10840 |
| АРТ-23-17 | 9,9 | 195 | 54,55 | 89 | 309 | 9769 |
| АРТ-23-18 | 15,7 | 31,9 | 4,97 | 35 | 67 | 933 |
| АРТ-23-19 | 10,1 | 39,3 | 23,98 | 57 | 64 | 2675 |
| АРТ-23-20 | 5,2 | 45,7 | 24,45 | 32 | 73 | 5142 |
| АРТ-23-21 | 9,7 | 23,9 | 6,05 | 51 | 62 | 1534 |

Примечание: – образцы не отбирали.

В целом содержания ртути как в почвах г. Кировска, так и г. Апатиты укладываются в понятие фоновых значений, составляющих 40–400 мкг/кг, при кларке в почвах 70 мкг/кг [6]. Среднее содержание ртути в почвах г. Кировска (71 мкг/кг) оказалось существенно выше, чем в почвах г. Апатиты (44 мкг/кг). Интересно отметить, что ртуть распределена в почвах на территории г. Апатиты существенно более равномерно, чем на территории г. Кировска (относительное стандартное отклонение содержаний от среднего значения

составляет 13 и 62% соответственно). Повышенные относительно средних концентрации ртути приурочены к участкам, прилегающим к железнодорожным путям. Исключением является точка АРТ–23–13, которая характеризуется самым низким, среди исследованных, значением концентрации органического вещества, что не способствует накоплению ртути.

Повышенные концентрации ртути относятся только к почве. Средняя концентрация ртути в листьях березы субарктической для г. Апатиты и г. Кировска оказалась близкой и составила 14 и 12 мкг/кг соответственно и не превышает фонового уровня, по разным оценкам составляющего 40–100 мкг/кг [6]. Распределение ртути в обоих случаях равномерное (относительное стандартное отклонение содержаний от среднего значения составляет в обоих случаях 30%). Корреляция между концентрацией ртути в почве и концентрацией в листьях березы субарктической отсутствует ($R^2 = 0,082$). Это позволяет заключить, что атмосферическое воздействие ртути на почвенный покров и растения на изученной территории практически отсутствует, а ртуть в почве находится в труднодоступной для растений форме.

Найдены высокие и очень высокие положительные коэффициенты корреляции между содержанием ртути с одной стороны, и потерей при прокаливании, содержанием серы, меди и никеля с другой (рис. 2).

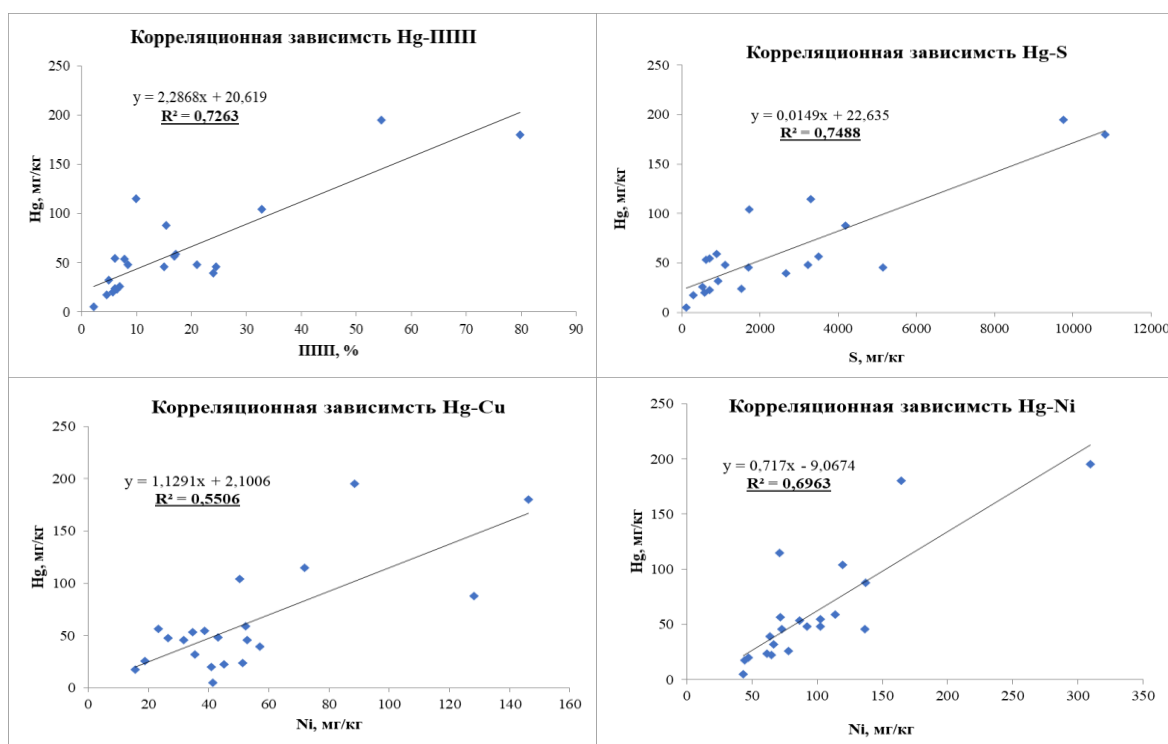


Рис. 2. Корреляционные зависимости между содержаниями Hg и ППП, S, Cu и Ni

Найденные корреляции хорошо согласуются с основными геохимическими свойствами ртути – склонность к образованию прочных связей с серой, металлоорганических соединений и халькофильными свойствами.

Таким образом, атмосферическое воздействие ртути на почвенный покров и растения на изученной территории практически отсутствует, повышенные относительно кларковых концентрации ртути в почвах имеют локальный характер и приурочены к путям транспортировки грузов по железным дорогам. Распределение ртути в почвах, по всей видимости, определяется содержанием в них органического вещества и серы.

Библиографический список

1. Даувальтер В. А., Слуковский З. И., Денисов Д. Б. Геохимия редких элементов в донных отложениях озера Большой Вудъявр // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2022. № 19. С. 86–91.
2. Эколого-геохимическая оценка снежного покрова в районе воздействия апатит-нефелинового производства Кольского полуострова / В. А. Даувальтер, С. С. Сандимиров, Д. Б. Денисов и др. DOI: 10.31857/S0016752523120026 // Геохимия. 2023. Т. 68. № 12. С. 1312–1328.
3. Первичное почвообразование на отвалах обогащения апатито-нефелиновых руд Кольского полуострова / В. Н. Переверзев, А. И. Ивлиев, А. В. Горбунов, С. М. Ляпунов // Почвоведение. 2007. № 8. С. 1006–1013.
4. Воробьева Д. А. Экогеохимия компонентов природной среды центральной части Кольского региона : спец. 16.21.00 : дис. ... канд. геолого-минералог. наук. 2022. 149 с.
5. Даувальтер В. А. Влияние стоков горно-перерабатывающих предприятий на содержание ртути в арктических озерных донных отложениях // Труды КарНЦ РАН. 2019. № 3. С. 34–51.
6. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, FL, USA : CRC Press/Taylor & Francis Group, 2010. 548 p.
7. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М. : Стандартинформ. 2008. 7 с.
8. МУ 1.2.2742–10.1.2. Порядок отбора проб для выявления и идентификации наноматериалов в растениях : методические указания. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 40 с.
9. Химический анализ горных пород и минералов / под ред. Н. П. Попова, И. А. Столяровой. М. : Недра, 1974. 248 с.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИКРОБНЫХ БИОПРЕПАРАТОВ НА ЧИСЛЕННОСТЬ НЕКОТОРЫХ БАКТЕРИЙ В ПОСЕВАХ ЯЧМЕНЯ

***Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев, И. И. Концевая**
Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
г. Гомель, Республика Беларусь, dajneko@gsu.by*

При обработке посевов ячменя микробными биопрепаратами «Полибакт», «Гордебак» и «Ресойлер» численность целлюлозоразрушающих и фосфатмобилизирующих бактерий зависела от фазы развития ячменя. Так, высокая численность бактерий отмечена в варианте «Гордебак» в фазе цветения, затем в фазе выхода в трубку и более низкая численность в фазе восковой спелости.

Ключевые слова: микроорганизмы, численность, микробные биопрепараты, целлюлозоразрушающие бактерии, фосфатмобилизирующие бактерии.

Одним из основных требований к инновационным системам земледелия является производство возможно большего количества растительных остатков для альтернативного использования и возврата излишков в почвы [1]. В настоящее время решение проблемы возврата в почву вынесенных с урожаем элементов минерального питания и отчужденных органических веществ имеет особую актуальность [2].

Применение микробных препаратов является одним из экологически безопасных и эффективных приемов при выращивании различных сельскохозяйственных культур. Бактеризация способствует повышению ростовых процессов растений, увеличивает их урожайность, а также повышает устойчивость к негативному влиянию тяжелых металлов [3, 4].

Определение биологической активности и биогенности почв позволяет оценить уровни почвенного плодородия.

Целлюлозолитическая активность почвы – один из показателей биологической активности или способность почвенных микроорганизмов разлагать целлюлозу. Интенсивность разложения клетчатки зависит от обработки почвы, ее увлажнения, от количества доступных форм азота, удобрений и других показателей. Значительное количество микроорганизмов обладает способностью к растворению фосфора. К ним относятся бактерии, грибы, актиномицеты и даже водоросли. Эти микроорганизмы способны развиваться в различных условиях, но существенно различаются по способности к растворению минерального фосфата, которая зависит от типа почвы, его физико-химического состава, а также культуры, которая на ней будет произрастать. Концентрация железа, температура, источники углерода и азота в значительной степени влияют на фосфатмобилизирующие потенциалы этих микроорганизмов [5].

Организмы, участвующие в круговороте фосфора в почвах, очень разнообразны, и микроорганизмы, вероятно, играют самую важную роль. Способность к фосфатмобилизации и стимуляции роста корневой системы определяет положительное влияние внесения фосфатмобилизирующих бактерий на режим питания и урожайность сельскохозяйственных культур. Применение бактерий может способствовать устранению дефицита фосфора в критический период питания в начале вегетации растений. Установлена взаимосвязь эффективности фосфатмобилизирующих бактерий с содержанием подвижных форм фосфора в дерново-подзолистых рыхло- и связно супесчаных почвах [6].

Исследования выполняли в 2021–2023 гг. на землях агрокомбината «Южный» Гомельского района Гомельской области.

Опыт был заложен на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на посевах ячменя. Агрохимическая характеристика почвы опыта следующая: рН в КС1 – 5,9; фосфор – 281 мг/кг; калий – 262 мг/кг.

Варианты опыта:

- 1) контроль – без обработки посевов ячменя микробными биопрепаратами «Полибакт», «Гордебак» и «Ресойлер»;
- 2) обработка посевов ячменя микробным биопрепаратом «Полибакт»;
- 3) обработка посевов ячменя микробным биопрепаратом «Гордебак»;
- 4) обработка посевов ячменя микробным биопрепаратом «Ресойлер».

Объектом исследований являлась биологическая активность экологотрофических групп при обработке микробными полифункциональными биопрепаратами «Гордебак», «Полибакт» и «Ресойлер» посевов ячменя.

Микробиологическую индикацию почвы выполняли согласно общепринятым в почвенной микробиологии методам [3, 4].

Комплексный микробный препарат «Полибакт» и «Гордебак» разработан в Институте микробиологии НАН РБ, «Ресойлер» в РУП «Институт защиты растений».

Анализируя численность целлюлозоразрушающих бактерий можно видеть, что в фазе выхода в трубку численность в 2022 г. была больше в 1,4 раза, чем в 2021 г. и в 2,5 раза выше, чем в 2023 г. (рис. 1).

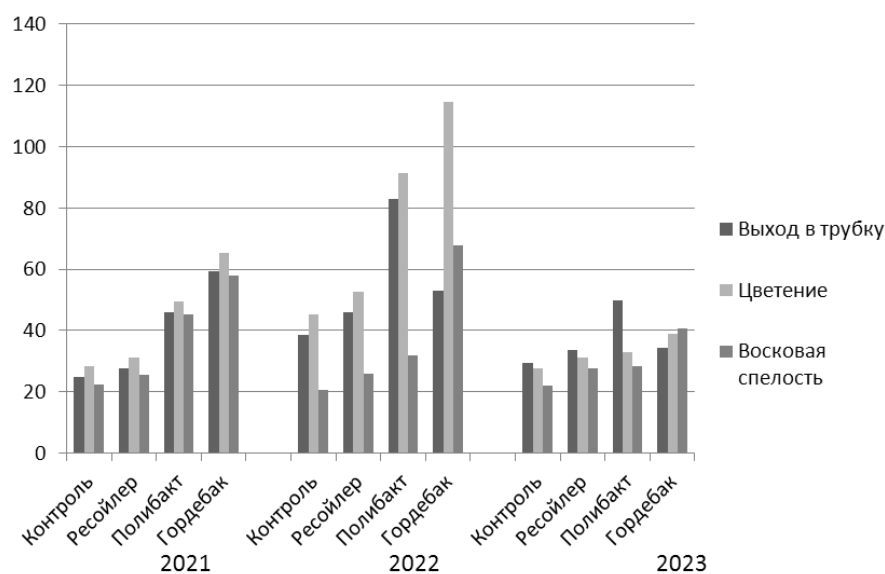


Рис. 1. Сравнительный анализ численности целлюлозоразрушающих бактерий в посевах ячменя в 2021–2023 гг.

Аналогичная ситуация отмечалась и в фазе цветения так, численность в 2022 г. оказалась выше в 1,7 раза, чем в 2021 г. и в 2,7 раза, чем в 2023 г. В фазе восковая спелость по годам исследований не отмечалось существенных различий. Средняя численность за три года в фазе выхода в трубку составила $44,0 \pm 4,3$, в фазе цветения – $50,7 \pm 6,4$ и в фазе восковая спелость $34,6 \pm 2,9$ (рис. 1).

Анализ численности фосфатмобилизирующих бактерий в фазе выхода в трубку в 2022 г. была в 6,6 раза выше, чем в 2021 г. и в 1,9 раза больше в 2023 г.; в фазе цветения наибольшая численность отмечалась в 2023 г., которая в 30,3 раза больше, чем в 2021 г., и в 1,3 раза выше, чем в 2022 г. В фазе

восковая спелость наибольшая численность наблюдалась в 2022 г., которая в 18,8 раза больше, чем в 2021 г. и в два раза больше, чем в 2023 г (рис. 2).

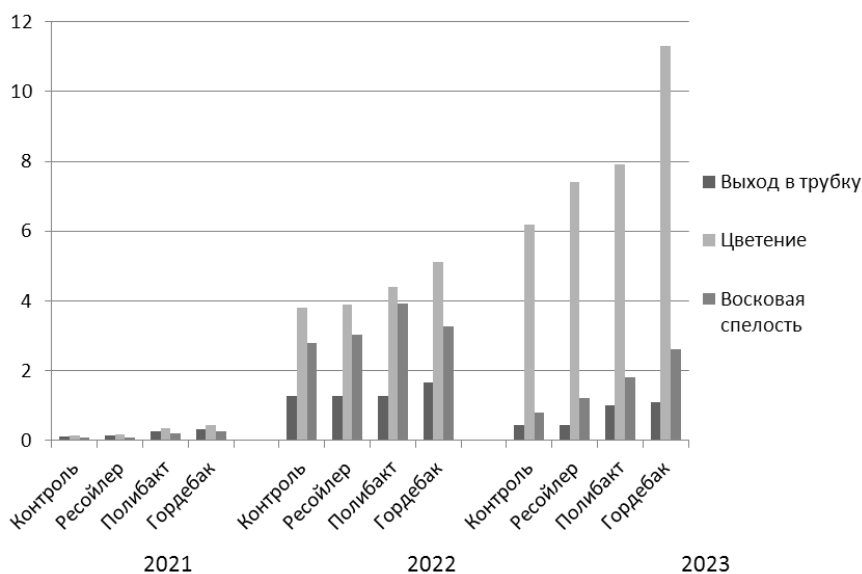


Рис. 2. Сравнительный анализ численности фосфатмобилизирующих бактерий в посевах ячменя в 2021–2023 гг.

Проведенные исследования влияния микробных биопрепаратов на численность изучаемых бактерий показали, что более высокая численность в основном наблюдается в варианте «Гордебак», а по фазам развития – в фазе цветения.

Библиографический список

1. Волкова А. В. Рынок минеральных удобрений. М. : Национальный исследовательский университет Высшая школа, 2017. 59 с.
2. Александрова А. В. Органическое земледелие как практика устойчивого землепользования в северной части Калужской области / ЛОМОНОСОВ-2018 : тезисы докладов XXV Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. (г. Москва, 9–13 апреля 2018 г.). М. : ООО «МАКС Пресс», 2018. С. 192–193.
3. Основные микробиологические и биохимические методы исследования почв / под ред. Ю. М. Возняковской. Л. : ВНИИСХМ, 1987. 47 с.
4. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. М. : Агропромиздат, 1987. 239 с.
5. Глушень Е. М., Дубойский М. В. Микробиологическая активность почв как показатель экологического состояния агроценозов // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты : сб. науч. трудов. Минск : Издательский дом «Белорусская наука», 2018. Т. 10. С. 448–456.
6. Свойства фосфатмобилизирующих бактерий и их влияние на урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах / Н. А. Михайловская, О. Миканова, Т. Б. Барашенко и др. // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 2 (47). С. 120–128.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ВОДОРΟΣЛИ *CHLORELLA VULGARIS* BEIJER НА ЕЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ТОКСИКАНТАМ

А. Л. Майнагашева, Ю. С. Григорьев

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия,
mainagashеваadriana@yandex.ru, gr2897@gmail.com*

Исследована чувствительность термофильного штамма водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer к тяжёлым металлам по их воздействию на прирост тест-культуры, измеряемого по оптической плотности и интенсивности замедленной флуоресценции, после выращивания 22 часа и 45 часов при температуре 36 °С и 25 °С, соответственно.

Ключевые слова: биотестирование, хлорелла, замедленная флуоресценция, оптическая плотность, чувствительность, тяжёлые металлы, температура культивирования.

Биотестирование, а именно альготестирование, широко применяется благодаря простоте, доступности и скорости получения результатов. Микроводоросли также являются обязательными в исследованиях установления санитарно-гигиенических нормативов [1].

В используемой в настоящее время методике, разработанной в Сибирском федеральном университете, по измерению оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) [2], применяется термофильный штамм водоросли, оптимальной температурой для которого является 36 °С. Эти условия хотя и обеспечивают высокие скорости роста водоросли, существенно сокращая время проведения токсикологического эксперимента, далеки от естественных для большинства водоёмов. С температурой воды тесно связаны физико-химические свойства растворенных веществ, а также скорость поступления токсикантов в организм. Эти факторы могут повлиять и на степень действия токсических веществ на тест-организмы [3].

В связи с этим возникла необходимость исследовать чувствительность данной тест-культуры при более низкой температуре культивирования с одновременным увеличением времени эксперимента. При этом для установления степени воздействия токсикантов на рост водоросли использовать не только изменение оптической плотности тест-культуры, но и интенсивность её замедленной флуоресценции. С увеличением времени эксперимента тест-культура водоросли будет дольше находиться под действием токсиканта, что может повысить её чувствительность. Использование замедленной флуоресценции позволяет надёжно регистрировать прирост клеток в начальный период, когда их численность ещё не высока, обеспечивая возможность сокращения длительности самого процесса биотестирования [4].

Накопительная культура водоросли хлорелла выращивалась по методике [2] в культиваторе КВ-08 при температуре 36 °С, световом облучении светодиодами источниками интенсивностью 60 Вт/м², при непрерывном перемешивании, обеспечивающем поступление углекислого газа из воздушной среды. В качестве питательной среды для выращивания культуры использовали 50% среду Тамия (табл. 1).

Таблица 1

Состав среды Тамия

| Компоненты среды | Содержание солей в среде Тамия 50%, г/л | Содержание солей в среде Тамия 2%, г/л |
|---------------------------------------|---|--|
| KNO ₃ | 2,5 | 0,1 |
| MgSO ₄ × 7H ₂ O | 1,25 | 0,05 |
| KH ₂ PO ₄ | 0,625 | 0,024 |
| р-р микроэлементов А (мл/л) | 0,5 | 0,01 |
| р-р микроэлементов В (мл/л) | | |
| лимоннокислое железо (мг/л) | 1,5 | 0,06 |

Биотестирование альгологически чистой водоросли, находящейся в экспоненциальной стадии роста, проводилось в культиваторе КВМ-06 при 36 °С на 2% питательной среде Тамия (табл. 1) с начальной оптической плотностью засева 0,005 единиц в течение 22 часов. После культивирования измеряли оптическую плотность суспензии водоросли с помощью прибора ИПС-03 и величину замедленной флуоресценции при возбуждении светом высокой интенсивности (показатель ЗФв) на флуориметре Фотон-10 [5].

Биотестирование при 25 °С проводилось на 2% питательной среде Тамия с начальной оптической плотностью засева 0,005 единиц в культиваторе КВМ-07 в течение 45 часов. Для поддержания температуры 25 °С культиватор КВМ-07 устанавливался в климатостат Р2. По истечении 22 часов осуществлялось промежуточное измерение показателя ЗФв, после которого пробы возвращались на дальнейшее культивирование. После 45 часов выращивания измерялась оптическая плотность тест-культуры водоросли и значение показателя ЗФв. Все используемые приборы произведены в ООО «СФУ-Система» (г. Красноярск) [5].

В качестве токсикантов были использованы соли тяжёлых металлов: K₂Cr₂O₇, CuSO₄ · 5H₂O, 3CdSO₄ · 8H₂O, CoCl₂ · 6H₂O, NiSO₄ · 7H₂O.

На рисунке 1 представлены значения оптической плотности выращенной тест-культуры в абсолютных значениях и в процентах от контроля при температурах 36 °С и 25 °С при разных концентрациях вносимого токсиканта. В контрольных вариантах опытов прирост тест-культуры при температуре 36 °С составил 0,140–0,170 единиц оптической плотности через 22 часа, тогда как при температуре 25 °С такой прирост имел место только на вторые сутки культивирования. Из рисунка 1 видно, что подавление прироста водоросли токсикантом по данному показателю заметно выше при пониженной температуре культивирования.

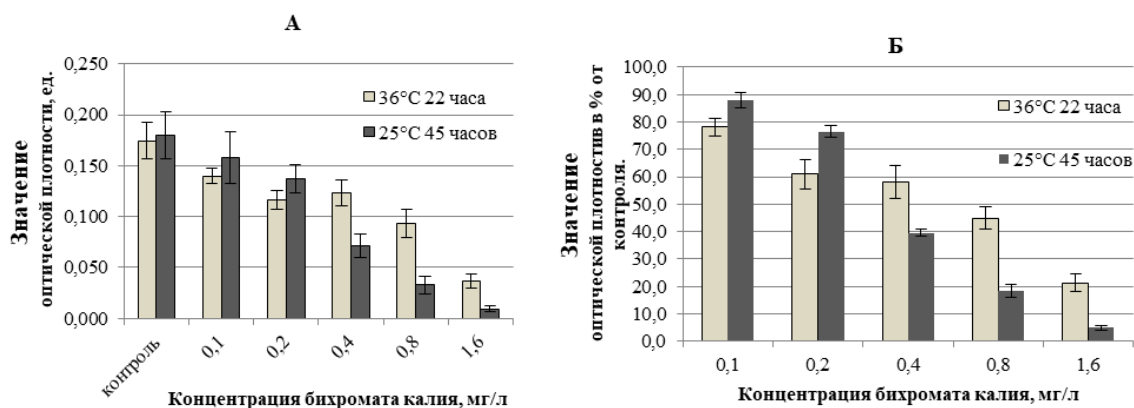


Рис. 1. Оптическая плотность суспензий тест-культуры водоросли хлорелла после культивирования в присутствии различных концентраций бихромата калия при 36 °С (22 часа) и 25 °С (45 часов) (А); оптическая плотность суспензий тест-культуры водоросли хлорелла в процентах от контроля (Б)

Способность водоросли хлорелла к росту при температуре 25 °С ранее уже была установлена [3]. При этом отмечалась значительная задержка роста тест-объекта особенно в первые сутки культивирования. Полученные нами данные свидетельствуют о том же.

Поскольку флуориметр Фотон-10 обеспечивает регистрацию замедленной флуоресценции (ЗФв) малых концентраций клеток водоросли, то с помощью этого показателя стало возможным измерения прироста тест-культуры при температуре 25 °С уже в первые сутки токсикологического эксперимента (рис. 2. А). Сравнение воздействия токсиканта на рост клеток после 22 и 45 часов культивирования свидетельствует, что снижение показателя ЗФв токсикантом относительно контроля наблюдается во всех вариантах опыта. При этом степень подавления прироста по данному показателю также больше при температуре 25 °С, как после 22 часов, так и 45 часов выращивания тест-культуры. В тоже время (рис. 2. Б) можно видеть, что при 25 °С подавление роста водоросли токсикантом выше после более длительного культивирования.

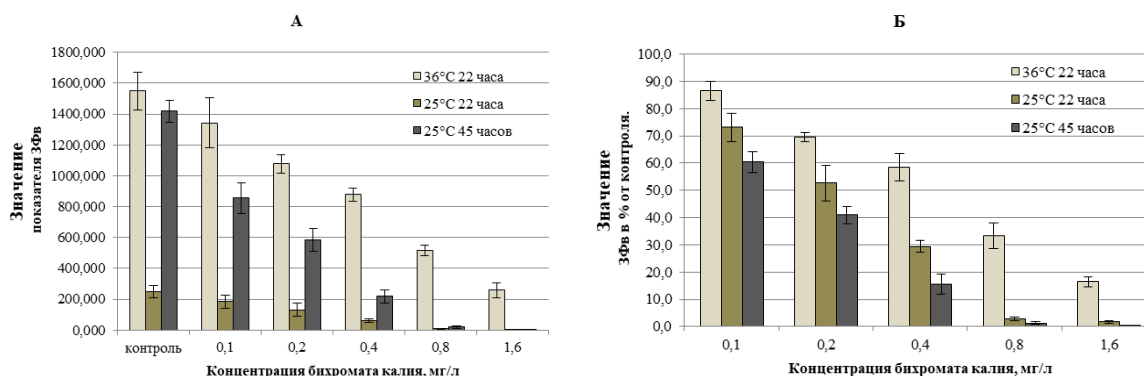


Рис. 2. Значение ЗФв в контрольной и опытных пробах в условиях культивирования тест-культуры водоросли при 36 °С (22 часа) и 25 °С (22 и 45 часов) (А); значение ЗФв в опытных пробах в процентах от контроля (Б)

По завершению проведённых экспериментов по результатам измерения оптической плотности и значениям показателя ЗФв водоросли хлорелла рассчитан параметр ЕС50, показывающий концентрацию токсикантов, при которой происходит 50% подавление прироста тест-культуры водоросли (табл. 2).

Представленные в таблице 2 данные показывают, что значения ЕС50 при температуре культивирования 25 °С по обоим регистрируемым показателям для большинства исследованных тяжелых металлов ниже, чем при выращивании при 36 °С. Исключением являются результаты по действию ионов меди и кобальта. Сравнение данных по установлению степени воздействия токсикантов на прирост двумя методами показывает, что показатель ЗФв даёт более низкие значения ЕС50. Вероятно, это вызвано тем, что интенсивность ЗФ зависит не только от количества самих клеток водоросли в тест-культуре, но и от их фотосинтетической активности [5, 6], которая подавляется токсикантами при более низких концентрациях.

Таблица 2

Значения ЕС50 (мг/дм³) для исследованных тяжелых металлов по их воздействию на прирост тест-культуры водоросли хлорелла, оцениваемый по оптической плотности и показателю ЗФв при температурах 36 °С и 25 °С и разном времени культивирования

| 36 °С 22 часа | | | | | | |
|------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Токсикант / Показатель | Бихромат калия | Медь | Кадмий | Кобальт | Никель | Цинк |
| Оптическая плотность | 0,86± 0,1 | 0,005± 0,0005 | 0,0681± 0,0045 | 0,34± 0,098 | 0,55± 0,057 | 1,49± 0,092 |
| ЗФв | 0,49± 0,14 | 0,0037± 0,0017 | 0,0238± 0,0039 | 0,28± 0,042 | 0,42± 0,067 | 1,20± 0,001 |
| 25 °С 45 часов | | | | | | |
| Токсикант / Показатель | Бихромат калия | Медь | Кадмий | Кобальт | Никель | Цинк |
| Оптическая плотность | 0,33± 0,08 | 0,0056± 0,0018 | 0,0283± 0,008 | 0,032± 0,077 | 0,266± 0,007 | 0,645± 0,092 |
| ЗФв | 0,15± 0,04 | 0,0035± 0,0001 | 0,0179± 0,004 | 0,14± 0,021 | 0,212± 0,011 | 0,58± 0,014 |
| 25 °С 22 часа | | | | | | |
| Токсикант / Показатель | Бихромат калия | Медь | Кадмий | Кобальт | Никель | Цинк |
| ЗФв | 0,21± 0,08 | 0,003± 0,0005 | 0,0172± 0,0004 | 0,275± 0,035 | 0,238± 0,068 | 1,20± 0,18 |

Таким образом, термофильный штамм тест-культуры водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer при пониженной температуре (25 °С) имеет более высокую чувствительность к токсикантам. Увеличение длительности культивирования водоросли в этих условиях можно компенсировать применением для регистрации токсического воздействия на прирост тест-культуры интенсив-

ность ее замедленной флуоресценции. При этом данный показатель позволяет устанавливать воздействие токсикантов при более низких концентрациях.

Библиографический список

1. Лихачев С. В., Пименова Е. В., Жакова С. Н. Биотестирование в экологическом мониторинге : учебно-методическое пособие. Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2020. 89 с.
2. Григорьев Ю. С. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 / Т 16.1:2:2.3:3-04. М., 2014. 36 с.
3. Давыдова Н. С., Григорьев Ю. С. Чувствительность к тяжелым металлам биотеста по воздействию на рост водоросли хлорелла при разных температурах // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод : материалы науч. конф. с междунар. участием: Ч. 2. Ростов-на-Дону : Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрохимический институт», 2015. С. 88–91.
4. Использование замедленной флуоресценции хлорофилла водорослей для биотестирования загрязнений / Д. Н. Маторин, О. В. Яковлева, Д. А. Тодоренко и др. // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2022. Т. 7. № 2. С. 339–342.
5. Григорьев Ю. С., Стравинскене Е. С. Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению относительного показателя замедленной флуоресценции (ОПЗФ) культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). ПНД Ф 14.1:2:4.16-09 Т 16.1:2.3.3.14-09. М., 2014. 37 с.
6. Инструментальные методы биотестирования вод, почв, грунтов и отходов / Ю. С. Григорьев, Т. Л. Шашкова, Е. С. Стравинскене и др. // Метеорология и гидрология. 2023. № 5. С. 96–106.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ *EUPHORBIA VIRGATA* WALDST. В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Г. Г. Бускунова

Сибайский институт (филиал)

«Уфимский университет науки и технологий»,

г. Сибай, Россия, gulsina_busk@mail.ru

В работе представлены результаты исследований по содержанию химических элементов-загрязнителей в почвах и растениях в городской среде. Сформирован ряд накопления тяжелых металлов в почвах по подвижному содержанию: Zn – Cd – Pb – Ni – Cu – Mn – Co – Fe. Растения *Euphorbia virgata* является эффективными поглотителями таких тяжелых металлов, как Ni, Cu, Zn.

Ключевые слова: тяжелые металлы, фиторемедиация, индекс аккумуляции, биогеохимическая активность вида, акропетальный коэффициент.

Городские почвы загрязнены большим количеством поллютантов, в основном тяжелыми металлами (ТМ). На территории городов формируются зо-

ны, характеризующиеся постоянным поступлением ТМ в почву. Это зоны влияния промышленных предприятий, городские транспортные магистрали, несанкционированные свалки мусора [1]. Для очищения почв наиболее перспективным и эффективным способом является фиторемедиация. Поиск местных растений – аккумуляторов ТМ является актуальным.

Одним из основных источников загрязнения окружающей среды г. Сибай является Сибайский филиал ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат», который включает в себя Сибайский и Камаганский карьеры, подземный рудник, обогатительную фабрику, отвалы вскрышных пород и хвостохранилища.

Цель исследований – оценка целесообразности применения растений *Euphorbia virgata*, произрастающих на территории г. Сибай Республики Башкортостан, для фиторемедиации почв.

Объектом исследований явилось растение *Euphorbia virgata* Waldst. (молочай лозный) – многолетнее растение-сорняк из семейства Молочайные (Euphorbiaceae Juss.) [1].

Образцы почвы и растений *Euphorbia virgata* собирали в сухую погоду в фазу цветения в июле 2021 г. в окрестностях г. Сибай Республики Башкортостан. Заготовленные образцы сушили на воздухе при температуре окружающей среды в затененном месте. Растения разделяли на части – цветки, листья, стебли и корни и измельчили. Предварительно измельченный материал поместили в маркированные конверты и отправили в химическую лабораторию для определения в них содержания ТМ.

Определение содержания Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Co, Pb в пробах почвы и образцах растений проведены атомно-адсорбционным методом.

Загрязненность почвенного покрова подвижными формами ТМ оценивали по кратности превышения предельно-допустимых концентрации (ПДК): Cu – 3 мг/кг, Zn – 23 мг/кг, Ni – 4 мг/кг, Mn – 140 мг/кг, Co – 5 мг/кг, Pb – 6 мг/кг [2] и фона Cd – 0,3 мг/кг, Fe – 3800 мг/кг. Уровень загрязнения почв оценивали по коэффициенту техногенной концентрации тяжелых металлов (Кс) и суммарному показателю химического загрязнения (Zс).

Предельно-допустимые концентрации ТМ в растениях не установлены, поэтому при оценке чистоты растительного сырья использовали временные максимально допустимые уровни (ВМДУ): Cu – 30 мг/кг; Zn – 50 мг/кг; Ni, Co – 1 мг/кг; Fe, Mn – 100 мг/кг; Pb – 5 мг/кг; Cd – 0,3 мг/кг.

В растениях *Euphorbia virgata* были изучены следующие биогеохимическими показателями (БП): индекс аккумуляции (I_A), биогеохимическая активность вида (БХА), акропетальный коэффициент (АК) [3].

Нами установлено, что содержание подвижных форм металлов Cu, Ni, Mn, Co, Fe, Cd в почвах не превышало ПДК, за исключением Zn (9,7 ПДК), Cd (3,7 ПДК) и Pb (2,3 ПДК). Коэффициенты техногенной концентрации ТМ в почвах г. Сибай уменьшались в ряду Zn (9,7) → Cd (3,7) → Pb → (2,3) → Ni (0,6) → Cu (0,5) → Mn (0,4) → Co (0,4) → Fe (0,03). Таким образом, основ-

ными загрязнителями почв г. Сибай явились такие металлы как Zn, Cd, Pb (рис. 1).

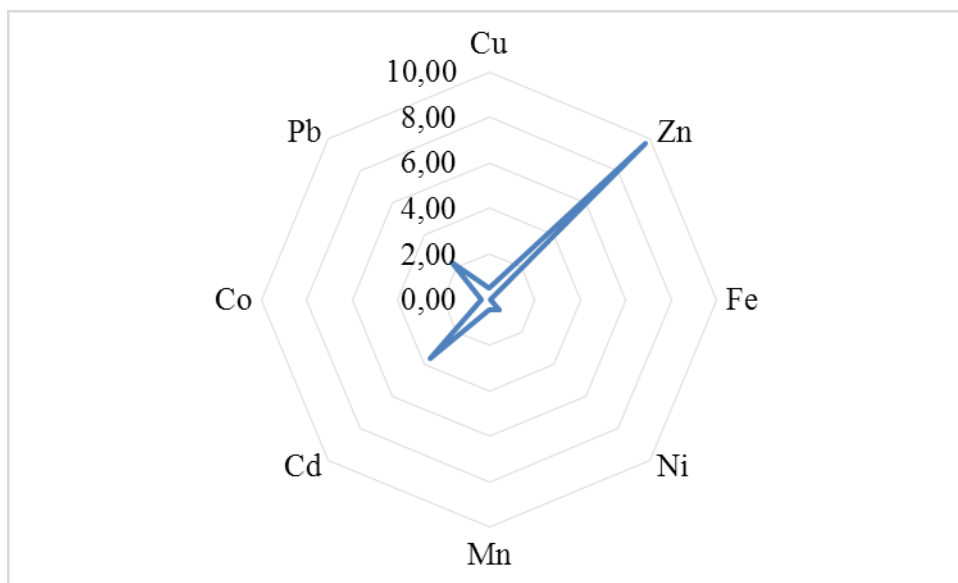


Рис. 1. Спектр загрязнения почв подвижными формами тяжёлых металлов исследуемой территории

Технологию фиторемедиации рекомендуют применять только при низком, и среднем уровне загрязнения почв подвижными формами ТМ. При высоком уровне загрязнения травянистые растения угнетаются, снижается накопление фитомассы и применение этого метода становится нецелесообразным [5].

Оценка степени загрязненности почв комплексом металлов по показателю Z_c показала, что изученные почвы следует отнести к категории «допустимая» ($Z_c = 12,73$); уровень их загрязнения – слабый, а экологическая обстановка оказалась относительно удовлетворительной. Результаты исследований показали, что применение метода фиторемедиации на территории г. Сибай можно считать целесообразным.

Растения урбоэкосистем способны к накоплению ТМ в количествах, существенно превышающих показатели нормы, при этом признаки угнетения жизнедеятельности не проявляются.

Сопоставление фактических концентраций ТМ в растениях с временными максимально-допустимыми уровнями показали, что содержание Ni (53–268 раза), Zn (2,16–6,48 раза), Fe (5,4–185,7 раза) превышали нормы во всех органах растений изученного вида. Концентрации Cu превышали норму в листьях, Mn в корнях в 2,03 и 2,11 раза соответственно.

В растениях *Euphorbia virgata* Fe (7,70), Co (4,30), Mn (3,87), Pb (1,98), Zn (1,04), Cd (1,03) распределились по акропетальному типу (акропетальный коэффициент $> 1,0$), а Cu (0,99), Ni (0,75) – по базипетальному типу (акропетальный коэффициент $< 1,0$).

Расчеты индекса аккумуляции выявили, что в растениях *Euphorbia virgata* Ni (29,5) и Cu (10,7) относятся к группе элементов энергичного накоп-

ления, Zn (8,92), Cd (1,95), Fe (1,69), Pb (1,14) – к группе элементов сильного накопления, Mn (0,66), Co (0,52) – к группе элементов среднего накопления (рис. 2).

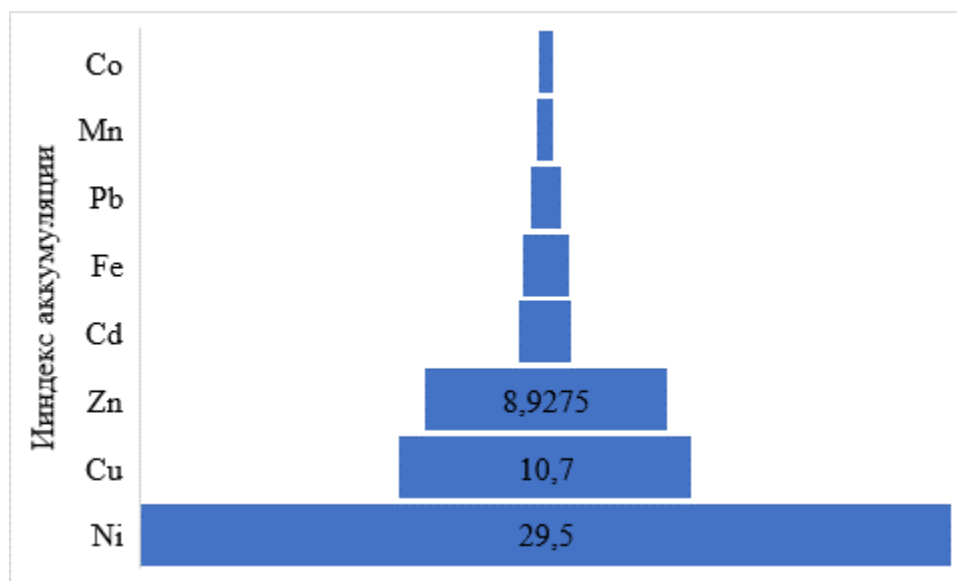


Рис. 2. Показатели индекса аккумуляции тяжелых металлов в растениях *Euphorbia virgata*

Биогеохимическая активность растений *Euphorbia virgata*, произрастающих в г. Сибай составила 220,46 и в органах вида уменьшалась в ряду: цветки (87,94) → корни → (55,01) → листья → (51,57) → стебли (25,94).

Данные о биогеохимической активности видов, произрастающих на территории г. Сибай, представлены и в других работах. Например, БХА для растений *Lappula squarrosa* L. составила 251,97 [6, с. 300], *Sisymbrium loeselii* L. – 199,19 [7], *Echium vulgare* L. – 211,39 [8], *Berteroa incana* L. – 561,67 [9]. Поглощение ТМ видоспецифично.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы. *Euphorbia virgata* является эффективным поглотителем таких химических элементов, как Ni, Cu, Zn. В связи повышенным содержанием в почвах города Zn, растения *Euphorbia virgata* можно использовать в качестве вида-фиторемедиатора для очистки городской среды от данного металла.

Библиографический список

1. Зыкова И. Д., Ефремов А. А. Компонентный состав эфирного масла *Euphorbia virgata* Waldst., произрастающего в Сибири // Сибирский медицинский журнал. 2014. № 3. С. 91–92.
2. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
3. Бускунова Г. Г., Ягафарова Г. А. Тяжелые металлы в системе «почва – дикорастущее лекарственное растение» (на примере *Cichorium intybus* L.). DOI: 10.55355/snv2022111103 // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11, № 1. С. 36–42.

4. Бускунова Г. Г. Экологическая оценка чистоты лекарственного растительного сырья *Thymus serpyllum* L. в условиях Зауралья Республики Башкортостан. DOI: 10.55355/snv2023122103 // Самарский научный вестник. 2023. Т. 12, № 2. С. 24–29.
5. Лаврова О. П. Перспективы создания фиторемедиационных газонов на почвах с низким и средним уровнем загрязнения тяжелыми металлами. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-65-69// Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22, № 6. С. 65–69.
6. Бускунова Г. Г., Киреева О. В., Карасова Л. И. Фиторемедиационные способности растений *Lappula squarrosa* в урбозкосистемах // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 24–25 апр. 2023 г.). Киров : Вятский гос. ун-т, 2023. Кн. 1. С. 296–301.
7. Бускунова Г. Г., Шарабасова С. А. Биогеохимические показатели *Sisymbrium loeselii* L. в городской среде // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 24–25 апр. 2023 г.). Киров : Вятский гос. ун-т, 2023. Кн. 1. С. 271–275.
8. Бускунова Г. Г., Утягулов И. И., Утягулов Д. И. Содержание тяжелых металлов в растениях *Echium vulgare* L. в условиях урбанизированных территорий // Исследование различных направлений современной науки : сб. материалов XXXVII Междунар. очно-заочной науч.-практ. конф. (18 окт. 2023 г.) : в 3 т. М. : НИЦ «Империя», 2023. Т. 3. С. 184–187.
9. Бускунова Г. Г., Байзигитова А. И., Рахматуллина Ю. Р. Анализ элементного состава травы *Berteroa incana* (L.) DC в урбанизированных территориях // Наука сегодня: технические и естественные науки : сб. материалов XXXVI Междунар. очно-заочной науч.-практ. конф. (9 окт. 2023 г.) : в 3 т. М. : НИЦ «Империя», 2023. Т. 1. С. 145–148.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ И ИХ НАКОПЛЕНИЕ В ВОДОРОСЛЯХ-МАКРОФИТАХ НА ПРИМЕРЕ ПРУДА ИБРАГИМОВСКИЙ г. СИБАЙ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Г. Г. Бускунова

Сибайский институт (филиал)

«Уфимский университет науки и технологий»,

г. Сибай, Россия, gulsina_busk@mail.ru

Приведены результаты исследования содержания тяжелых металлов в водорослях-макрофитах и водной среде пруда Ибрагимовский г. Сибай Республики Башкортостан, подверженного антропогенному воздействию. С помощью метода атомной абсорбции определены концентрации восьми элементов: Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Co, Pb в образцах воды и талломах водорослей. Результаты лабораторных исследований свидетельствуют о способности некоторых водных растений сорбировать из водной среды различные ионы тяжелых металлов и служить показателями ее качества. Составлены ряды накопления тяжелых металлов в водорослях-макрофитах и выявлены наиболее энергично аккумулирующиеся элементы.

Ключевые слова: водоросли-макрофиты, тяжелые металлы, нормативный уровень, биоаккумуляция, нитчатые водоросли, коэффициент накопления.

Водоросли способны к биоаккумуляции ионов тяжелых металлов (ТМ) из природной воды и могут быть использованы для очистки водных объектов [1]. Изучением накопления ТМ водорослями-макрофитами занимались ряд исследователей [2–4]. Сообщества водорослей-макрофитов, обитающие в водоемах, под влиянием антропогенных факторов претерпевают неестественные сукцессии, которые могут также служить индикаторами загрязнений. В связи с этим исследование накопления ТМ водорослями в естественных условиях обитания в условиях техногенного загрязнения является актуальным.

Цель работы – оценка способности нитчатых водорослей аккумулировать ионы тяжелых металлов из загрязненной воды.

Образцы водорослей отбирались сопряженно с пробами воды в 4 пунктах в летний период 2021 г. Отбор проб воды проводили согласно требованиям [5, 6]. Для исследования химического состава водорослей в каждой точке отбиралось по 1,5–2 кг нитчатых водорослей.

Анализы проводили в аккредитованной центральной лаборатории Сибайской обогатительной фабрики ОАО «УГОК». Концентрации ТМ в образцах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Пруд Ибрагимовский, также известный как пруд «Дом рыбака», имеющий большое рекреационное и рыбохозяйственное значение для города, расположен в 4 км от центра города [7]. В пруд впадает р. Камышлы-Узяк, которая протекая вдоль действующих и отработанных объектов горнопромышленного комплекса Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината (СФ УГОК), загрязняется неочищенными или недостаточно очищенными шахтными, рудничными и подотвальными водами. В результате происходит загрязнение вод пруда Ибрагимовский токсичными химическими веществами, в частности ТМ, которые впоследствии осаждаются в донных отложениях водоема и аккумулируются водорослями-макрофитами.

Для оценки качества поверхностных вод использовали кратность превышения предельно-допустимых концентраций ТМ для водоемов рыбохозяйственного назначения ($ПДК_{р.х.}$), утвержденных Приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 552 от 13 декабря 2016 г.

В настоящее время ПДК по ТМ для водорослей-макрофитов отсутствуют, что осложняет сравнительную оценку уровня их накопления.

Водоросли можно анализировать по содержанию ТМ на предмет их соответствия допустимым уровням (ДУ), утвержденным Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) [8].

В своих работах мы руководствовались нормативами для гидропонных кормов и водорослей. Согласно техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011), нормативный уровень (НУ) для Cu составил 30 мг/кг, Zn – 50 мг/кг, Ni – 3 мг/кг, Co – 1 мг/кг, Fe и Mn – 100 мг/кг, Pb – 5 мг/кг, Cd – 0,4 мг/кг.

Коэффициент накопления (КН) тяжелых металлов в талломах водорослей рассчитывали как отношение концентрации химического элемента в водоросли к его концентрации в воде [9].

Ведущим фактором, определяющим накопление ТМ в талломах водорослей, является содержание элементов в водной среде.

Результаты проведенного экологического мониторинга загрязнённости воды и сопоставление содержания ТМ в воде пруда с нормативами для водоемов рыбохозяйственного назначения показало превышение ПДК_{р.х.} во всех пунктах отбора для Cu в 11–33 раз, Zn – в 9,6–34,1 раз, Fe – в 3,9–10,4 раз, Ni – в 2,8–3,4 раз, Mn – в 2,6–6,5 раз. Превышений ПДК_{р.х.} по содержанию Cd, Co и Pb не выявлено.

Оценка качества вод по индексу загрязнения показала, что вода пруда Ибрагимовский относилась к категории очень грязной (ИЗВ_{ТМ} = 7,14–8,85), за исключением пункта 4, вода на котором относилась к категории грязной – ИЗВ_{ТМ} = 5,37 [10].

На графиках представлены данные о содержании ТМ в талломах водорослей (рис. 1). Содержание ТМ в талломе нитчатых водорослей превышали нормативные уровни по Cu в 1,13–9,33 раз, Zn – в 5,84–11,44 раз, Fe – в 39,77–134,3 раз, Mn – в 22,42–87,53 раз, Ni – в 22,0–60,33 раз, Cd – в 3,43–9,33 раз, Co – в 5,9–17,0 раз, Pb – в 5,2–7,8 раз.

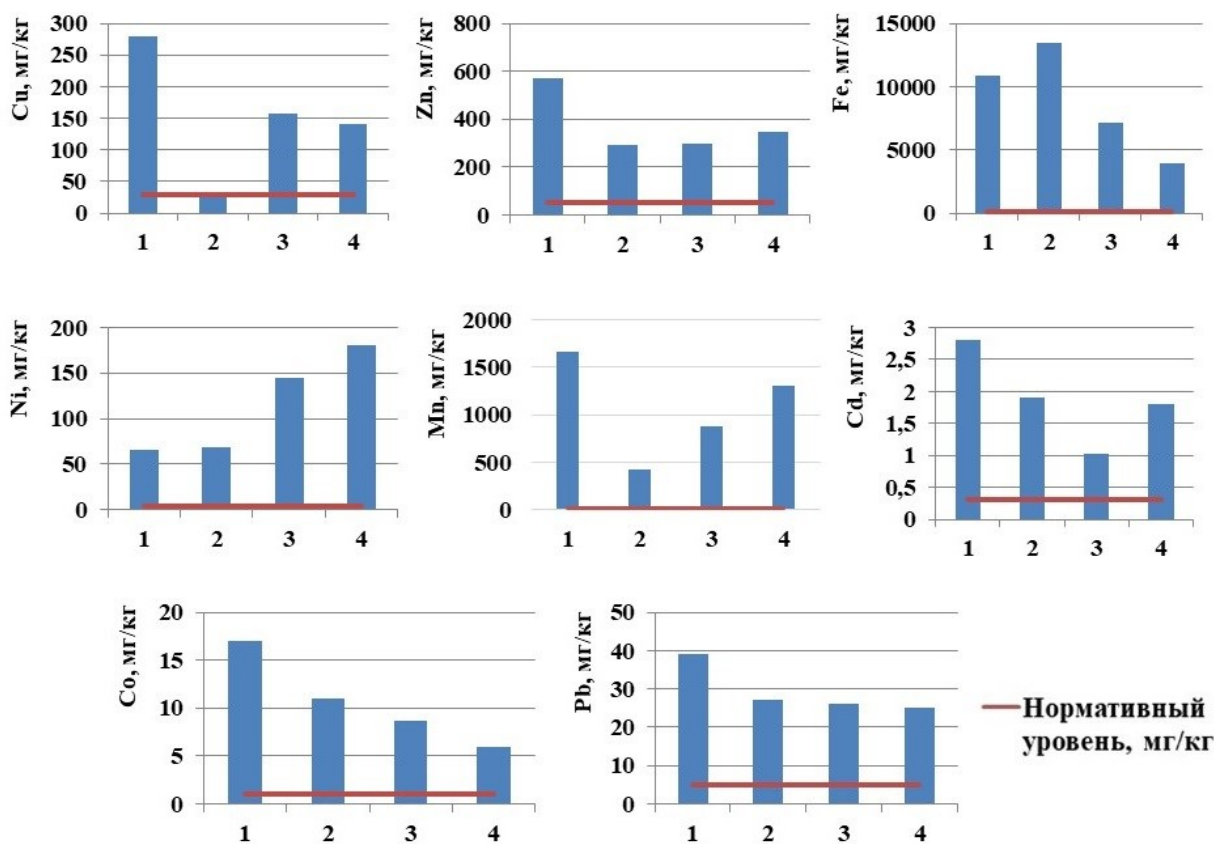


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в талломах водорослей

Коэффициенты вариации ТМ в талломе водорослей оказались высокими и уменьшались в ряду Cu (65,98%) → Mn (50,0%) → Ni (49,87%) → Fe (47,0%) → Co (44,31%) → Cd (38,50%) → Zn (34,97%) → Pb (22,40%).

Получив значения коэффициента накопления для ряда элементов, построили последовательность накопления ТМ в водорослях-макрофитах, который уменьшается в ряду: Pb → Fe → Mn → Zn → Co → Cu → Cd → Ni (рис. 2). Такие высокие значения концентраций Pb, Fe, Mn в водорослях можно объяснить результатом антропогенного воздействия на акваторию. При высоких значениях концентраций свинца в талломе водорослей количество этого же элемента в водах пруда низкое, по-видимому, можно предположить, что нитчатые водоросли выступают в качестве биофильтра для Pb.

Известно, что по степени накопления тест-объекты ранжируются следующим образом: I группа КН > 100 – элементы энергичного накопления, II группа КН = 10 – элементы сильного накопления, III группа КН = 1 – элементы слабого накопления. Если применить данную классификацию к нашим данным, то можно отметить, что нитчатые водоросли относятся к группе тест-объектов энергичного накопления, так как по всем из исследуемых элементов коэффициент накопления равен значениям более 100.

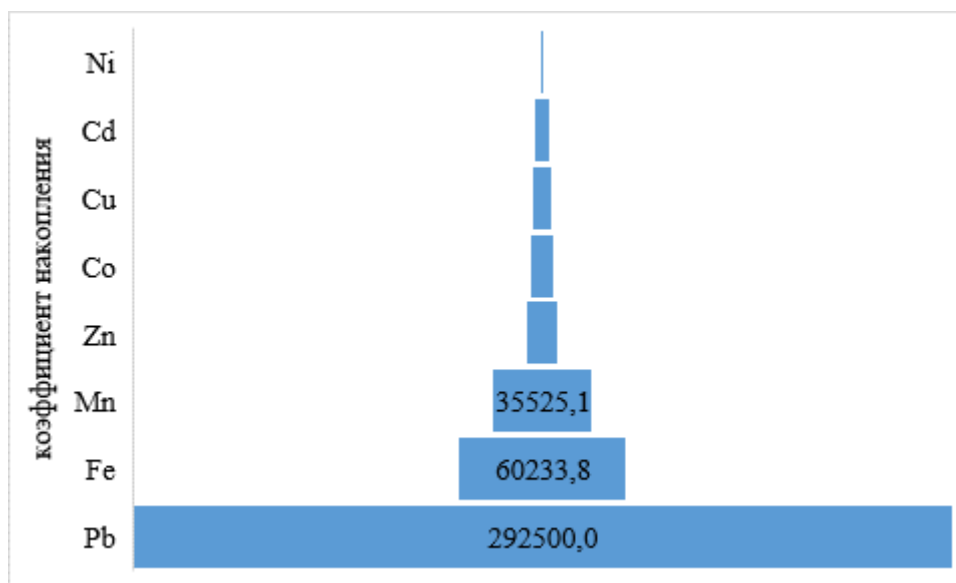


Рис. 2. Коэффициент накопления тяжелых металлов в талломах водорослей

Таким образом, можно сделать вывод о том, что нитчатые водоросли могут использоваться в качестве биоиндикатора, способного накапливать в себе высокие концентрации экотоксикантов, а также служить объектом многолетнего экологического мониторинга, по которому можно судить о качестве вод водоемов. В то же самое время нитчатые водоросли можно рассматривать в качестве биофильтра, активно аккумулирующего в себе тяжелые металлы из водной среды.

Библиографический список

1. Водоросли для очистки поверхностных вод малых рек от ионов тяжелых металлов / С. В. Леонтьева, Г. Г. Ягафарова, Э. М. Зайнутдинова и др. DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-3-83-91 // Экология (в химии и нефтехимии). 2020. № 3 (125). С. 83–91.
2. Мурадов С. В. Воздействие тяжелых металлов на водоросли-макрофиты авачинской губы // Фундаментальные исследования. 2014. № 9–9. С. 1998–2002.
3. Содержание тяжелых металлов в бурой водоросли *Saccharina latissima* Баренцева и Гренландского морей / Г. М. Воскобойников, А. Л. Никулина, Д. О. Салахов, В. А. Шахвердов. DOI: 10.7868/S25000640190205 // Наука юга России. 2019 Т. 15, № 2. С. 39–44.
4. Патова Е. Н., Стерлягова И. Н. Содержание тяжелых металлов в воде и их накопление в водорослях-макрофитах на примере горно-долинного озера (Приполярный Урал) // Вода: химия и экология. 2012. № 5. С. 114–121.
5. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М. : Стандартинформ, 2008. 48 с.
6. ГОСТ 17.1.5.04-81. Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия. М. : ИПК Изд-во стандартов, 2003. 7 с.
7. Бускунова Г. Г., Сафина Д. Д. Оценка степени загрязненности донных отложений пруда Ибрагимовский г. Сибай Республики Башкортостан // Устойчивое развитие территорий : теория и практика : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Сибай, 19–20 апреля 2023 г.). Сибай : Сибайский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уфимский университет науки и технологий», 2023. С. 172–175.
8. Галатова Е. А., Шестаков А. Ю., Капаназде Г. Д. Особенности накопления и распределения экотоксикантов в донных отложениях и водорослях // Биомедицина. 2010. № 5. С. 58–62.
9. Панькова Е. С., Голубева Е. И. Аккумуляционные способности бурой водоросли цистозира барбата (*Cystoseira barbata*) к накоплению тяжелых металлов. DOI: 10.24411/1728-323X-2018-13022 // Проблемы региональной экологии. 2018. № 3. С. 22–27.
10. Каипкулова Д. А., Бускунова Г. Г. Загрязнение тяжелыми металлами воды пруда «Дом рыбака» г. Сибай Республики Башкортостан // Уфимский гуманитарный научный форум : Молодежный научный форум : сборник статей / под ред. А. Н. Дегтярева, А. Р. Кузнецовой. Уфа : Институт стратегических исследований Республики Башкортостан, 2022. С. 424–428.

ВЛИЯНИЕ НЕВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ СОЛЕЙ В СРЕДЕ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ *DAPHNIA MAGNA* К БИХРОМАТУ КАЛИЯ

Н. К. Артына, Ю. С. Григорьев
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия,
artynanadya@ya.ru

Проведена оценка воздействия модельного токсиканта бихромата калия на выживаемость *Daphnia magna* Straus в средах с невысокими концентрациями солей. Показано, что снижение чувствительности дафний к бихромату калия оказывает концентрация солей. В наибольшей степени чувствительность дафний к бихромату калия уменьшается в среде с хлорид-ионами.

Ключевые слова: концентрация солей, культивационная среда, *Daphnia magna* Straus, биотестирование, токсичность, бихромат калия.

Воды по солесодержанию, не превышающих 1 г/дм^3 , относят к категории пресных. Известно, что как пресные, так и морские поверхностные воды – это многокомпонентные природные объекты переменного состава. Они могут содержать в себе различные растворенные вещества и изменять свой гидрохимический режим от местности, а также по сезонам [1, 2].

Для целей биотестирования на широко используемой пресноводной культуре *Daphnia magna* Straus применяют достаточно обширный список водных сред для культивирования и проведения токсикологического опыта. Чаще всего используется отстоянная водопроводная вода, состав которой может изменяться в период весенних паводков. От состава используемой культивационной воды зависит чувствительность рачков к токсикантам, что оказывает существенное влияние на результаты биотестирования. При отсутствии подходящей качественной питьевой воды допускают использование негазированных бутилированных вод, а также искусственную среду. По методике [3] рекомендовано при недостаточной чувствительности тест-культуры дафний в отстоянной водопроводной воде, определяемой по модельному токсиканту, разбавлять культивационную воду дистиллированной водой. При этом остается не ясным, какой из компонентов этих сред оказывает влияние на результат воздействия токсикантов на данный тест-организм.

Ранние исследования авторов, показали, что на токсическое воздействие тяжелых металлов оказывают влияние ионы жесткости (Ca^{2+} , Mg^{2+}) [4]. Отмечено, что в более мягкой воде воздействие металлов повышается [5]. Таким образом, встает вопрос, что влияет на действие токсикантов в пресной воде – вид входящих в её состав солей, катионы или анионы этих солей, или концентрация конкретной соли?

В связи с этим, целью данной работы являлось исследование влияния невысоких концентраций солей, вносимых в водную среду, на чувствительность *D. magna* к модельному токсиканту бихромату калия.

Для процедуры биотестирования были использованы рачки дафнии в возрасте от 6–24 часов (односуточные синхронизированные мальки третьего поколения). Биотестирование проводилось по методике [3] на отстоянной водопроводной воде. Влияние концентрации солей оценивали путём внесения в среду по отдельности 5-ти солей в виде сульфата и хлорида магния ($\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$), сульфата и хлорида натрия (Na_2SO_4 , безводный; NaCl), хлорида кальция (CaCl_2 , безводный). Растворы каждой из 5-ти солей готовили из исходного промежуточного раствора 20 г/дм^3 . Из каждого промежуточного раствора вносили по 1, 0,33 и 0,11 мл в пробирки, тем самым получали концентрации в расчёте на соль: 400; 133; 44 и 0 мг/дм^3 . В качестве модельного токсиканта использовали раствор бихромата калия ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Острое токсическое действие бихромата калия определяли при концентрации

0,4 мг/дм³. Оценка выживаемости дафний в присутствии модельного токсиканта проводилась в сравнении с контролем без внесения токсиканта.

Биотестирование выполнялось в специальных стеклянных пробирках ёмкостью 100 мл, входящих в комплект устройства экспонирования рачков УБ-01. В каждую пробирку с объёмом 50 мл тестируемой среды помещалось по 10 рачков в 2-х параллелях и 9-ти вариациях тестируемых сред. Далее УБ-01 устанавливался в климатостат ВЗ, который обеспечивал необходимые температурные условия (20±1) °С, постоянное освещение 1200–1500 люкс. Благодаря умеренному вращению кассеты с пробирками (8-10 об/мин) в УБ-01 создавались равные световые и температурные условия для всех вариантов опыта и непрерывный газообмен с окружающей воздушной средой. По завершению эксперимента устанавливали полулетальную эффективную концентрацию, при которой гибель тест-организмов составляла 50% за 24-часовую экспозицию. Все используемые приборы разработаны в Сибирском федеральном университете (производитель ООО «СФУ-Система», г. Красноярск).

Результаты, представленные в таблице, показывают, что выживаемость рачков дафний в водопроводной воде до и после внесения 5-ти видов исследованных солей составляла 100%. При этом до добавки солей в водопроводную воду *D. magna* имела высокую чувствительность к модельному токсиканту бихромату калия, а степень его воздействия соответствовала требованиям методики [3].

Таблица

Выживаемость (%) рачков *D. magna* в водопроводной воде с внесением разных концентраций солей (мг/дм³) в присутствии и отсутствии бихромата калия (0,4 мг/дм³)

| Вид соли | | Концентрации вносимых солей | | | |
|---------------------------------|---|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 400 | 133 | 44 |
| MgSO ₄ | контроль | 100±0 | 100±0 | 100±0 | 100±0 |
| | K ₂ Cr ₂ O ₇ | 25±7 | 45±7 | 45±7 | 40±0 |
| MgCl ₂ | контроль | 100±0 | 100±0 | 100±0 | 100±0 |
| | K ₂ Cr ₂ O ₇ | 0±0 | 100±0 | 75±21 | 10±14 |
| Na ₂ SO ₄ | контроль | 100±0 | 100±0 | 100±0 | 100±0 |
| | K ₂ Cr ₂ O ₇ | 0±0 | 75±7 | 45±7 | 15±7 |
| NaCl | контроль | 100±0 | 100±0 | 100±0 | 100±0 |
| | K ₂ Cr ₂ O ₇ | 0±0 | 100±0 | 100±0 | 100±0 |
| CaCl ₂ | контроль | 100±0 | 100±0 | 100±0 | 100±0 |
| | K ₂ Cr ₂ O ₇ | 10±0 | 100±0 | 100±0 | 85±7 |

После внесения большинства солей чувствительность дафний к бихромату калия снижается. В результате при концентрации токсиканта 0,4 мг/дм³, вызывающей полную гибель рачков в контроле, в присутствии солей его воздействие не проявлялось, и все рачки сохраняли свою жизнеспособность. При этом такой эффект имел место при испытании большинства концентраций

хлоридов, тогда как соли в виде сульфатов в меньшей степени снижали токсическое действие бихромата калия.

В этой связи интересно отметить, что в отличие от дафний подавление роста морской водоросли *Dunaliella tertilecta* данным токсикантом значительно снижалось только в присутствии сульфат-ионов, тогда как хлорид-ионы солей практически не оказывали влияние на его токсическое действие [6]. Было высказано предположение, что между двухвалентными анионами $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ и SO_4^{2-} существует конкуренция за места связывания на поверхности клетки водоросли.

Для рачков дафний такой механизм взаимодействия, по-видимому, не характерен и поэтому нейтрализующее действие сульфатов на токсичность бихромата проявляется значительно слабее, чем хлоридов.

Таким образом, присутствие в среде для содержания рачков дафний даже в сравнительно небольших концентрациях солей в форме хлоридов вызывает снижение токсического действия бихромата калия. Природу данного явления предстоит рассмотреть в дальнейших исследованиях.

Библиографический список

1. Зубарев В. А. Гидрохимические индексы оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. 2014. Т. 17(2). С. 71–77.
2. Ермолаева В. А. Изучение сезонных изменений жесткости и щелочности питьевой воды // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. Т. 1 (77). С. 44–53.
3. Григорьев Ю. С., Шашкова Т. Л. Методика измерений количества *Daphnia magna* Straus для определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, донных отложений, отходов производства и потребления методом прямого счета (издание 2021 г.). ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06 / ПНД Ф Т 16.1:2:2.3:3.9-06, 39 с.
4. Wang W. Factors affecting metal toxicity to (and accumulation by) aquatic organisms – Overview. DOI: 10.1016/0160-4120(87)90006-7 // Environment International. 1987. Vol. 13. No. 6. P. 437–457.
5. Журавлева М. В., Воробьева О. В., Исакова Е. Ф. Влияние жесткости воды на токсичность тяжелых металлов для *Daphnia magna*. DOI: 10.33624/2587-9367-2021-1(6)-40-48 // Экология гидросферы. 2021. № 1 (6). С. 40–48.
6. Артына Н. К., Григорьев Ю. С., Стравинскене Е. С. Влияние сульфат-иона на чувствительность водоросли *Dunaliella tertiolecta* к бихромату калия // Интеграция науки и образования: современные проблемы, достижения и инновации в области экологии и устойчивого развития : материалы науч. конф. (г. Красноярск, 01–03 ноября 2022 г.). Красноярск : СФУ, 2022. С. 13–15.

ОЦЕНКА ЭВТРОФИКАЦИИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ НА ВОДОРОСЛИ ХЛОРЕЛЛА

К. И. Мошненко, Ю. С. Григорьев

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия,
moshki02@mail.ru, gr2897@gmail.com*

В статье рассматривается проблема оценки эвтрофикации водных объектов. Установлено, что водоросль хлорелла может активно расти в природных и сточных водах без внесения дополнительных питательных веществ. Величину этого роста можно использовать в качестве показателя «трофности» водных объектов.

Ключевые слова: биотестирование, природные и сточные воды, эвтрофикация вод, водоросль хлорелла, биогенные элементы.

Эвтрофикация – это процесс повышения продуктивности водных объектов из-за избыточного поступления в водоем биогенных элементов под действием антропогенных или естественных факторов [1]. Избыточное поступление таких биогенных элементов, как азот и фосфор, приводит к необычайно быстрому росту водных растений, в особенности планктонных микроскопических водорослей и макрофитов, вызывающее «цветение» водоёма [1, 2]. Под «цветением» воды понимают усиленное развитие водорослей, вызывающее изменение цвета воды. Водоём поэтапно заполняется наносами и обогащается биогенными веществами, различными водорослями, которые представляют собой отдельные клетки, их скопления или нити, находящиеся в воде, что способствует развитию планктона, а, следовательно, помутнению воды, отмиранию бентосной растительности, обеспечивающей питание водным животным, невозможности протекания процесса фотосинтеза [2]. После «цветения» микроводоросли отмирают, а на окисление отмершей массы расходуется огромное количество растворенного в воде кислорода, тем самым ухудшая качество воды [1].

На кафедре экологии и природопользования СФУ предложен метод оценки эвтрофикации водоемов посредством измерения роста в пробах культуры водоросли, внесенной без добавления питательной среды [3].

Целью работы является апробация метода определения эвтрофикации вод посредством сравнения роста тест-культуры водоросли хлорелла в сточных и природных водах. В качестве тест-организма использовалась культура водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer. Водоросль выращивалась при постоянной температуре $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$ и интенсивности света 60 Вт/м^2 в культиваторе КВ-06 в соответствии с методикой [4].

Эвтрофикация проб воды оценивалась по росту тест-культуры водоросли хлорелла после отделения от неё компонентов питательной среды. Для отделения хлореллы от питательной среды клетки водоросли осаждались центрифугированием и затем ресуспандировались в дистиллированной воде. Далее

отмытая культура для засева вносилась в дистиллированную воду, в 2% среду Тамия и в пробу тестируемой воды различного разбавления. После засева исходная оптическая плотность тест-культуры водоросли была равна 0,005. Все образцы одновременно помещали в культиватор КВМ-05 для выращивания в одинаковых условиях в течение 22 ч, после чего измерялась оптическая плотность суспензии водоросли при помощи прибора ИПС-03. Химический анализ проб проводился в центре коллективного пользования СФУ.

Для исследования были взяты пробы очищенных сточных вод, поступающие в Майнское водохранилище, а также природных вод р. Енисей, Абаканской протоки, р. Кача и оз. Лесное.

На рисунке 1 представлены результаты исследования роста водоросли хлорелла в пробах воды, отобранных в месте поступления сточных вод, выше и ниже от места поступления в Майнское водохранилище. В таблице 1 приведены результаты химического анализа этих проб.

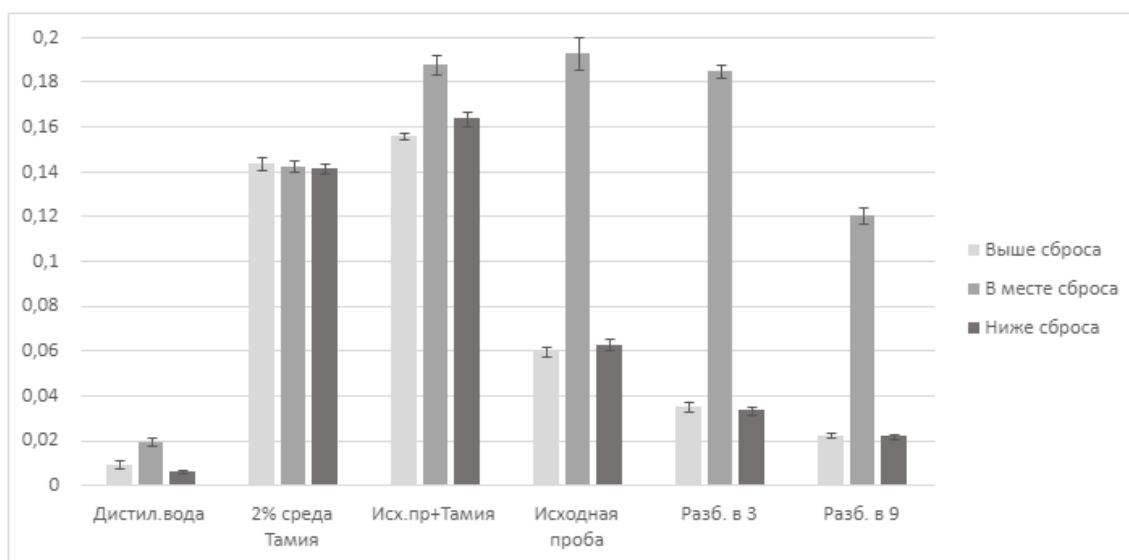


Рис. 1. Оптическая плотность суспензии водоросли после 22 ч выращивания в пробах в месте выпуска, в 500 м выше и ниже от выпуска вод очистных сооружений, поступающих в Майнское водохранилище

За контрольный вариант был принят прирост водоросли в 2% среде Тамия. В варианте с дистиллированной водой прирост тест-культуры водоросли из-за недостатка питательных веществ был незначительным или он отсутствовал совсем. В пробе воды, взятой выше места сброса вод с очистных сооружений, рост водоросли был близок таковому в контрольном варианте. В пробе воды из места сброса очищенных сточных вод наблюдался высокий прирост водоросли, который сохранялся и после ее разбавления в 9 раз. Этот факт свидетельствует о большом содержании веществ в этой пробе, обеспечивающих развитие водоросли. В пробе воды, взятой ниже сброса сточных вод, наблюдался сравнительно небольшой прирост водоросли. Невысокий уровень прироста водоросли в пробе ниже места сброса вод с очистных сооруже-

ний, близкий к таковому в пробе, отобранной выше, указывает на их разбавление несоизмеримо большим объемом вод Майнского водохранилища.

Химический анализ данных проб воды показал повышенное содержание нитратов, фосфатов и ионов аммония в пробе с места выпуска сточных вод, в отличие от проб выше и ниже этого сброса (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты химического анализа проб воды
из Майнского водохранилища, взятых выше, в месте и ниже
сброса очищенных сточных вод очистных сооружений**

| Проба | Содержание аниона С±ΔС, мг/дм ³ | | | Содержание ионов аммония Х±Δ, мг/дм ³ | Перманганатная окисляемость Х±Δ, мг/дм ³ |
|----------------|--|------------------------------|-------------------------------|--|---|
| | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | | |
| Выше сброса | 0,8±0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 0,253±0,076 | 5,29±0,53 |
| В месте сброса | 2,4±0,3 | < 0,1 | 2,2±0,3 | 13±3,9 | 7,85±0,78 |
| Ниже сброса | 0,9±0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 3,8±1,1 | 5,13±0,51 |

Результаты исследования природных вод р. Кача, оз. Лесное, р. Енисей и Абаканской протоки представлены в таблице 2. В таблице 3 показано содержание в них азота и фосфора.

Таблица 2

**Значение оптической плотности (в % от контроля) водоросли хлорелла
после культивирования в пробах природных вод**

| Дата | Значение оптической плотности, в % от контроля | | | |
|-------------------------|--|----------------|----------------------|---------------------|
| | исходная проба и в среде Тамия | исходная проба | разбавление в 3 раза | разбавление в 9 раз |
| Кача (до г. Красноярск) | 69,743 | 68,205 | 41,538 | 27,179 |
| Кача (устье) | 82,118 | 82,118 | 49,306 | 29,861 |
| Озеро Лесное | 76,248 | 44,578 | 25,818 | 22,719 |
| Река Енисей | 108,219 | 40,068 | 27,397 | 21,575 |
| Абаканская протока | 104,417 | 44,346 | 30,389 | 25,088 |

Таблица 3

Результаты химического анализа проб природных вод

| Проба | Содержание анионов, мг/дм ³ | | | Перманганатная окисляемость, мг O ₂ /дм ³ |
|-------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|---|
| | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | |
| Кача (до г. Красноярск) | <0,1 | 2,3±0,3 | 1,0±0,1 | 1,2±0,1 |
| Кача (устье) | <0,1 | 3,4±0,4 | 1,0±0,2 | 1,4±0,3 |
| Озеро Лесное | <0,1 | <0,1 | 0,9±0,1 | 1,1±0,2 |
| Река Енисей | <0,1 | 0,42±0,05 | 0,56±0,07 | 1,0±0,1 |
| Абаканская протока | <0,1 | 0,9±0,1 | 0,37±0,05 | 1,6±0,3 |

В пробах воды из р. Енисей, Абаканской протоки и озера Лесное рост водоросли оказался незначительный, что свидетельствует о низком содержании в воде биогенных элементов. В пробах воды из р. Кача и озера Лесное в варианте с внесением среды Тамия наблюдается некоторое подавление роста

относительно контроля, что указывает на наличие токсикантов в этих пробах. При этом в исходных пробах р. Кача без внесения среды Тамия рост водоросли остается высоким, который сохраняется и после их разбавления. Это свидетельствует о высокой «трофности» вод данной реки. В исходных пробах р. Енисей и Абаканской протоки рост водоросли заметно ниже контрольного варианта, что указывает на низкий уровень эвтрофикации этих вод. Об этом же свидетельствуют результаты определения содержания нитратов и фосфатов в пробах воды из р. Енисей, Абаканской протоки и озера Лесное, которые значительно меньше, чем в пробах из р. Кача.

В варианте с исходной пробой с места выпуска сточных вод Майнского водохранилища с добавлением среды Тамия рост водоросли хлорелла превышает таковой контрольного варианта. В соответствии с методикой [4] стимуляция роста водоросли может быть вызвана присутствием в воде органических соединений и, как следствие, переходом водоросли к миксотрофному типу питания. При миксотрофном питании рост водорослей может быть выше, чем при автотрофном [5].

На рисунке 2 представлены данные роста водоросли в питательной среде с добавлением глюкозы в разных концентрациях. За контрольный вариант был взят рост водоросли на 2% среде Тамия без добавления глюкозы. Как можно видеть, рост водоросли миксотрофно (с добавлением глюкозы) намного превышает рост водоросли автотрофно (без добавления глюкозы). Из этого можно предположить, что на рост водоросли в пробах природных и сточных вод также влияет наличие доступных органических веществ. Их присутствие можно установить, если прирост водоросли в исходной пробе при добавлении среды Тамия будет выше контрольного варианта.

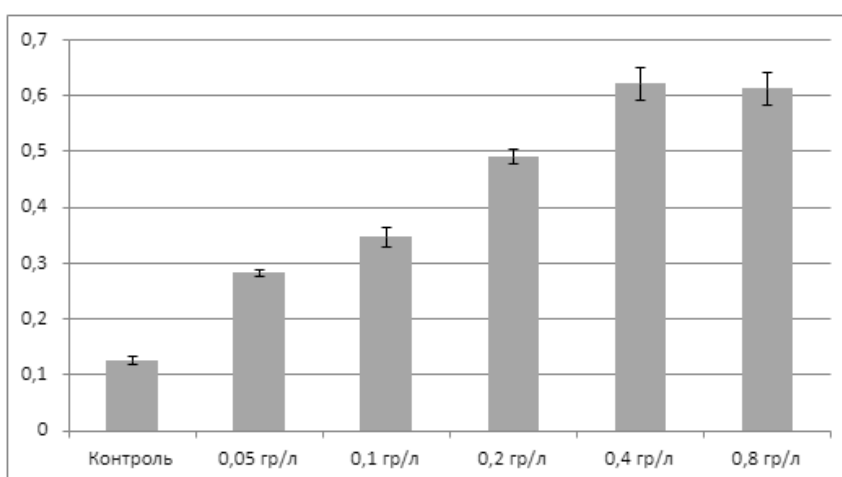


Рис. 2. Оптическая плотность суспензии водоросли после 22 ч выращивания в 2% среде Тамия с добавлением различных концентраций глюкозы

Таким образом, проведенные исследования показывают, что по росту водоросли хлорелла можно судить об уровне эвтрофикации природных и сточных вод.

Библиографический список

1. Немонов Д. В. Проблемы эвтрофикации водохранилищ (водоемов) и пути их решения // Прогрессивные технологии развития : сб. материалов 12-ой Всерос. науч.-практ. конф. СПб. : Изд-во ТМБпринт, 2018. С. 228–231.
2. Петухова Е. О. Причины эвтрофикации водоемов // Аллея науки. 2017. № 14. С. 140–144.
3. Григорьев Ю. С., Лазукова А. С. Водоросль хлорелла в комплексной оценке качества природных и сточных вод // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы : материалы VII Всерос. конф. по водной экотоксикологии. Ярославль : Филигрань, 2020. С. 39–42.
4. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 / Т 16.1:2:2.3:3.7-04. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. М., 2004. 36 с.
5. Sequential heterotrophy-dilution-photoinduction cultivation for efficient microalgal biomass and lipid production / J. Fan, J. Huang, Y. Li et al. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.02.046 // Bioresour Technol. 2012. No. 112. P. 206–211.

ОПАСНОСТЬ И ТОКСИЧНОСТЬ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ЧЕЛОВЕКА

Т. Я. Ашихмина^{1,2}, В. Н. Пугач¹, Е. В. Товстик¹, Т. А. Адамович¹

¹ *Вятский государственный университет,*

г. Киров, Россия, usr08619@vyatsu.ru

² *ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия*

В статье рассматривается опасность и токсичность борщевика Сосновского. Инвазивное растение стремительно распространяется на заброшенных пашнях, лесных опушках, вдоль дорог, по берегам рек. В настоящее время борщевик Сосновского занимает до 15% природных ландшафтов европейской части страны. Он представляет опасность для некоторых видов животных и человека. Максимальное количество токсичных веществ образуется в надземной части растения в период генеративной фазы его развития. Токсическое действие растений данного вида вызвано присутствием в его составе алкалоидов, терпеновых соединений, сапонинов, флавоноидов, а также фуранокумаринов. Содержащиеся в эфирном масле борщевика Сосновского биологически активные вещества оказывают выраженное аллелопатическое действие на прорастание и развитие окружающих его видов растений. При выполнении работ по уничтожению борщевика следует работать в защитной одежде, не допускать участия неподготовленных людей, особенно детей, избегать контактов с растениями и их частями, не трогать голыми руками. Строгое соблюдение правил индивидуальной защиты при обращении с борщевиком необходимо для избежания ожогов.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, инвазивный вид, распространение, правила обращения, меры борьбы.

Проблема инвазий чужеродных видов – одна из наиболее актуальных экологических проблем современности. Биологические инвазии являются одной из наиболее опасных угроз природному биоразнообразию, кроме того, они представляют серьезную опасность для здоровья людей.

Одним из наиболее опасных интродуцентов является борщевик Сосновского, отнесённый к категории ядовитых растений. Стремительное распространение борщевика нарушает экологическое равновесие и становится серьёзной экологической и экономической проблемой, как в нашей стране, так и во многих европейских странах [1, 2]. По некоторым подсчётам, в настоящее время заросли борщевика занимают до 15% природных ландшафтов европейской части страны. Многолетние наблюдения показывают, что неистребимый сорняк ежегодно занимает 10% новых территорий, при этом заселённые территории с трудом освобождает. Ориентировочная площадь произрастания борщевика Сосновского на невостребованных землях сельскохозяйственного назначения в Кировской области составляет более 82 тыс. га. Уничтожение данного сорного растения экономически затратно, требуется более 50 тыс. руб. на 1 га. В целом на землях региона затраты оцениваются в более чем 4 млрд руб.

Борщевик Сосновского неконтролируемо распространяется в соседствующие с ним экосистемы, при этом захватывает территорию, подавляет произрастание других видов растений [3]. В связи с этим борщевик Сосновского характеризуется некоторыми свойствами так называемых «конкурентно сильных» видов: из-за ядовитости его мало повреждают растительноядные животные; он быстро растёт и уже ранней весной значительно опережает аборигенные растения; способен размножаться самосевом [4, 5].

Данное сорное растение цветёт один раз в жизни, но при этом может образовать до 70 тыс. жизнеспособных семян. В связи с чем через 10–15 лет после его вселения на территорию, растения других видов на ней уже отсутствуют. Особенностью семян борщевика является наличие выростов, или «крыльев», которые значительно повышают летучесть и способность к распространению семян на новых территориях. Большие широкие листья борщевика появляются весной раньше, чем у трав. Они затеняют почву и угнетают рост других растений. Под борщевиком исчезает даже дернина, и осенью, когда листья борщевика увядают, под ним обнажается почва, подверженная смыву. Таким образом, происходит замедление исходной сукцессии и формирование новой, чуждой природе данной местности [6].

Другой опасной особенностью борщевика является разное качество семян. Ежегодно растение образует семена в большом количестве, но не все они прорастают весной следующего года. В первый год обычно прорастает от 20 до 70%; на второй год – от 30 до 60% от не проросших в первый год семян. Некоторые семена борщевика могут прорасти лишь через 5–6 лет или даже через 12–15 лет. Главная проблема борщевика в том, что он не просто растёт, а ещё и размножается, стремительно расширяя ареал своего существования. Всё это усложняет задачу по контролю очагов его инвазии.

Борщевик привлекает местных насекомых обилием нектара. Это отличный медонос: на каждом гектаре во время его цветения активно работают до 500–600 пчёл, с 1 га цветущих посевов можно получить от 100 до 300 кг мёда. В борщевике немало цинка, меди, марганца, железа и достаточно кальция, по обеспеченности кобальтом его зелёная масса приближается к бобовым травам [6].

Опасен борщевик для некоторых животных и человека, даже в том случае, когда у него весной появляются два-три листа, прикосновение к которым в жаркие, солнечные дни вызывает фотохимические ожоги (некоторые животные от фитоожогов не страдают – спасает шкура). Особая опасность борщевика Сосновского заключается в том, что прикосновение к растению может не вызывать неприятные ощущения сразу. Однако спустя некоторое время, особенно на ярком летнем солнце, на коже появится сильнейший ожог – крайне болезненный и с трудом поддающийся лечению. Содержащийся в тканях растения сок содержит токсичные вещества, эффект воздействия которых усиливается под воздействием солнечного света. Попадание сока борщевика в глаза может привести к ожогу роговицы и, как следствие, к слепоте. Даже аэрозоль сока борщевика и его пыльца при высоких концентрациях могут вызвать отёк гортани, верхних частей пищевода. Длительное пребывание в зарослях борщевика без маски может вызвать головокружение и потерю сознания, при аллергии на пыльцу борщевика может наступить смерть в результате асфиксии. Ядовиты все части борщевика Сосновского. Максимальное количество токсичных веществ образуется в надземной части растения в генеративную фазу его развития. По данным литературных источников [7], токсичность растений этого вида составляет 75 мг на 1 кг веса.

Токсическое действие борщевика Сосновского вызвано присутствием алкалоидов, терпеновых соединений, сапонинов, флавоноидов, а также фуранокумаринов. Фототоксичность борщевика объясняется тем, что его сок содержит обширную группу биологически активных веществ – фуранокумаринов (фурокумаринов), эфирных масел и др. [8]. Фурокумарины – кислородсодержащие гетероциклические соединения, в которых фурановый цикл конденсирован с бензольным циклом кумаринового ядра. Борщевик содержит до 24% жирного масла, в составе которого петрозелиновая (56,3% общего объёма масла), линолевая (24,9%), олеиновая (12,2%), пальмитиновая (5,0%), стеариновая (0,6%), линоленовая (0,4%) кислоты и их эфиры [9]. Содержащиеся в эфирном масле борщевика биологически активные вещества имеют выраженное аллелопатическое (тормозящее или ингибирующее) действие на прорастание и развитие окружающих видов растений [10, 11]. В составе сока борщевика Сосновского присутствуют: 1-октанол, гексилбутират, гексилизовалерат, октилизобутират, октилизовалерат, октилкапронат, октилацетат, а также в его составе присутствуют терпеноиды α -пинен, борнеол, карвакрол, карвеол, мирцен, лимонен, оцимен. Ряд из них, например, α -пинен, β -мирцен, лимонен обладают выраженным токсическим действием [12, 13].

Фурукумарины обладают фотосенсибилизирующим действием и ответственны за фотодерматозы, вызываемые попаданием на кожу сока борщевика. При попадании на кожу человека они вызывают сильное повышение чувствительности организма к свету. Под влиянием солнечного света, особенно ультрафиолетовой части его спектра, эти вещества не только усиливают её пигментацию, но и приводят к дерматитам в виде серьезных ожогов. Даже если контакт с соком или растением произошел в тёмное время суток, то на следующий день при облучении кожи естественным светом проявляются такие же клинические симптомы, как и при поражении кожи днём. В вечернее или ночное время, случайно соприкоснувшись с борщевиком, можно не заметить попадание сока повреждённых листьев или стеблей на кожу, но потом появятся неприятные симптомы, непонятные для человека. Самые сильные фитоожоги борщевик вызывает, соприкасаясь с влажным телом в жаркие солнечные дни. В некоторых случаях сок борщевика Сосновского может вызвать у человека токсикологическое отравление, которое сопровождается нарушением работы нервной системы и сердечной мышцы. Дети и подростки, случайно или неосторожно обращаясь с борщевиком, могут серьёзно пострадать. Как правило, сразу болевые ощущения не возникают, но позже участки тела, на которые попал сок, начинают краснеть, появляются волдыри, кожа отекает, через две недели шелушиться. При сильных ожогах поднимается температура, начинается головная боль, лихорадка, образуются глубокие долго незаживающие язвы. Темные пигментные пятна и шрамы от волдырей сохраняются до шести месяцев, а в более тяжёлых случаях – на годы или даже на всю жизнь. Известны случаи летальных исходов, особенно если поражаются слизистые, прежде всего, рот и гортань. У склонных к аллергии людей рецидив может дать прошлогодний ожог [6].

У сока борщевика отмечают и другие более опасные свойства: он обладает мутагенным действием и угнетает деление клеток. В связи с тем, что сок борщевика Сосновского вызывает нарушения структуры хромосом (мутагенный эффект), силос данного растения может иметь отложенное по времени токсическое воздействие на животных. Молоко коров, которых кормили борщевиком, приобретало неприятный привкус. Поедание растения вызывало галлюцинации, а потомство животных, питавшихся растением, рождалось с генными мутациями [4, 6, 11, 14].

В ходе борьбы с борщевиком следует избегать контактов с растениями и их частями, не трогать голыми руками, а в период цветения лучше не находиться рядом со скоплениями данного растения (сок растения опасен несколько часов после того, как оно срезано). Работать в защитной одежде (водонепроницаемый комбинезон, сапоги, рукавицы, очки, лицевая повязка), носить косой с длинной ручкой, не допускать участия неподготовленных людей, особенно детей.

Для избежания ожогов, вызванных борщевиком Сосновского необходимо соблюдать следующие правила:

– научиться распознавать борщевик, чтобы избегать контакта с ним. Изучить его характерные признаки: тройные листья и красные или зелёные стебли;

– надевать закрытую одежду с длинными рукавами, брюки и перчатки. Это поможет предотвратить контакт с растением и сократить риск получения ожога;

– если на участке обнаружен борщевик, то его необходимо удалить правильным образом: выкопать растение с корнем, упаковать его в полиэтиленовый мешок для последующей утилизации; чем раньше начнётся уничтожение борщевика на участке, тем быстрее и проще получится от него избавиться. Удалить несколько появившихся на участке всходов можно за один сезон, а вот для того, чтобы избавить участок от многолетних плантаций борщевика Сосновского потребуется гораздо больше усилий;

– нельзя допускать вызревание семян борщевика и их распространение; в период цветения борщевика, его проще всего уничтожить;

– если не удалось уберечь себя от контакта с борщевиком, и его сок попал на кожу необходимо сразу промокнуть его платком или салфеткой (не размазывая), смыть мыльной водой, смазать место контакта густой мыльной пеной и сразу закрыть поражённое место одеждой или повязкой для исключения попадания на него ультрафиолета как минимум два дня. Рекомендуется повязку или салфетку обработать фурацилином, или боль хорошо снимают салфетки с новокаином. Для лечения ожогов подойдут спреи на основе облепихового масла, либо аэрозоль «Пантенол». В серьёзных случаях необходимо обратиться к врачу [6].

Борьбу с борщевиком Сосновского необходимо проводить на постоянной основе, искоренять его в тех местах, где он появился и появляется. Решать вопрос необходимо по двум основным причинам:

– распространение борщевика Сосновского губительно для природных экосистем;

– борщевиком зарастают населённые пункты, что делает условия жизни в них опасными для человека.

В природе конкурентов у борщевика почти нет, поэтому к активным действиям по борьбе с этим стремительно распространяющимся инвазивным растением необходимо приступить как можно быстрее, используя все возможные способы и имеющиеся методы. Начинать борьбу с ним следует ранней весной, когда растения ещё маленькие, слабые и легче уничтожаются. Летом, когда стебель достигнет трёх метров, справиться с борщевиком значительно труднее, и остановить его размножение практически невозможно. Основные способы борьбы с борщевиком – выкашивание, выкапывание корней, сбор соцветий, опрыскивание общеистребительными системными гербицидами на основе глифосата, а также выпас животных, пока листья молодые и не набрали ядов. Сплошные заросли иногда можно срезать бульдозером, однако особенно важно убирать борщевик с тех участков, где он ещё единичен,

особенно из полуприродных сообществ (пастбища и сенокосы, лесопарки и рекреационные леса и т. п.).

Выкашивание борщевика даёт результаты, если его проводить до созревания семян и систематически (не менее трёх раз за лето) в течение нескольких лет (3–4 года подряд). Выкашивать растение нужно в нежно-салатном виде, срезая основной стебель на высоте до 10 см от земли. Если срезать побеги слишком рано, то через некоторое время или на следующий год растение даст новые побеги. Если срезать побеги в фазе цветения, то часть завязей может дозреть уже после отделения побега от корня.

Выкапывание корней эффективно для небольших колоний борщевика. Приступать к этой работе следует ранней весной, пока растения еще небольшие, во влажную погоду. Корни выкапывают поштучно, перерубая острой лопатой на глубине 10–12 см, растение с листьями выдергивают из земли. Этот метод считается самым эффективным. Если дважды в год перерезать основной корень на глубине 10 см, то от борщевика можно избавиться через четыре года.

Срезание и сбор соцветий проводят, когда цветы уже сформировались, но ещё не осыпались; срезанные соцветия аккуратно упаковывают в полиэтиленовые мешки и отвозят к месту уничтожения. Их сжигают или закапывают на такую глубину, чтобы прорастание семян было исключено.

Гербициды целесообразно использовать в том случае, когда к корневой системе растений трудно подобраться. Препараты на основе глифосата относятся к последнему поколению препаратов и абсолютно безопасны для человека и домашних животных. Опрыскивать растения надо в период активного роста, до наступления цветения – в это время они более чувствительны к химикатам. В основном помогает множественная обработка гербицидами.

Один из немногих эффективных способов борьбы с растением – плотная посадка топинамбура в местах его обитания, а также посадка других замещающих растений: люпина, пырея, костреца, козлятника, злаковых и газонных трав.

Бороться с данной инвазией необходимо комплексно и согласованно, привлекать население, не игнорировать проблему, а решать её.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 1220401000325.

Библиографический список

1. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control / R. N. Mack, D. Simberloff, W. M. Lonsdale et al. DOI: 10.1890/1051-0761(2000)010[0689:-BICEGC]2.0.CO;2 // Ecological Applications. 2000. Vol. 10. No. 3. P.689–710.

2. Мониторинг распространения *Heracleum sosnowskyi* на урбанизированных территориях по данным дистанционного зондирования Земли / Т. Я. Ашихмина, В. В. Рутман, Т. А. Адамович, Е. В. Товстик. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-3-073-080 // Теоретическая и прикладная химия. 2023. № 3. С. 73–80.

3. Идентификация и изучение свойств *Streptomyces geldanamycininus* ЗК9, выделенного из почвы под зарослями борщевика Сосновского / Е. В. Товстик, А. В. Сазанов, А. В. Бакулина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-053-060 // Теоретическая и прикладная химия. 2019. № 2. С. 53–60.
4. Карасёва Е. И., Бутвиловский В. Э. Ядовитые грибы и растения. Минск : БГМУ, 2014. 88 с.
5. Дубровин А. П. Биотестирование активности водорастворимых веществ, содержащихся в плодах *Heracleum Sosnowskyi* Manden // Вестник Московского областного университета. 2009. № 1. С. 56–59.
6. Борщевик Сосновского и борьба с ним [Электронный ресурс]. – URL: <https://rsc21.cap.ru/sitemap.aspx?id=808498> (дата обращения: 20.03.2024).
7. Зориков П. С. Ядовитые растения леса. Владивосток : Дальнаука, 2005. 120 с.
8. Черняк Д. М. Биологическая активность борщевиков // Тихоокеанский медицинский журнал. 2013. № 2. С. 70–72.
9. Куренкова Е. М., Стародубцева А. М. Растения рода *Heracleum* L. на сенокосах и пастбищах лесной зоны европейской части России // Кормопроизводство. 2018. № 5. С. 1–8.
10. Чегодаева Н. Д., Маскаева Т. А., Лабутина М. В. Аллелопатическое влияние борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на культурные растения // Фундаментальные исследования. 2015. № 2. Ч. 26. С. 5845–5849.
11. Исследование токсического, митозмодифицирующего и мутагенного действия борщевика Сосновского / Д. С. Песня, Д. А. Серов, С. А. Вакорин, И. М. Прохорова // Ярославский педагогический вестник. 2011. № 4. Т. III. С. 93–98.
12. Раловец А. Д. Содержание веществ с инсектицидными и репеллентными свойствами в растениях семейства Зонтичные (Umbelliferae) флоры Беларуси // Сборник научных трудов ВНИИ овцеводства и козоводства. Ставрополь : ВНИИОК, 2014. Т. 2. № 7. С. 314–318.
13. Лацерус Л. А., Барышников А. Ю. Противоопухолевая активность терпеноидов семейства Pinaceae и потенциальные мишени их действия // Российский биотерапевтический журнал. 2012. Т. 11. № 3. С. 9–14.
14. Рожкова И. С., Фельдман Б. В. Ядовитые растения. Астрахань : Астраханский ГМУ, 2015. 107 с.

ЛЕТНИЙ ФИТОПЛАНКТОН СЕБЕЖСКОГО ОЗЕРА (ПСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

П. А. Войтёнок, Т. В. Дрозденко

*Псковский государственный университет, г. Псков, Россия,
tboichuk@mail.ru*

В августе 2023 года проведены исследования планктонных водорослей Себежского озера. Определен таксономический состав фитопланктона на каждой станции исследования, рассчитаны численность и биомасса, а также представлены эколого-географические характеристики микроводорослей.

Ключевые слова: фитопланктон, численность, биомасса, эколого-географический анализ, сапробность, Себежское озеро.

Гидробиологический мониторинг является необходимым мероприятием для выявления изменений, происходящих в водных объектах под воздействием природных факторов и антропогенной деятельности [1]. В качестве биоиндикатора экологического состояния водных экосистем на протяжении последних десятилетий широко используется фитопланктон. С помощью видового состава и параметров развития микроскопических водорослей можно судить о влиянии внешних факторов на состояние фитопланктонных сообществ, а также прогнозировать возможные изменения этих показателей во времени и пространстве [2]. Массовое развитие фитопланктона способствует «цветению» воды, что вызывает значительное снижение содержания кислорода в воде, ведет к ухудшению органолептических свойств и потере эстетической привлекательности водного объекта [3].

Озеро Себежское, расположенное в Псковской области, является одним из крупнейших в регионе. Озеро является проточным, имеет площадь около 16,0 км², среднюю глубину – 5 м, максимальную – 15 м [4, 5].

Несмотря на то, что водоем включен в состав Себежского национального парка и служит местом для отдыха и активного времяпровождения, он подвержен значительной антропогенной нагрузке [5]. В г. Себеж отсутствует единая система канализации, и ежегодно более 30 тыс. м³ сточных вод сбрасываются в озера города, в том числе и в Себежское, что негативно сказывается на качестве воды и способствует эвтрофикации водоема [6].

Целью данного исследования стало изучение видового состава, численности и биомассы, а также экологических характеристик фитопланктона Себежского озера в августе 2023 года.

Пробы отбирали с поверхностного слоя (50 см) четырех прибрежных станций Себежского озера (рис. 1) и фиксировали формалином. В лаборатории комплексных экологических исследований ПсковГУ пробы концентрировали осадочным методом и проводили качественный и количественный анализ фитопланктона по общеизвестным формулам [7].

В ходе исследования обнаружено 62 таксона фитопланктона рангом ниже рода из 7 систематических групп (рис. 2). Наибольшее число видовых таксонов микроводорослей принадлежало диатомеям (23 вида), цианобактериям (16) и зеленым (13) водорослям. По 3 видовых таксона приходилось на охрофитовые, эвгленовые и харовые водоросли, что составляло по 5% от общего видового богатства. Из отдела Cryptista был выявлен лишь *Cryptomonas* sp.

Согласно качественному анализу фитопланктона по станциям показано, что число видовых таксонов изменялось от 17 на ст. 4 до 39 на ст. 1, составляя в среднем 28,5 вида на станцию. Планктонная альгофлора ст. 1 характеризовалась как диатомово-зелено-цианобактериальная, стт. 2 и 3 – диатомово-цианобактериально-зеленая и ст. 4 – цианобактериально-диатомовая.



Рис. 1. Карта-схема Себежского озера со станциями отбора проб

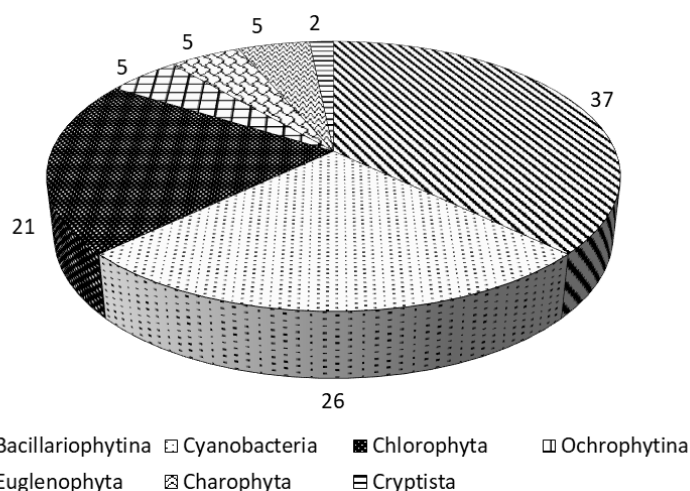


Рис. 2. Таксономический состав летнего фитопланктона Себежского озера, %

Количественные показатели фитопланктона в зависимости от станции изменялись в широких пределах, что свидетельствует о разном содержании биогенных элементов в точках отбора проб [1]. Наименьшей численность микроводорослей была на ст. 3 и составляла 1,32 млн кл./л. На ст. 2 отмечено 1,51 млн кл./л микроводорослей, на ст. 1 – 4,44 млн кл./л, а на ст. 4 численность фитопланктона достигала 347,8 млн кл./л. Средняя численность фитопланктона на всей исследованной акватории составляла 88,8 млн кл/л.

Биомасса также варьировала в широких пределах, составляя в среднем 7,20 мг/л. Минимальные значения показаны на стт. 2 и 3 – 0,42 и 0,49 мг/л соответственно. На ст. 1 биомасса водорослей составляла 2,3 мг/л, а на ст. 4 была почти в 11 раз больше – 25,29 мг/л.

Очень высокие количественные показатели фитопланктона на ст. 4 свидетельствуют о наличии усиленных процессов эвтрофикации в данном месте отбора проб. Стоит отметить, что на данной станции около 50% видового богатства составляли представители отдела Cyanobacteria. Среди них основной вклад в количественные показатели вносила колониальная хлорококковая водоросль *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, достигая 89,7% от общей численности (312,0 млн кл/л) и 80,2% от общей биомассы (20,28 мг/л). Также данная водоросль отмечена среди доминант и на всех остальных станциях.

Согласно эколого-географическому анализу по распространению доминировали космополиты – 54,8% от общего числа видов. На бореальные формы приходилось 6,5%, голарктические – 4,8%. Единично был встречен циркумбореальный вид *Colacium cyclopicola* (Gicklhorn) Woronichin & Porova. Остальные микроводоросли данных по распространению не имели.

По приуроченности к местообитанию 59,7% микроводорослей приходилось на планктонные формы, 25,8% – на планктонно-бентосные, 12,9% – на бентосные. Также отмечены представители обрастаний – 1,6%.

По отношению к минерализации воды большинство водорослей являлись индифферентами – 45,2%. На долю галофилов и галофобов приходилось 12,9% и 3,2% соответственно. У остальных микроводорослей информации по галобности не было.

Среди зарегистрированных водорослей по отношению к pH воды доминировали алкалифилы – 22,6% от общего числа. Индифференты составляли 11,3%, алкалибионты – 4,8%, ацидофилы – 1,6%.

Проведенный сапробиологический анализ показал, что среди выявленных видов-индикаторов сапробности большинство микроводорослей являлись β -мезосапробионтами (34,3%). На втором месте находились β -о, о- β -мезосапробионты – 22,9%, на третьем – о- α -мезосапробионты – 14,3% (рис. 3).

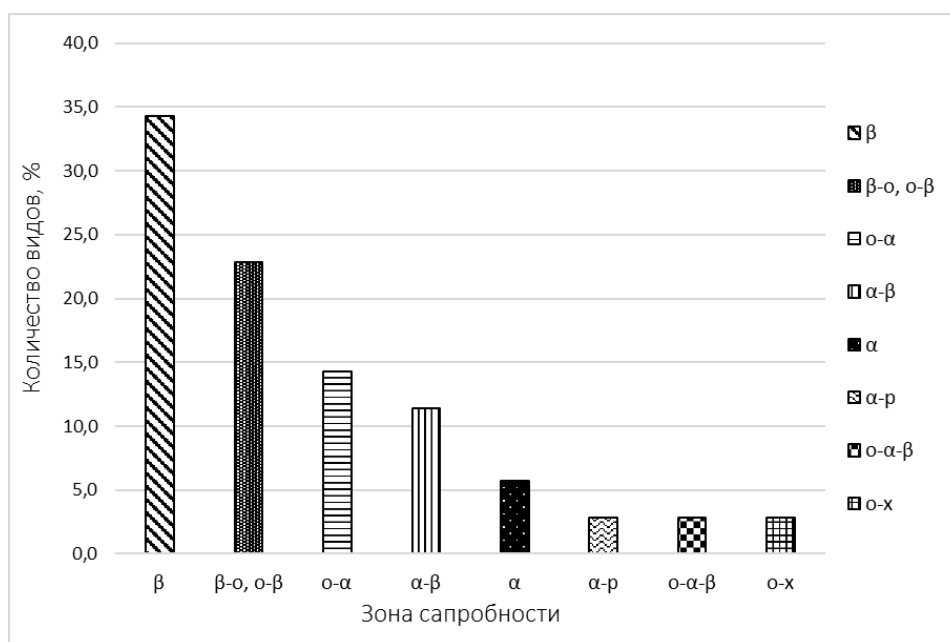


Рис. 3. Распределение видов-индикаторов сапробности Себежского озера

Таким образом, в летнем фитопланктоне Себежского озера преобладали широко распространенные пресноводные планктонные виды микроводорослей, предпочитающие слабощелочные воды и свидетельствующие об умеренном загрязнении акватории.

Библиографический список

1. Ашихмина Т. Я., Кутявина Т. И., Домнина Е. А. Изучение процессов эвтрофикации природных и искусственно созданных водоемов (литературный обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 6–13.
2. Баринова С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Экологические и географические характеристики водорослей индикаторов // Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды : монография. М. : Всерос. науч.-исследоват. ин-т охраны природы, 2000. Ч. II. С. 60–145.
3. Игошкина И. Ю. Оценка экологического состояния водоема природного парка «Птичья гавань» (г. Омск) по показателям развития фитопланктона : спец. 03.02.08 : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Омск, 2011. 18 с.
4. Себежское озеро [Электронный ресурс]. – URL: <https://waterresources.ru/ozera/sebezhsкое-озеро> (дата обращения: 27.02.2024).
5. Себежский район [Электронный ресурс]. – URL: <https://priroda.pskov.ru/sebezhsкий-район> (дата обращения: 27.02.2024).
6. Мусатов В. Ю., Фетисов С. А., Конечная Г. Ю. Себежское Поозерье // Водноболотные угодья, внесённые в Перспективный список Рамсарской конвенции. Wetlands International, Global Series. М., 2000. Т. 3. С. 69–75.
7. Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона : методическое руководство. М. : Изд-во «Университет и школа», 2003. 157 с.

САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕКОТОРЫХ РОДНИКОВ г. ПСКОВА И ПСКОВСКОГО РАЙОНА В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

И. В. Тимофеев, Л. В. Никольская

*Псковский государственный университет, г. Псков, Россия,
timofeew.g2001@yandex.ru, lv9113599666@yandex.ru*

В статье представлены результаты санитарно-химического анализа и оценки качества воды из 11 источников нецентрализованного водоснабжения – природных родников, расположенных в г. Пскове и Псковском районе. В состав количественного химического анализа (КХА) входило девять гидрохимических показателей.

Ключевые слова: родники, загрязнение, источники водоснабжения, санитарно-химическое состояние.

Несмотря на улучшение качества питьевой воды централизованных источников водоснабжения г. Пскова, часть населения предпочитает использовать для питьевых целей родниковую воду. Родники являются природными источниками воды, часто обладающими чистотой и уникальными характери-

стиками. Однако, современная деятельность человека может негативно повлиять на качество воды родников [1]. Весенний период является особенно важным временем для изучения санитарно-химического состояния родников, так как после зимы наблюдается повышенный риск загрязнения воды. Важность изучения санитарно-химического состояния родников в весенний период подчеркивается значимым влиянием этих водных объектов на здоровье человека и экосистемы в целом [2]. Однако, следует отметить, что большинство родников не поставлены на учет в государственном водном реестре, поэтому качество воды в них не контролируется государственными службами.

Целью наших исследований стала оценка качества воды родников, как потенциальных источников водоснабжения, по санитарно-химическим показателям в неблагоприятный весенний период.

В качестве объектов исследования были выбраны наиболее востребованные городскими жителями родники в черте города Пскова и на незначительном удалении от города: на территории прилегающих деревень, СНТ в Псковском районе. На рисунке 1 представлены места размещения данных источников [3].

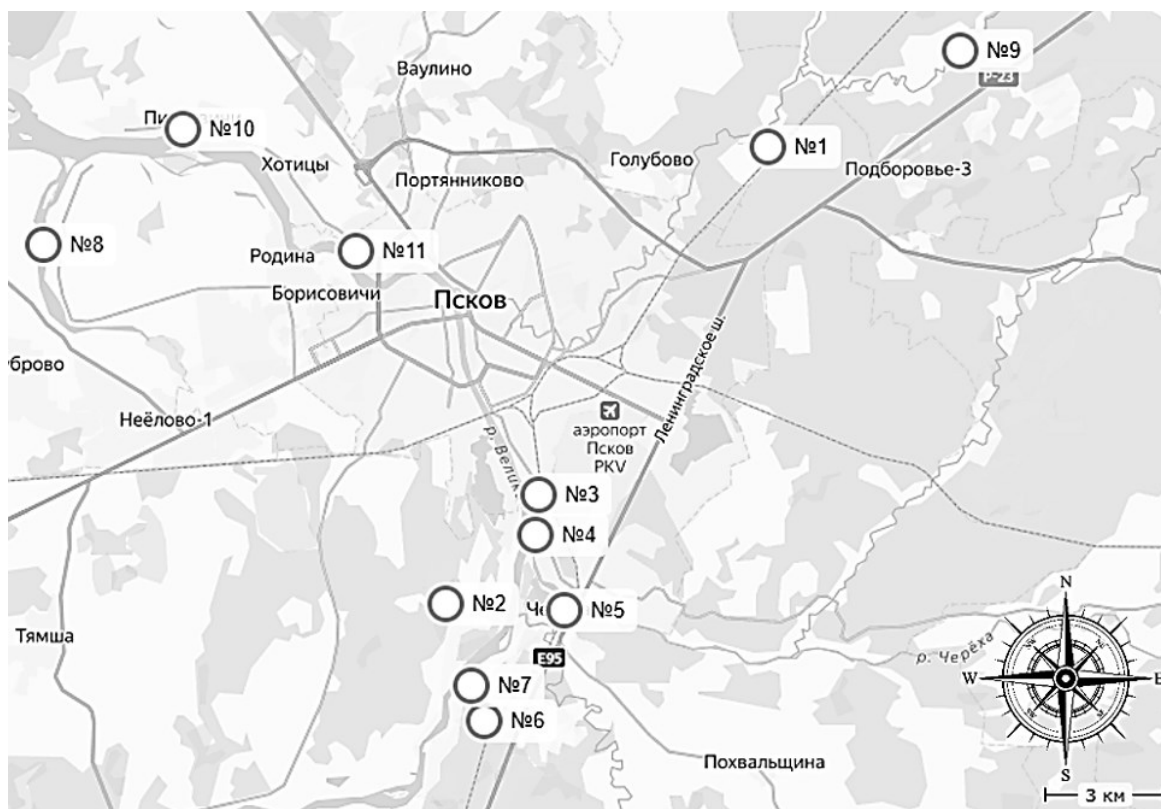


Рис. 1. Карта-схема изученных родников Псковского района.

- 1 – ключ/родник «Борисов ручей», 2 – ключ/родник в СНТ «Пристань»,
- 3 – ключ/родник на улице Советской Армии г. Псков, 4. – ключ/родник Св. Пантелеймона, 5 – ключ/родник д. Черёха, 6 – ключ/родник д. Глоты,
- 7 – ключ/родник в лесу близ д. Глоты, 8 – ключ/родник д. Наволок,
- 9 – ключ/родник д. Черняковицы, 10 – ключ/родник д. Писковичи,
- 11 – ключ/родник на улице Отрадной, г. Псков

Так как нашей основной задачей являлось определение пригодности того или иного родника для питьевого использования, поэтому определялись только основные показатели. Довольно узкая выборка исследуемых показателей объясняется рекогносцировочным характером исследования, так как первоначальной задачей для комплексной оценки качества воды стало выявление родников, находящихся в группе риска загрязнений.

Перечень гидрохимических показателей включал в себя: температуру воды при отборе, цветность, общую жёсткость, общую щёлочность и содержания следующих ионов: аммония, нитритов, гидрокарбонатов, кальция, магния.

Для выполнения исследований использовались следующие методы: потенциометрический, спектрофотометрический, титриметрический. Количественный химический анализ выполнялся по стандартным методикам [4]

По результатам исследований была дана оценка качества воды, соответствия химического состава воды нормативам качества по СанПиН 1.2.3685-21 (раздел 3).

В весеннее время температура воды исследуемых родников варьировала в пределах от 6,4 до 10,7 °С, в среднем составляя 7,78 °С. Низкие температурные условия в воде снижают скорость биохимических процессов и подавляют развития ряда микроорганизмов, в т.ч. и патогенных. При низкой температуре вода также имеет физиологическую ценность, так как она лучше усваивается организмом и эффективнее утоляет жажду. Кроме того, в большинстве родников цветность воды не превышала порогового значения 30°, по платиново-кобальтовой шкале соответствуя рангу «очень малой цветности».

Из-за особенности Псковской области, выражающейся в высоком содержании карбонатных пород, одними из наиболее важных показателей являются общая жёсткость и уровень содержания солей жёсткости. Исследуемая нами территория по геоморфологическим данным является основной частью сосредоточения карбонатной толщи верхнего девона. На показатель общей жесткости воды влияют такие катионы, как кальций, магний, стронций, железо, марганец. Они взаимодействуют с анионами (гидрокарбонатами, сульфатами, хлоридами, силикатами), образуя соединения – соли жёсткости. Но чаще всего понятие жёсткости воды принято связывать с катионами кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}).

Показатель жёсткости (рис. 2) имел широкий размах от 1,0 до 9,2 °Ж, что можно объяснить разной величиной приближенности карбонатных пород к водоносному слою грунтовых вод. Во всех пробах наибольший вклад имели соли кальция (2–110 мг/дм³), нежели магния (0,5–44 мг/дм³), что подтверждает прямое влияние карбонатных пород на химический режим грунтовых вод.

Результаты анализа свидетельствуют о том, что преобладающий вклад вносят гидрокарбонаты, определяющие временную жесткость. Концентрации гидрокарбонатов в некоторых родниках (10, 11) превышают 600 мг/м³.

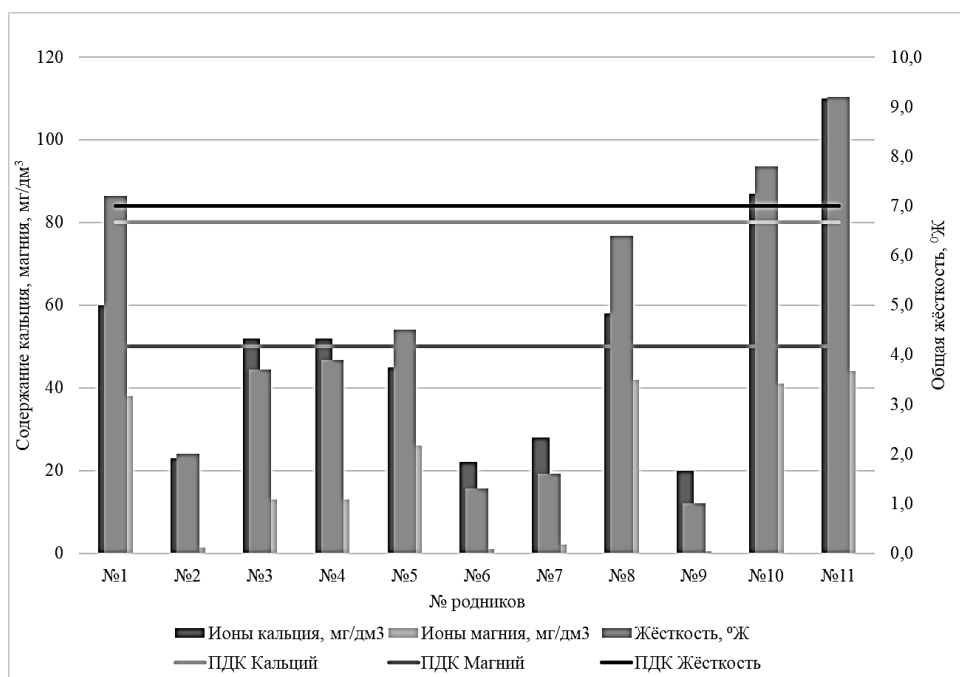


Рис. 2. Значения общей жёсткости и содержание солей жёсткости в воде родников в весенний период

Для оценки влияния возможного антропогенного загрязнения определили содержание ионов аммония и нитритов. В родниках № 1, 3, 4, 8, 10 и 11 отмечено повышенное содержание ионов аммония (рис. 3). При этом в родниках 10 и 11 этот показатель превышает допустимое значение примерно в два раза. В роднике 11 выявлено превышение содержания нитрит-ионов над нормативными значениями. Такое высокое присутствие биогенов может свидетельствовать об антропогенном загрязнении грунтовых вод.

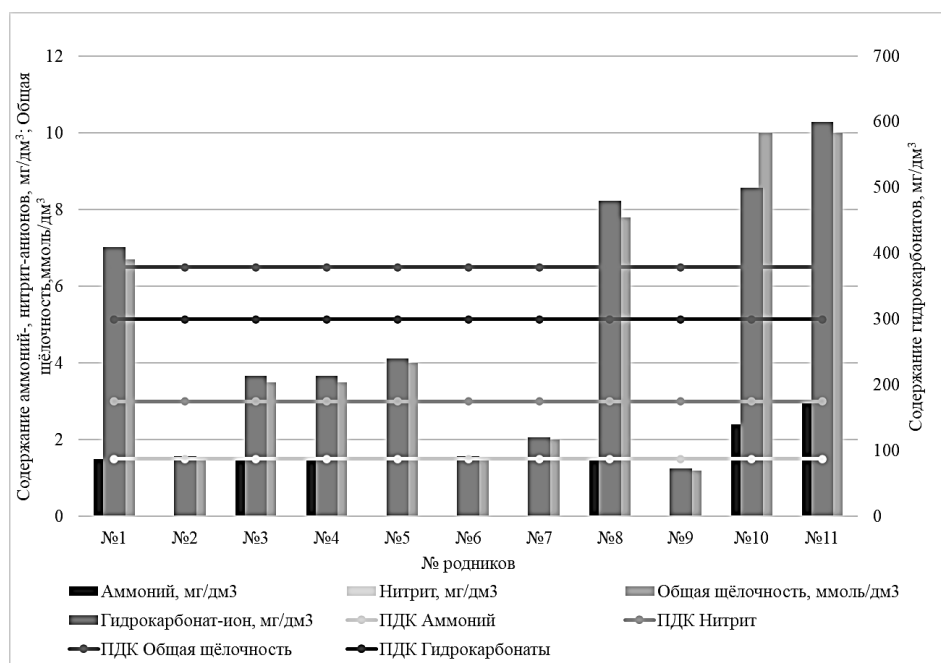


Рис. 3. Содержание биогенных элементов, гидрокарбонат-ионов и значение общей щёлочности в воде родников в весенний период

В результате проведенного исследования на основании оценки качества воды родников предложены рекомендации по использованию данных объектов в качестве источников питьевого водоснабжения. В качестве допустимых к использованию рекомендован родник в пригородной зоне в районе Череха. Дополнительно вода из данного источника исследована в аккредитованной лаборатории по стандартному набору показателей. Превышений нормативных показателей в воде данного родника не выявлено.

Библиографический список

1. Альмитова Л. И., Макаева В. И. Гигиеническая оценка качества родниковой воды // Ветеринарный врач. 2023. № 6. С. 15–19.
2. Оценка качества воды родников г. Ростова-на-Дону на основе микробиологических и токсикологических показателей / М. А. Сазыкина, З. С. Кхатаб, Е. М. Кудеевская, И. С. Сазыкин // Вода: химия и экология. 2013. № 1 (55). С. 102–107.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 200000. Издание второе. Серия Ильменская. Лист О-36-XXVI (Холм). [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.geokniga.org/maps/29713?ysclid=lumnw63tck390687621> (дата обращения: 18.03.2024).
4. Аксёнов В. И., Ушакова Л. И., Ничкова И. И. Химия воды: аналитическое обеспечение лабораторного практикума : учеб. пособие. Екатеринбург, 2014. 140 с.

САНИТАРНО-БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДЫ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ДОН В АКВАТОРИИ гг. РОСТОВА-НА-ДОНУ И АЗОВА

Д. А. Седова¹, М. А. Морозова², Е. А. Пучкина¹, И. С. Березинская²
¹ Южный федеральный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия, darsedova@sfedu.ru,
² ФБУН «Ростовский НИИ микробиологии и паразитологии»
Роспотребнадзора, г. Ростов-на-Дону, Россия

В статье приводятся данные о санитарно-бактериологическом состоянии воды в нижнем течении р. Дон и в р. Темерник в акватории городов Ростова-на-Дону и Азова. Было проанализировано 54 пробы воды девяти биотопов (8 – р. Дон, 1 – р. Темерник). Проведен количественный и качественный учет обобщенных колиформных бактерий, *Escherichia coli*, энтерококков, условно-патогенных (*Pseudomonas aeruginosa*) и патогенных (род *Salmonella*) бактерий. В районах ростовского и азовского водозаборов отмечено наименьшее число нестандартных проб. На пробы, отобранные в районах зон рекреации, в местах ниже сброса сточных вод и в р. Темерник приходится наибольшее количество нестандартных проб, особенно в летний период; в апреле и июне обнаруживались патогенные бактерии рода *Salmonella*. Установлено, что 77% проб не соответствовали требованиям СанПиН 1.2.3685-21.

Ключевые слова: Нижний Дон, бактериальное загрязнение, обобщенные колиформные бактерии, *Escherichia coli*, сальмонеллы, мониторинг.

Мониторинг бактериального загрязнения водных объектов является одним из звеньев социально-гигиенического мониторинга среды обитания [1]. Биологическое загрязнение окружающей среды, в том числе и водной, значительно влияет на формирование инфекционной заболеваемости населения. Поэтому существенный интерес представляет собой информация о бактериальном загрязнении водной среды, т. к. с водой и условиями водопользования населения связаны различные инфекционные заболевания человека [2]. Учитывая вышеизложенное, очевидно, что целью работы явилось изучение санитарно-бактериологического мониторинга санитарно-бактериологического состояния воды в нижнем течении реки Дон в акватории г. Ростова-на-Дону и г. Азова.

Мониторинг состояния микрофлоры проводили с апреля по ноябрь 2023 г. За этот период было проанализировано 54 пробы рек Дон (8 биотопов) и Темерник (1 биотоп). Пробы реки Дон отбирали в местах водозаборов, жилых территорий, сброса городских сточных вод и рекреационного водопользования городов Ростова-на-Дону и Азова. Вода открытых водоемов отбиралась в биотопах с различной степенью биологического загрязнения; в ней определяли обобщенных колиформных бактерий (ОКБ), *E. coli*, патогенных (сальмонеллы) и условно-патогенных (клебсиеллы, синегнойные палочки) бактерий.

Количественное и качественное определение санитарно-показательных, патогенных и условно-патогенных бактерий проводили согласно стандартным методикам МУК 4.2.1884-04 [3]. Дальнейшую идентификацию выполняли масс-спектрометрическим анализом с использованием MALDI TOF масс-спектрометра Microflex с программным обеспечением MALDI Biotyper. Для описания содержания показателей в воде использовали количество и процент проб несоответствующих нормативам, медиану, а также максимальное значение показателя. Анализ данных выполнялся в программе Microsoft Excel.

Пробы воды рек Дон и Темерник в акватории г. Ростова-на-Дону отбирались 5 раз в течение года, а в акватории г. Азова 8 раз.

Наибольшее количество нестандартных проб по анализируемым показателям относится к районам городского пляжа Ростова-на-Дону, ниже устья реки Темерник и ниже выпуска Ростовской городской канализации. Самое большое количество нестандартных проб по всем исследуемым показателям приходилось на летний период (отборы проб с 27.06 по 29.08.2023 г.). Наиболее загрязненным биотопом реки Дон в акватории г. Азова являлось место рекреации (пляж), т. к. количество нестандартных проб по показателю «энтерококки» составило 62,5%. Более того, в пробах воды, отобранных из р. Дон в акватории г. Ростова-на-Дону в апреле и июне обнаруживались патогенные энтеробактерии рода *Salmonella* в районе ниже устья р. Темерник и 500 м ниже выпуска Ростовской городской канализации.

Наименьшее загрязнение в обследованных биотопах зарегистрировано в районе Ростовского и Азовского водозаборов.

Проведённые санитарно-бактериологические исследования показали, что качество воды р. Дон в местах водозаборов, зон рекреаций и в черте населённых мест по микробиологическим показателям в 77% не соответствует требованиям СанПиН 1.2.3685-21 [4].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2023–0008.

Библиографический список

1. Журавлёв П. В., Алешня В. В., Панасовец О. П. Научное обоснование совершенствования санитарно-бактериологического мониторинга при питьевом водопользовании // Гигиена и санитария. 2014. № 6. С. 68–71.

2. Балльная оценка потенциального риска возникновения ОКИ, передаваемых водным путем / В. В. Алешня, П. В. Журавлев, Д. А. Седова и др. // Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека : материалы междунар. форума Научного совета РФ по экологии человека и гигиене окружающей среды, посвященного 85-летию ФГБУ «НИИ ЭЧ и ГОС имени А. Н. Сысина» Минздрава России : в 2-х частях. Москва, 15–16 декабря 2016 г. Т. 1. М. : НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды имени А. Н. Сысина, 2016. С. 41–44.

3. МУК 4.2.1884-04. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов. М. : ФГУП Стандартиформ, 2000. 92 с.

4. 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-противо-эпидемических (профилактических) мероприятий : издание официальное : утвержден Главным государственным санитарным врачом РФ 28.01.2021 : введен 01.03.2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?-ysclid=lub53v8rrd812039264> (дата обращения 03.03.2024).

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ОЗЕРА АРХИЕРЕЙСКОЕ

***Р. А. Рыков, А. Т. Горшкова, Н. В. Бортникова,
Д. А. Семанов, В. П. Горбунова***

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, г. Казань, Россия, rykov97@gmail.com*

В статье приводятся результаты исследования землепользования водосборного бассейна озера Архирейское, анализируется структура функциональных зон бассейна и антропогенное влияние на экологическое состояние озера. Также проведен анализ нормативно-правовой базы по опыту создания охранных зон водных объектов.

Ключевые слова: экологическое состояние, водные объекты, озеро Архирейское, памятник природы, ООПТ, экологический мониторинг.

Озеро Архиерейское, расположенное в Лаишевском муниципальном районе Республики Татарстан, является одним из крупнейших озер Республики Татарстан по объему воды и площади водного зеркала, с 1978 г. является памятником природы регионального значения [1]. Озеро имеет карстово-суффозионное происхождение и относится к единой гидрографической системе древнего русла р. Волги, в состав которого входит множество озёр, также являющихся особо охраняемыми природными водными объектами.

Морфометрические параметры озерной котловины и уровень воды в многолетнем разрезе остаются относительно стабильными: площадь водного зеркала 64,9 га, длина 2546 м, максимальная ширина 516 м, объем 4243 тыс. м³, средняя глубина 5,7 м, максимальная глубина 16,5 м [2].

Объектом исследования являлся водосборный бассейн озера Архиерейское, расположенный, как и само озеро, в Лаишевском районе Республики Татарстан.

Цель исследования заключалась в анализе актуального состояния водосборной площади озера Архиерейское, составлении карты функционального зонирования водосбора. Также был сформирован ряд рекомендаций по сокращению негативного воздействия на озеро.

Карта функционального зонирования водосборной площади была составлена с помощью оперативных инструментов ПО QGIS с использованием картографических методов на основе дешифрирования спутниковых снимков.

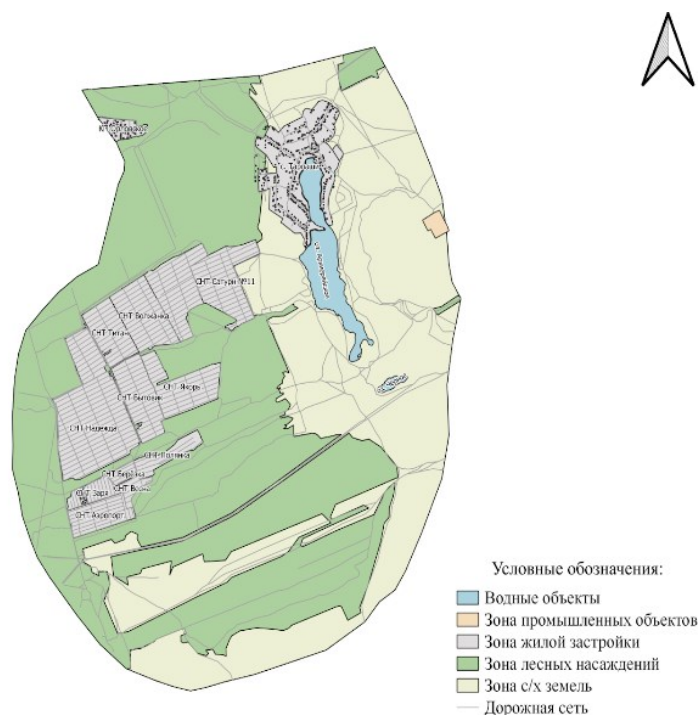
Водосборный бассейн озера площадью 31,48 км² имеет эллипсовидную форму, вытянутую в меридиональном направлении на длину более чем 7 км. Границы водосборного бассейна определены с помощью крупномасштабных топографических карт.

В результате сооружения насыпи (явившейся искусственным водоразделом) для строительства участка скоростной федеральной автомобильной дороги М-12 «Восток» северная часть территории водосбора площадью 5,23 км² (14,25%) была отсечена от основной части бассейна, что уменьшило его водосборную площадь.

С помощью инструментов векторизации ПО QGIS на основе спутниковых снимков составлена карта функционального зонирования водосборного бассейна озера Архиерейское. Было выделено 5 зон, расположенных в границах водосборного бассейна: зона лесных насаждений, земель сельскохозяйственного назначения, жилой застройки, промышленных объектов и водных объектов (рис).

По результатам исследования установлено, что 45% территории водосбора занято землями лесного фонда, большая часть из которого является искусственными насаждениями, используемыми для заготовки древесины. Коренной лес сохранился лишь в западной части водосбора.

Жилой застройкой занято 17,5% территории водосбора. По северному и западному побережью озера расположено село Тарлаши, в западной части бассейна расположены 13 садовых некоммерческих товариществ, большей частью представленных малоэтажной (коттеджной) застройкой.



1:70 000

Рис. Карта функционального зонирования водосборного бассейна озера Архиерейское

Промышленные объекты небольшой площади, расположенные в восточной части бассейна, представлены фермерским хозяйством «Рамаевское», занятым производством мяса уток.

Помимо Архиерейского, в границах бассейна расположено озеро Черное, площадью 3,7 га, также являющееся памятником природы регионального значения. Суммарная площадь водных объектов составляет 69 га, что составляет 3% площади водосбора.

Оставшиеся 34,5% территории бассейна объединены в категорию земель сельхозназначения, представляющую собой незалесённые земли, не занятые жилой застройкой, большая часть из которых использовалась для целей сельского хозяйства. На сегодняшний день 6% площади земель данной категории, находящихся в границах с. Тарлаши, но еще не застроенных, уже предназначено для индивидуальной жилой застройки, что увеличит застроенность бассейна до 23,5% территории.

Населенный пункт с. Тарлаши не оборудован системами централизованного водоснабжения и канализации. Сброс хозяйственно-бытовых сточных вод осуществляется в негерметичные выгребные ямы, частично – на рельеф местности. Как следствие, загрязняющие вещества с грунтовым и поверхностным стоком поступают в водный объект, что приводит к его эвтрофированию, ухудшению качества вод и пригодности озера для рекреационных целей и иных видов водопользования. Это наиболее значимый источник загрязнения озера в настоящее время.

Другим значимым источником биогенного загрязнения водного объекта является диффузный внутрипочвенный сток с территории крупнейших в рай-

оне садовых товариществ, расположенных на расстоянии 400–1500 м от озера в западном направлении.

Кроме того, в качестве одного из возможных источников диффузного загрязнения следует рассматривать забойный цех предприятия по производству мяса уток в 1,2 км западнее от береговой линии озера.

Согласно ст. 65 Водного кодекса Российской Федерации (ВК РФ) ширина водоохранной зоны озера с акваторией более 0,5 км² (50 га), устанавливается в размере пятидесяти метров. Согласно ст. 6 ВК РФ ширина береговой полосы водных объектов общего пользования составляет двадцать метров [3].

Согласно Постановлению Правительства РФ от 19 февраля 2015 г. № 138 «Об утверждении Правил создания охранных зон отдельных категорий особо охраняемых природных территорий, установления их границ, определения режима охраны и использования земельных участков и водных объектов в границах таких зон» (с изменениями и дополнениями) должен быть определен порядок создания охранных зон различных категорий ООПТ, в том числе памятников природы, установления их границ, определения режима охраны и использования земельных участков и водных объектов в границах таких зон [4].

В настоящее время охранный зона для памятника природы регионального значения «Озеро Архиерейское» не установлена, а ряд застроенных участков с. Тарлаши расположен в 50-метровой водоохранной зоне и 20-метровой береговой полосе общего доступа озера, что с отсутствием замкнутой системы канализации является нарушением природоохранного законодательства.

Таким образом, практически 100% ландшафтов водосборного бассейна озера Архиерейское является в разной степени преобразованными в результате деятельности человека, что не может не сказываться на экологическом состоянии экосистемы озера и качестве воды. Намеченная тенденция по переводу земель сельхозназначения в категорию земель под индивидуальное жилищное строительство приобретает все более ускоренные темпы, что должно быть компенсационно отражено при создании охранной зоны озера. Охранная зона должна располагаться в границах водосборного бассейна озера, соответствовать 50-метровой водоохранной зоне, определенной ст. 65 ВК РФ или быть несколько больше, в зависимости от индивидуальных особенностей пределов толерантности экосистемы озера и элементов категории значимости и чувствительности ландшафтов водосбора.

Так как основным фактором негативного воздействия на экологическое состояние озера Архиерейское является диффузное биогенное загрязнение, то решение проблемы охраны водоема от загрязнения может быть в полной мере обеспечено путем обустройства на территории сельского поселения системы централизованного водоснабжения и водоотведения, автономных систем канализации, выгребных ям инженерного типа с водонепроницаемым дном и стенками.

Библиографический список

1. ООПТ России. Озеро Архиерейское [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.oopt.aari.ru/oopt/Озеро-Архиерейское> (дата обращения: 20.03.2024).
2. Водные объекты Республики Татарстан. Гидрографический справочник. Издание второе, переработанное и дополненное. Казань : Фолиант, 2018. 512 с.
3. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 25.12.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.12.2023) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/ (дата обращения: 20.03.2024).
4. Постановление Правительства РФ от 19.02.2015 № 138 (ред. от 04.10.2021) «Об утверждении Правил создания охранных зон отдельных категорий особо охраняемых природных территорий, установления их границ, определения режима охраны и использования земельных участков и водных объектов в границах таких зон» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_175574/ (дата обращения: 20.03.2024).

О БИОТЕСТИРОВАНИИ НА ВОДОРОСЛИ ХЛОРЕЛЛА ТОКСИЧНОСТИ МУТНЫХ И ОКРАШЕННЫХ ВОДНЫХ ПРОБ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ

Е. М. Решетников, М. В. Карнов, Ю. С. Григорьев
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия,
reshetnikov1999@mail.ru

Представлены результаты использования разных методических приемов оценки токсичности мутных и окрашенных водных вытяжек из загрязненных нефтью проб при использовании в качестве тест-организма культуры водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer.

Ключевые слова: биотестирование, вытяжки из проб, хлорелла, нефть, токсичность, мутность и окрашенность проб, замедленная флуоресценция.

Установление токсичности почв, грунтов и твердых отходов методами биотестирования производится на водных вытяжках из этих проб. Такие вытяжки часто бывают окрашенными и замутненными. Плотная окраска и высокая мутность вытяжек создает значительные трудности при биотестировании с использованием в качестве тест-культур микроводоросли и рачков. В таких случаях практически невозможно подтвердить пятый класс опасности отходов, поскольку он устанавливается на не разбавленных вытяжках. Для определения прироста численности клеток водоросли в вытяжках, оцениваемого по изменению их оптической плотности, рекомендовано измерять разницу в светопоглощении этих проб не по дистиллированной воде, а по отношению к самим вытяжкам до внесения в них клеток водоросли [1–3].

Однако и при использовании такого метода проводимые измерения могут оказаться не корректными. Это может быть вызвано тем, что оптические свойства вытяжек после экспонирования в культиваторе, в условиях светового облучения, могут измениться относительно проб, не подвергавшихся воз-

действию света. Для исключения данного эффекта более правильным будет устанавливать вытяжки без клеток водоросли в тот же культиватор для совместного экспонирования в одинаковых условиях.

Такой методический прием может оказаться эффективным и при биотестировании нефтезагрязненных проб. Присутствие нефтепродуктов в пробах придает их дополнительную окраску и мутность. Обладая повышенной летучестью, эти загрязнители в условиях культиватора будут испаряться, что может сказаться на оптических свойствах тестируемой пробы.

В значительно меньшей степени влияние мутности и окраски тестируемых проб при проведении биотестирования на водоросли хлорелла может проявиться, если прирост численности клеток оценивать по изменению интенсивности замедленной флуоресценции тест-культуры. Данный показатель может быть оперативно измерен на пробах после культивирования на флуориметре Фотон 10, разработанный в СФУ [4].

В связи с этим, целью данной работы явилось сравнительная оценка результатов измерения токсичности вытяжек из проб почвы и грунтов, в разной степени загрязненных нефтью.

В качестве тест-организма использовали культуру водорослей *Chlorella vulgaris* Beijer, находящуюся в экспоненциальной стадии роста. Водоросль выращивалась в культиваторе КВ-05 при температуре $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$ на 50%-ной среде Тамия в течение одних суток. Прирост культуры водоросли измеряли по оптической плотности суспензии с помощью прибора ИПС-03.

Для получения вытяжки из почвы, глины и донных отложений в емкость объемом 400 мл вносилось 20 г воздушно-сухой массы пробы с содержанием нефти 1% и 5% и пробу без нефти в 200 мл дистиллированной воды. Затем емкости с суспензией пробы для перемешивания помещались в культиватор КВ-05 с выключенной лампой и вращались 2 часа. После этого суспензия отстаивалась 15–20 минут и затем фильтровалась через несколько слоев марли для удаления плавающих на поверхности легких частиц пробы. Фильтрат центрифугировали 5 минут при 4500 об/мин.

В полученный супернатант засеивали водоросль хлорелла в количестве, соответствующем 0,005 единицам оптической плотности и содержащем 2% среду Тамия. Также был приготовлен вариант без засева хлореллы для последующего учета влияния цветности и мутности образцов на результаты измерения содержания в них тест-культуры водоросли. Далее все варианты вытяжек из пробы с водорослью и без нее, а также контроль на дистиллированной воде разливались в пенициллинки в трёх повторностях и помещались в культиватор КВМ-05 для светового экспонирования 22 часа при температуре 36°C . Вытяжки из проб без хлореллы ставились в затемненное место для сравнения их светопоглощения с пробами с водорослью, которые находились в культиваторе.

После культивирования проводилось измерение оптической плотности суспензии с выросшей хлореллой в каждом флаконе с помощью прибора ИПС-03. Для получения более корректных данных учитывалось испарение

воды в пенициллинках, которое составляло в среднем 20%. Содержание клеток водоросли после культивирования определялось путем вычитания из величины оптической плотности пробы с водорослью значения оптической плотности проб, в которые хлорелла не вносилась и находившиеся в культиваторе и затемненном месте. Одновременно у всех образцов измерялся показатель замедленной флуоресценции на свету высокой интенсивности (ЗФв) с помощью флуориметра «Фотон-10». После проведения замеров осуществлялась статистическая обработка результатов эксперимента в *Microsoft Excel*.

Результаты экспериментов представлены в таблицах 1–3.

Анализ полученных результатов показывает, что вытяжки из всех трех проб являются достаточно замутненными. При внесении нефти в пробы их оптическая плотность в следствии снижения прозрачности возрастает. В этих условиях определение прироста тест-культуры водоросли в вытяжках без коррекции на светопоглощение самих проб невозможна.

Таблица 1

Результаты биотестирования вытяжек из почвы с нефтью по показателям оптическая плотность (D) и замедленная флуоресценция (ЗФв)

| Исследуемые пробы | D пробы после 22 часов экспонирования | | | D хлореллы с коррекцией по пробе | | ЗФв, отн. ед. | Отклонение от контроля, в % | | |
|-------------------|---------------------------------------|--------------|----------------|----------------------------------|-----------|---------------|-----------------------------|-------------------|------|
| | с хлореллой в КВМе | без хлореллы | | из КВМа | по темной | | D _{КВМ} | D _{темн} | ЗФв |
| | | из КВМа | темновая проба | | | | | | |
| Контроль | – | | | 0,148 | – | 1731 | – | – | – |
| Без нефти | 0,379 | 0,274 | 0,271 | 0,105 | 0,108 | 1599 | 29,1 | 27,0 | 15,1 |
| 1% нефти | 0,439 | 0,355 | 0,404 | 0,084 | 0,035 | 1656 | 43,2 | 76,3 | 4,2 |
| 5% нефти | 0,418 | 0,334 | 0,400 | 0,084 | 0,018 | 1838 | 43,2 | 87,8 | -6,1 |

Таблица 2

Результаты биотестирования вытяжек из пробы глины с нефтью по показателям оптическая плотность (D) и замедленная флуоресценция (ЗФв)

| Исследуемые пробы | D пробы после 22 часов культивирования | | | D хлореллы с коррекцией по пробе: | | ЗФв, отн. ед. | Отклонение от контроля, в % | | |
|-------------------|--|--------------|----------------|-----------------------------------|-------------|---------------|-----------------------------|-------------------|-----|
| | с хлореллой в КВМе | без хлореллы | | из КВМа | по темновой | | D _{КВМ} | D _{темн} | ЗФв |
| | | из КВМа | темновая проба | | | | | | |
| Контроль | – | | | 0,128 | – | 1754 | – | – | – |
| Без нефти | 0,302 | 0,207 | 0,252 | 0,095 | 0,050 | 1594 | 26,0 | 61,0 | 9,0 |
| 1% нефти | 0,408 | 0,295 | 0,518 | 0,113 | -0,110 | 1737 | 11,8 | 14,1 | 1,0 |
| 5% нефти | 0,548 | 0,471 | 0,692 | 0,077 | -0,144 | 1630 | 39,9 | -12,5 | 7,1 |

**Результаты биотестирования вытяжек из пробы ила с нефтью
по показателям оптическая плотность (D) и
замедленная флуоресценция (ЗФв)**

| Исследуемые пробы | D пробы после 22 часов культивирования | | | D хлореллы с коррекцией по пробе: | | ЗФв, отн. ед. | Отклонение от контроля, в % | | |
|-------------------|--|--------------|----------------|-----------------------------------|-------------|---------------|-----------------------------|-------------------|------|
| | с хлореллой в КВМе | без хлореллы | | из КВМа | по темновой | | D _{КВМ} | D _{темн} | ЗФв |
| | | из КВМа | темновая проба | | | | | | |
| Контроль | – | | | 0,123 | – | 1563 | – | – | – |
| Без нефти | 0,254 | 0,132 | 0,156 | 0,122 | 0,098 | 1620 | 0,9 | 20,3 | -3,6 |
| 1% нефти | 0,384 | 0,280 | 0,382 | 0,104 | 0,002 | 1646 | 15,5 | 98,4 | -5,3 |
| 5% нефти | 0,471 | 0,336 | 0,462 | 0,115 | 0,009 | 1710 | 6,5 | 92,7 | -9,4 |

Однако и после проведения такой процедуры путем вычитания из величины оптической плотности пробы с водорослью, значение таковой вытяжки без хлореллы, которая не подвергалась световому воздействию и находилась в затемненном месте, дает не вполне правдоподобный результат. Так в вытяжке из проб, не содержащих нефть, рассчитанный прирост водоросли оказывается довольно низким, что свидетельствует о подавлении роста водоросли. В присутствии нефти этот показатель заметно превышает оптическую плотность контрольного варианта, указывая тем самым на стимуляцию ростовых характеристик тест-культуры водоросли.

Более однозначные результаты коррекция на светопоглощение вытяжек дает расчет содержания клеток водоросли путем использования образцов без хлореллы, которые находились во время биотестирования в культиваторе КВМ-05. При таком расчетном методе получаемые результаты показывают, что исследованные пробы подавляют рост водоросли. При этом стимулирующий эффект нефти не обнаруживается.

Особое внимание, на наш взгляд, привлекают результаты по биотестированию вытяжек из всех трех проб с использованием в качестве меры содержания и прироста клеток тест-культуры водоросли показателя замедленной флуоресценции (ЗФв), возбуждаемой светом высокой интенсивности. Поскольку данный вид свечения характерен только для фотосинтезирующих растительных организмов [4], то он практически полностью отсутствует у других живых и неживых объектов. Поэтому регистрируемая величина ЗФв в проведенных экспериментах отражает в первую очередь концентрацию в пробах клеток водоросли хлорелла, не требуя коррекции результатов на присутствия в образцах взвешенных веществ. Из приведенных таблиц 1–3 данных следует, что все исследованные вытяжки из проб имеют близкие значения показателя ЗФв к контрольным значениям, свидетельствуя о их не токсичности, в том числе и в связи с присутствием в пробах нефти.

Таким образом, трудности корректного определения токсичности мутных и окрашенных проб можно исключить лишь частично, если измерять величину их светопоглощения не по дистиллированной воде, а по самой пробе до внесения в нее тест-культуры водоросли. Более точные результаты дает

использования при биотестировании таких проб показателя замедленной флуоресценции клеток водоросли.

Библиографический список

1. Григорьев Ю. С. Методы биотестирования токсичности мутных и окрашенных водных сред // Гуминовые вещества в биосфере : материалы VII Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящённой 90-летию со дня рождения профессора Д. С. Орлова и III Междунар. науч. школы «Методы оценки биологической активности гуминовых продуктов» (г. Москва, 4–8 декабря 2018.). М. : ООО «МАКС Пресс», 2018. С. 143–144.

2. Гершкович Д. М., Ипатова В. И. Применение классических методов биотестирования для исследования обогащенных органическим веществом проб // Гуминовые вещества в биосфере : материалы VII Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящённой 90-летию со дня рождения профессора Д. С. Орлова и III Междунар. науч. школы «Методы оценки биологической активности гуминовых продуктов» (г. Москва, 4–8 декабря 2018.). М. : ООО «МАКС Пресс», 2018. С. 140–141.

3. Григорьев Ю. С. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления (издание 2021 г.). ПНД ФТ 14.1:2:3:4.10-04, Т 16.1:2:2.3:3.7-04. 19 с.

4. Инструментальные методы биотестирования вод, почв, грунтов и отходов / Ю. С. Григорьев, Т. Л. Шашкова, Е. С. Стравинскене и др. DOI: 10.52002/0130-2906-2023-5-96-106 // Метеорология и гидрология. 2023. № 5. С. 96–106.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СТРУКТУРУ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ КАЗАНКИ (г. КАЗАНЬ)

О. В. Морозова, Н. В. Шурмина

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, г. Казань, Россия, oollgga@mail.ru*

Изменения численности водных микробных сообществ в зависимости от гидрохимических параметров изучались летом 2022 г. в нижнем течении р. Казанки. Установлено, что концентрации азотных соединений оказывают наиболее сильное влияние на развитие микроорганизмов, участвующих в процессах самоочищения и круговороте азота в экосистеме реки.

Ключевые слова: бактериопланктон, нитрифицирующие бактерии, денитрифицирующие бактерии, река Казанка.

Качество и состав поверхностных вод формируются в зависимости от химического состава пород, образующих долину реки, и антропогенного воздействия. При этом антропогенное влияние: различные отходы и загрязнения, попадающие в экосистему водных объектов в результате деятельности человека, вносит серьезные коррективы в химический состав природных вод.

Река Казанка – равнинная река со смешанным питанием, один из притоков Волги. По морфометрическим показателям она относится к малым рекам,

длина составляет 140 км. По гидрохимическому режиму воды верхнего и среднего течения р. Казанки относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу, в нижнем течении воды реки становятся сульфатно-кальциевыми [1].

Микробные сообщества быстро адаптируются к изменяющимся условиям среды. Изменения гидрохимических условий в экосистеме всегда отражаются на численности микробных сообществ. Например, о процессах самоочищения в экосистеме водного объекта судят по количеству олиготрофных бактерий, развивающихся при низком содержании органических веществ, и сапрофитных микроорганизмов, развивающихся при повышении концентраций органических веществ [2]. Когда повышаются концентрации азотных соединений – индикаторов хозяйственно-бытового загрязнения воды, количественные показатели различных групп бактерий также меняются, что говорит о состоянии водных объектов [3].

Река Казанка испытывает сильную техногенную нагрузку и подвержена антропогенному загрязнению, что ведет к снижению эксплуатационно-хозяйственной и рекреационной ценности водного объекта [4, 5].

Целью данного исследования является оценка влияния гидрохимических условий на изменения в структуре бактериопланктона в нижнем течении р. Казанки.

Исследования проводились летом 2022 г. в нижнем течении р. Казанки, на участке длиной около 3 км. Отбор проб воды (рис. 1) осуществлялся ежемесячно на пяти станциях.

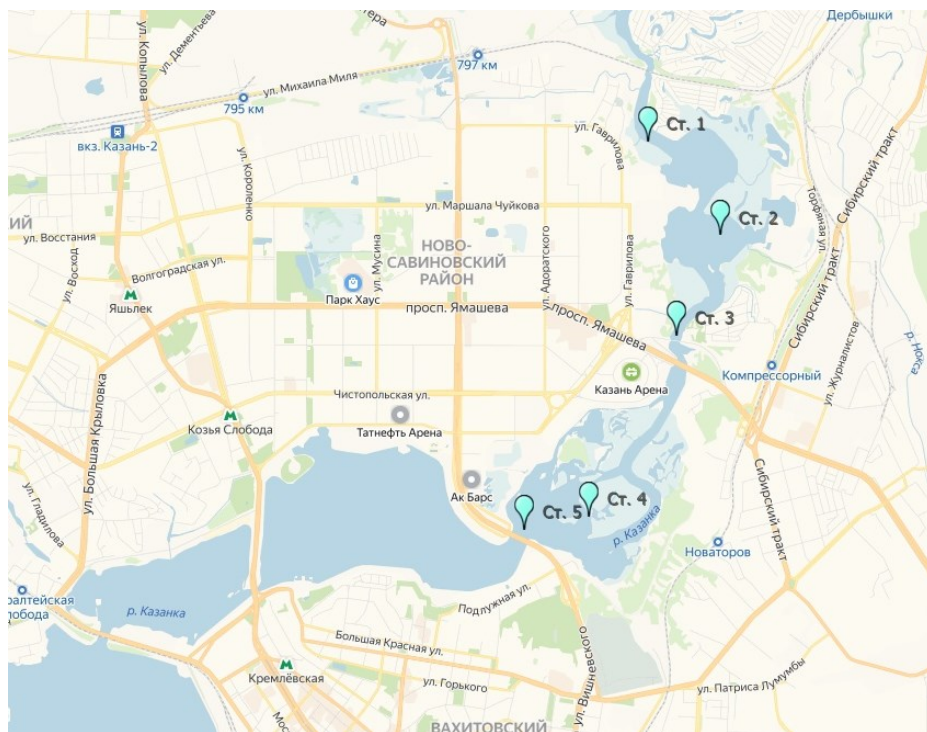


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в нижнем течении р. Казанки: Ст. 1 – в районе выпуска ливневых вод с ул. Гаврилова, Ст. 2 – озеровидное расширение реки, Ст. 3 – вблизи третьей транспортной дамбы, Ст. 4 – среди островков у Русско-Немецкой Швейцарии, Ст. 5 – у моста Миллениум

Пробы воды отбирались с поверхностного слоя воды в стерильные емкости. Количественные значения различных групп микроорганизмов определяли путем посева проб воды на микробиологические питательные среды [5, 6]. Определяли общую численность бактерий, соотношение общей численности бактерий к количеству сапрофитов, численность сапрофитных, олиготрофных, нитрифицирующих и денитрифицирующих бактерий. Общее количество бактериопланктона определяли на мембранных фильтрах Влادي-пор. Класс качества воды определяли по классификации качества вод Росгидромет [6–8]. Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 6.0.

Общая численность бактериопланктона в течение лета практически не менялась (рис. 2). Согласно РД 52.24.309-2016, вода р. Казанки по общей численности бактерий и сапрофитных микроорганизмов оценивалась как «слабозагрязненная» и соответствовала II классу качества вод. Численность олиготрофов была немного ниже, чем сапрофитов, что свидетельствует о преобладании процессов аккумуляции органики над процессами деструкции, и накоплении органического вещества в речной экосистеме.

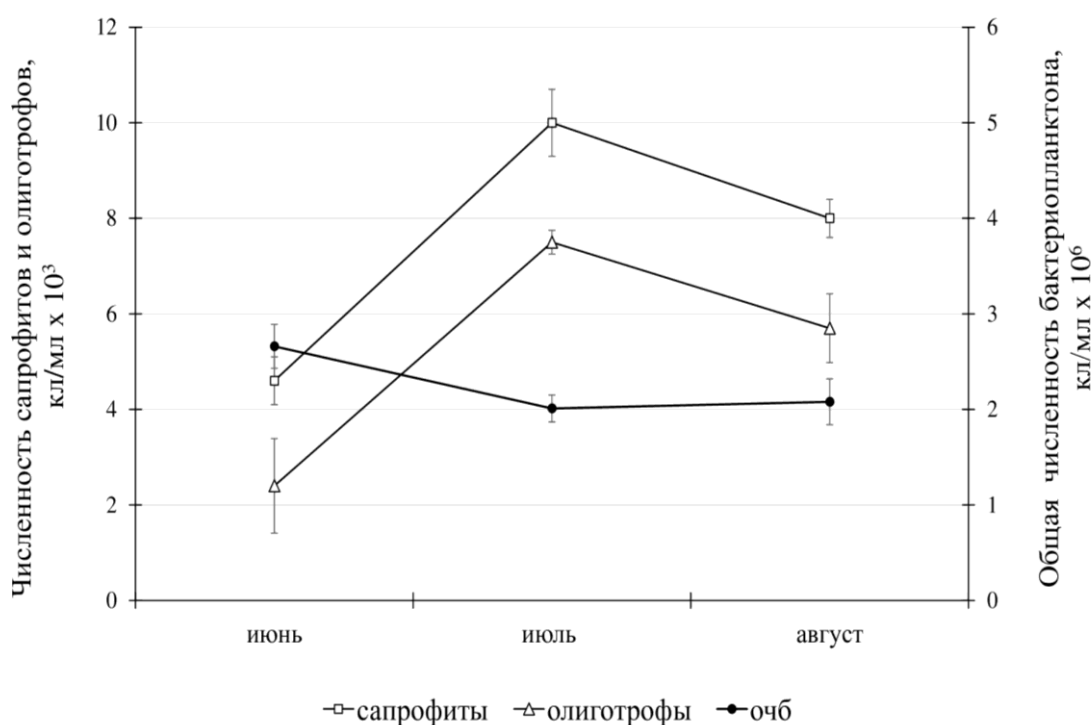


Рис. 2. Общая численность бактериопланктона, сапрофитных и олиготрофных бактерий в воде р. Казанки

В июне численность денитрифицирующих бактерий была повышенной, они количественно преобладали, но в июле и августе уже численно преобладали нитрифицирующие бактерии (рис. 3).

Высокая численность нитрифицирующих микроорганизмов является показателем хороших условий, созданных в речной экосистеме для процессов самоочищения, нитрификации и окисления аммония. При этом роль

денитрифицирующих бактерий также важна для процесса минерализации азота.

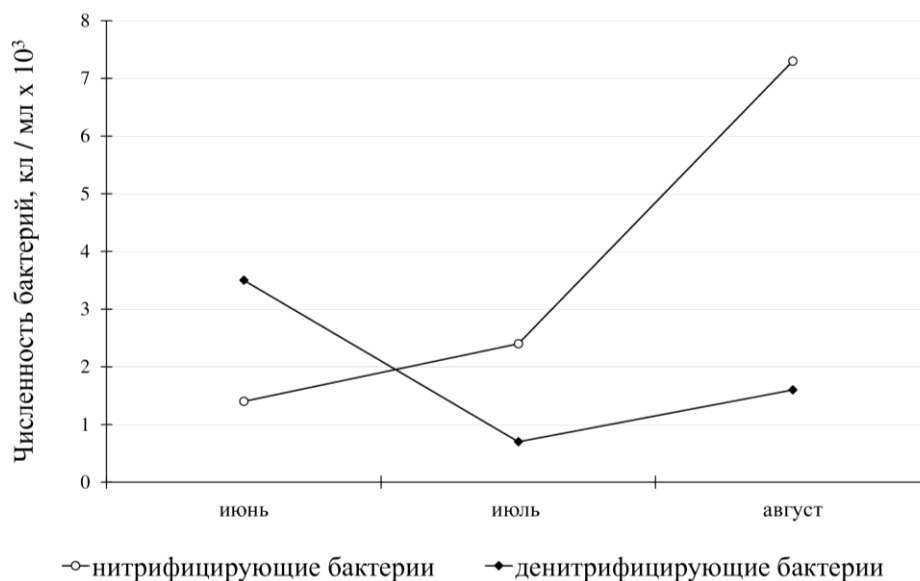


Рис. 3. Численность нитрифицирующих и денитрифицирующих бактерий (наиболее вероятное число бактерий) в воде р. Казанки

В данной работе установлены достоверные корреляционные зависимости между соединениями азота и численностью микробных сообществ в нижнем течении р. Казанки. При этом, по данным гидрохимического исследования, концентрации нитратов, нитритов и аммония в летние месяцы были не высокими (табл. 1).

Таблица 1

Гидрохимические показатели воды нижнего течения р. Казанки

| Показатель | Июнь | Июль | Август |
|---|------|------|--------|
| рН, ед. | 8,1 | 8,1 | 8,2 |
| Растворенный кислород, мг/дм ³ | 13,9 | 13,6 | 14,8 |
| Нитраты, мг/дм ³ | 0,1 | 0,4 | 0,2 |
| Нитриты, мг/дм ³ | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Аммоний, мг/дм ³ | 0,16 | 0,05 | 0,07 |
| Общий азот, мг/дм ³ | 0,32 | 0,02 | 0,96 |

Установлены корреляционные зависимости между концентрациями азотных соединений и численностью денитрифицирующих и нитрифицирующих бактерий, которые указывают на вовлеченность данных групп микроорганизмов в круговорот азота в речной экосистеме (табл. 2). Денитрифицирующие бактерии участвуют в минерализации органического вещества, на что указывает положительная корреляция между их численностью и количеством аммония.

Стоит отметить, что для общего количества бактериопланктона есть заметная отрицательная корреляционная зависимость с концентрациями нитратов и нитритов, и положительная корреляционная зависимость с концентра-

цией аммония. Для численности олиготрофных бактерий, напротив, установлены положительные корреляционные зависимости с концентрациями нитратов и нитритов, и отрицательные – с концентрацией аммония (табл. 2). Общая численность бактериопланктона – один из главных показателей загрязненности водоема органическим веществом, а для роста олиготрофных бактерий необходимы низкие концентрации органических веществ в экосистеме.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции Спирмена абиотических факторов с численностью бактериопланктона и отдельных диагностических групп ($p < 0,05$)

| Показатель | Общая численность бактерий | Олиготрофные бактерии | Нитрифицирующие бактерии | Денитрифицирующие бактерии |
|------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|
| Аммоний | 0,66 | -0,79 | – | 0,58 |
| Общий азот | – | – | 0,66 | – |
| Нитриты | -0,7 | 0,79 | – | – |
| Нитраты | -0,58 | 0,88 | – | -0,57 |

Примечание: прочерк обозначает, что показатель не определяли.

Можно заключить, что концентрации нитратов, нитритов и аммония влияют на развитие бактериопланктона и отдельных групп микроорганизмов, участвующих в процессах самоочищения, а также в круговороте азота. Возможно, концентрации нитратов, нитритов, аммония, а также их соотношения могут являться относительными показателями численности водных микроорганизмов на исследуемом участке р. Казанки.

Библиографический список

1. Анализ корреляционной связи между развитием фитопланктона и кислородным режимом устьевого участка реки / К. И. Абрамова, Р. П. Токинова, Н. Р. Водунон и др. DOI: 10.17076/eco1391 // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 5. С. 20–31.
2. Interconnection of bacterial and phytoplanktonic communities with hydrochemical parameters from ice and under-ice water in coastal zone of Lake Baikal / Y. S. Bukin, N. A. Bondarenko, I. I. Rusanov et al. DOI: 10.1038/s41598-020-66519-3 // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. No. 1. Article No. 11087.
3. Le T. T. H., Fettig J., Meon G. Kinetics and simulation of nitrification at various pH values of a polluted river in the tropics. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2018.06.006 // Ecohydrology and Hydrobiology. 2019. Vol. 19. No. 1. P. 54–65.
4. Абрамова К. И., Токинова Р. П. Межгодовая динамика летнего фитопланктона в устьевой области реки Казанки (г. Казань). DOI: 10.24411/2073-1035-2020-10336 // Самарская Лука: проблемы локальной и глобальной экологии. 2020. № 3. С. 89–94.
5. Морозова О. В. Оценка качества воды устьевой области р. Казанка по микробиологическим показателям. DOI: 10.17076/lim1761 // Труды Карельского научного центра РАН, сер. Лимнология. 2023. № 6. С. 97–106.
6. Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микроорганизмов. М. : Наука, 1989. 288 с.
7. Morozova O. V., Ratushnyak A. A., Trushin M. V. Participation of planktonic and benthic bacteria in the polyphosphate-accumulating process in mesocosms contaminated with phosphate and nitrate. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2012.19.01.64182 // World applied science journal. 2012. Vol. 19. No. 1. P. 12–19.

МОНИТОРИНГ САНИТАРНО-БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

В. Г. Кобечинская, М. О. Артёменко

Институт биохимических технологий, экологии и фармации (СП) ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, Россия, valekohome@mail.ru

В статье приведены результаты исследований, выполненных в течение 2021–2022 гг. по оценке санитарно-бактериологического состояния морской воды в прибрежной зоне Черноморского побережья Республики Крым. Выявлен состав и сезонная динамика численности ряда представителей семейства Vibrionaceae с учетом интенсивности антропогенной нагрузки морских акваторий курортных городов Ялты и Алушты.

Ключевые слова: мониторинг, морская вода, вибрионы, сезонная динамика, антропогенная нагрузка, Черноморское побережье, Крым.

Приморская система Республики Крым – неповторимый регион с самыми благоприятными условиями и ресурсами для рекреационной деятельности человека, как для оздоровительных, так и лечебных целей, которые используются уже более двух столетий. Общая протяженность прибрежной полосы суши полуострова около 2,5 тыс. км, из них пляжи – 523 км. Наиболее привлекательным является Южное побережье (ЮБК) Республики Крым. Здесь протяженность береговой линии примерно 150 км, причем большинство рекреационных объектов приходится именно на данную территорию. Здесь насчитывается 152 пляжа (40% от общего количества по Крыму) [1]. Источниками загрязнения морских прибрежных акваторий являются преимущественно сбросы сточных вод канализационных очистных сооружений (КОС) курортных городов и поселков, несанкционированные выпуски отдельных мини-гостиниц и дач, поверхностный сток малых рек в бассейн Черного моря, а также недостаточная обеспеченность морских транспортных средств системами очистки бытовых стоков и пр., что ведет к деградации рекреационных ресурсов ЮБК и снижению их рекреационно-оздоровительного потенциала [2].

Многочисленные публикации, посвященные присутствию вибрионов в водных экосистемах, отражают важность данного вопроса [3–4]. Организация наблюдений за состоянием морской воды в курортных зонах реализуется в связи с санитарной ситуацией и условиями морского водопользования [5].

Безопасность морской воды в эпидемическом отношении определяется, в первую очередь, по следующим показателям – общее микробное число (ОМЧ), содержание общих колиформных бактерий (ОКБ) и термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ) [6]. По данным лаборатории ФБУЗ «Центр

гигиены и эпидемиологии в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе» (Роспотребнадзора) на микробиологические показатели в курортный сезон 2021 года исследовано 7371 проба, из которых 169 проб не соответствовали санитарно-эпидемиологическим требованиям – 2,3% (в 2020 г. – 1,6%), при этом обнаружены отклонения от требований СанПиН по общим коли-формам – в 137 пробах (1,85%), превышений по коли-фагам не установлено, по термотолерантным колиформам в 98 пробах (1,3%), с выделением патогенных микроорганизмов в 41 пробе (0,5%), по энтерококкам – в 41-й пробе (0,5%) [5].

Выбор нами точек контроля на ЮБК учитывал санитарное состояние: пляжей, зон культурного и бытового водопользования; участков водозаборов морской воды; любительского лова, сбросов КОС и др., что позволяет устанавливать связи заболеваемости населения и отдыхающих с ключевыми видами морского водопользования.

Целью работы было выявление видового состава представителей сем. *Vibrionaceae* с учетом рекреационного загрязнения морских вод в Республике Крым в сезонной динамике. Для этого были установлены контрольные створы и проводились сезонные исследования на микробиологические показатели морской и речной воды в местах впадения малых рек в море в городах Ялты и Алушты.

Принципы отбора проб морской воды устанавливает ИСО 8199 [7]. В стандарте прописаны общие требования к отбору проб для микробиологического анализа, их консервации и транспортированию, методики разбавления пробы и ее высева на культуральную среду, а также инкубации. Метод состоит из нескольких этапов: накопления, выделения, очищения и идентификации микроорганизмов. В стандарте даны подробные методики обработки результатов и их интерпретации. По результатам идентификации, выдают окончательный ответ о выделении вида культуры вибриона.

При оценке качества морской воды района водопользования и поясов зоны его санитарной охраны руководствовались «Правилами санитарной охраны прибрежных вод морей» № 1210-74 [8]. Исследования проводились один раз в неделю на протяжении купального сезона (с июня по сентябрь) в ранние утренние часы до начала массового купания (контроль), в течение дня и по показаниям. Пробы регулярно отбирались из десяти точек, расположенных в двух городах Крыма: Ялте и Алуште (перечень размещения мест отбора проб воды приведен в табл.). Исследования проводились при следующих физико-химических показателях воды: рН – в морской воды 8,2–8,4; температура – от +15 °С до +25 °С.

**Высеваемость патогенной вибриофлоры из проб контрольных точек морской и пресной воды
на ЮБК (г. Ялта и г. Алушта) за 2021–2022 гг.**

| Место и год отбора проб | Виды вибрионов | <i>V. cholerae</i> non OI | <i>V. cholerae</i> OI | <i>V. alginolyticus</i> | <i>V. parahaemolyticus</i> | <i>V. anguillarum</i> | <i>V. fluvialis</i> | <i>V. vulnificus</i> | <i>Aeromonas</i> | Отрицательный | Общий итог | |
|---|----------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|------------------|---------------|------------|-----|
| | | | | | | | | | | | кол. проб | % |
| ЮБК г. Ялта | | | | | | | | | | | | |
| Морская вода на пляже гостиницы «Интурист» | 2021 | 0 | 0 | 14 | 11 | 1 | 11 | 0 | 1 | 0 | 38 | 7,3 |
| | 2022 | 0 | 0 | 28 | 22 | 1 | 14 | 0 | 0 | 0 | 65 | 7,7 |
| Морская вода на пляже поселка Массандра | 2021 | 0 | 0 | 15 | 6 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 36 | 6,9 |
| | 2022 | 0 | 0 | 33 | 12 | 0 | 22 | 1 | 0 | 0 | 68 | 8,0 |
| Морская вода на городск. пляже «Приморский» | 2021 | 3 | 0 | 11 | 10 | 0 | 12 | 0 | 2 | 0 | 38 | 7,3 |
| | 2022 | 1 | 0 | 28 | 18 | 0 | 18 | 0 | 6 | 0 | 71 | 8,4 |
| Морская вода на пляже гостиницы «Интурист» | 2021 | 14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 0 | 28 | 5,2 |
| | 2022 | 39 | 0 | 16 | 6 | 0 | 3 | 0 | 14 | 0 | 78 | 9,2 |
| Морская вода на пляже гостиницы «Интурист» | 2020 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 20 | 3,8 |
| | 2021 | 27 | 0 | 6 | 0 | 0 | 4 | 0 | 16 | 0 | 53 | 6,3 |
| Морская вода на пляже гостиницы «Интурист» | 2020 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 11 | 2,1 |
| | 2021 | 3 | 0 | 2 | 4 | 0 | 6 | 0 | 17 | 0 | 32 | 3,8 |
| ЮБК г. Алушта | | | | | | | | | | | | |
| Морская вода на пляже «Рабочий уголок» | 2021 | 0 | 0 | 14 | 9 | 4 | 10 | 0 | 3 | 0 | 40 | 7,7 |
| | 2022 | 0 | 0 | 29 | 12 | 1 | 20 | 0 | 0 | 0 | 62 | 7,3 |
| Морская вода городского пляжа | 2021 | 1 | 0 | 17 | 3 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 30 | 5,8 |
| | 2022 | 0 | 0 | 24 | 10 | 0 | 17 | 0 | 0 | 1 | 52 | 6,1 |
| Морская вода детского пляжа ЦДЮТ | 2021 | 0 | 0 | 14 | 6 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 34 | 6,5 |
| | 2022 | 0 | 0 | 26 | 13 | 0 | 18 | 1 | 2 | 2 | 62 | 7,3 |
| Сточная вода из городских очистных сооружений | 2021 | 8 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 19 | 3,6 |
| | 2022 | 7 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 16 | 2,0 |
| Суммарно по годам: количество проб/% | 2021 | 30/ 10,2 | 3/ 1,0 | 88/ 29,9 | 45/ 15,3 | 5/ 1,7 | 71/ 24,1 | 0/ 0 | 52/ 17,7 | 0/ 0 | 294 | 100 |
| | 2022 | 77/ 13,8 | 0/ 0 | 193/ 34,5 | 99/ 17,7 | 2/ 0,4 | 122/ 21,8 | 2/ 0,4 | 61/ 10,9 | 3/ 0,5 | 559 | 100 |

За 2 года всего было исследовано 853 проб по выявлению патогенных вибрионов: 294 пробы – в 2021 г. и 559 – в 2022 г. Таблица иллюстрирует высеваемость патогенной вибриофлоры из проб контрольных точек в морской и пресной воде у устья рек, впадающих в море, за отмеченный период. ОМЧ в морской воде в точках отбора проб был достаточно низкий ($5,2-5,5 \cdot 10^3$ кл./г), повышаясь в летний период при температуре более 25°C до $8 \cdot 10^4$ кл./г. Обсемененность грунта гетеротрофной микрофлорой с учетом сезонов изменялась от $4,6 \cdot 10^9$ до $9,3 \cdot 10^{10}$ кл./г.

В морской воде были выявлены следующие виды сем. *Vibrionaceae*: *V. alginolyticus*, *V. parahaemolyticus*, *V. anguillarum*, *V. fluvialis*, *V. vulnificus* и представители рода *Aeromonas* из сем. *Aeromonaceae*. Виды *V. cholerae non O1* и *V. cholerae O139* высевались единично только в морской воде, взятой вблизи берега в местах впадения малых рек в море. В точках отбора проб морской воды холерные вибрионы не были выявлены.

Среди галофильных вибрионов по частоте и тяжести вызываемых ими заболеваний особое место занимают параземолитические вибрионы: *V. parahaemolyticus* и *V. alginolyticus* – основные возбудители пищевых отравлений, вызванных зараженной рыбой или моллюсками. Галофильный *V. vulnificus*, вызывает первичную септицемию, связанную с употреблением зараженных морепродуктов, а также раневые инфекции, возникающие при воздействии загрязненной морской воды на открытую рану, реже – инфекции желудочно-кишечного тракта. Род *Aeromonas* включает 12 видов, из которых в патологии человека имеют значение виды: *A. hydrophila*, *A. caviae*, *A. veronia*. Факультативные анаэробы, вызывая у людей широкий спектр заболеваний: гастроэнтериты, раневую инфекцию, диарею и др. [9].

Неблагоприятной по санитарно-эпидемиологическим показателям (наличие неагглютинирующих холерных вибрионов) оказалась морская вода, отобранная на пляжах «Приморский» в г. Ялте, на городском пляже в г. Алуште и сточная вода из городских коллекторов обоих курортных городов, но выделяемость из них *V. cholerae non O1* низкая. Самоочищаемость морской воды гораздо выше, чем пресной, чему способствует смена течений с преобладающими ветрами. *V. alginolyticus* является галофильным вибрионом и высевался из морской воды чаще, чем другие виды рода *Vibrio*. *V. parahaemolyticus* – также галофильный вибрион, но встречаемость его во внешней среде почти вдвое меньше, чем *V. alginolyticus*. В морской воде также достаточно высоко содержание вибрионов *V. fluvialis*. Наибольшее количество проб, из которых выделен данный микроорганизм, отобраны на пляже «Массандра» г. Ялты. *V. anguillarum*, которого относят к строгим галофилам, высевается в прибрежной полосе в крайне малых количествах: он обнаруживался всего в 4 пробах на пляже «Рабочий уголок» в г. Алуште и в 1 пробе – на пляже гостиницы «Интурист» в г. Ялте. Вибрионы рода *Aeromonas*, как показали исследования, очень распространены и обнаруживаются в разных количественных соотношениях во всех экосистемах, однако в пресных водах встречаются чаще, чем в морских.

Повышение уровня выделяемости галофильных вибрионов *V. alginolyticus* и *V. parahaemolyticus* более, чем на 40% по абсолютным показателям позволяет предположить, что в 2022 г. стало выше органическое загрязнение морской воды, что обусловлено повышением антропогенной нагрузки и температурного режима окружающей среды, более благоприятным для развития галофилов. *V. parahaemolyticus* и *V. fluvialis* высевались в 2022 г., как в общем коллекторе г. Ялта, так и в очистных сооружениях г. Алушты, что в 2021 году отмечено не было. В 2022 г. в обоих курортных городах из морской воды был выявлен редко высеваемый вид вибрионов – *V. vulnificus*, который не определялся во всех исследуемых пробах воды за 2021 г.

Проведенные 2-х летние исследования по изучению видового состава гетеротрофных вибрионов, обитающих в морской воде Азово-Черноморского бассейна вблизи крымского побережья позволяют сделать следующие выводы.

В морской воде наиболее распространены галофильные вибрионы: *V. alginolyticus*, *V. fluvialis* и *V. parahaemolyticus*. Из речной воды чаще всего высевались вибрионы *V. cholerae non O1* и *Aeromonas*. Из сточной воды наиболее часто высевались *Aeromonas* и *V. cholerae non O1*. Повышение температуры морской и речной воды в летние месяцы до 25 °С оказывает существенное влияние на интенсивность роста популяций вибрионов, к концу сентября их численность постепенно уменьшается вследствие понижения этого показателя и снижения антропогенной нагрузки.

Библиографический список

1. Багрова Л. А., Боков В. А. Багров Н. В. География Крыма. Киев : Лебедь, 2001. 302 с.
2. Гидрология и геохимия морей // Современное состояние загрязнения вод Черного моря / под ред. А. И. Симонова, А. И. Рябилина. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика. 1993. Т. 4. Вып. 3. 203 с.
3. Темякова С. Ю., Писанов Р. В., Ступникова Е. В. Патогенетический потенциал *Vibrio vulnificus* как возбудителя септических инфекций. DOI: 10.20953/2500-1027-2023-2-72-78 // Бактериология. 2023. Т. 8. № 2. С. 72–78.
4. Беленёва И. А., Жукова И. В. Сезонная динамика численности и биоразнообразия морских гетеротрофных бактерий, населяющих беспозвоночные животные и воду залива Петра Великого, Японское море // Микробиология. 2009. Т. 33 (78). С. 414–420.
5. Доклад о состоянии окружающей среды Республики Крым в 2021 г. подготовленный Министерством экологии и природных ресурсов. Симферополь, 2022. 400 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments/-d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/php2g3lnJ_php4qjkz8_2.pdf. (Дата обращения: 12.03.2024).
6. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества морских вод ГОСТ 17.1.3.08-02. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008295> (Дата обращения: 12.03.2024).
7. Качество воды. Общие требования и руководство по микробиологическим исследованиям методом посева на питательной среде. ИСО 8199. [Электронный ресурс]. – URL: http://samlib.ru/m/malyga_a_s/iso8199.shtml. (Дата обращения: 12.03.2024).

8. СП «Правила санитарной охраны прибрежных вод морей». (Утверждено заместителем Главного Государственного врача СССР А. А. Заиченко 31.12.1974 № 1210-74. Дата актуализации: 01.01.2021.

9. Медицинская микробиология, вирусология и иммунология : учебник / под ред. В. В. Зверева, А. С. Быкова. М. : ООО «Медицинское информационное агентство», 2016. С. 445–456.

ФИТОПЛАНКТОН В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПСКОВСКОГО ОЗЕРА

Т. В. Дрозденко

*Псковский государственный университет, г. Псков, Россия,
tboichuk@mail.ru*

Представлены результаты мониторинга фитопланктонных сообществ Псковского озера в весенний период 2023 года. Определены качественный и количественный составы планктонных водорослей, показаны доминирующие виды микроводорослей, проведен сапробиологический анализ, благодаря чему установлен класс качества воды исследованной акватории.

Ключевые слова: биоиндикация, мониторинг, фитопланктон, сапробность, качество воды, Псковское озеро.

В связи с увеличивающимся влиянием антропогенной нагрузки на биосферу одной из главных проблем современности становится проблема экологического состояния природных вод.

Первостепенная роль в водных экосистемах принадлежит планктонным микроводорослям – первичным продуцентам органического вещества. Благодаря малым размерам и короткому жизненному циклу, фитопланктон дает быстрый ответ на малейшие загрязнения водной среды, поэтому является очень удобным биоиндикатором в оценке экологического состояния водных объектов [1–3].

Псковское озеро представляет собой крупное пресноводное озеро площадью 709 км², являющееся южной частью Чудско-Псковского озерного комплекса. Озеро характеризуется мелководностью, преобладают глубины 3–5 м. Донные отложения представлены песком и илом. Течения в водоеме слабые, в основном ветрового происхождения. Их скорость обычно невелика и колеблется в среднем в пределах 5–9 см/сек. Воды озера умеренно-прозрачные, характеризуются слабощелочной реакцией (рН 8,3) [4].

В связи с растущими темпами освоения региона, усилением хозяйственной деятельности на водосборах наблюдается увеличение содержания биогенных элементов в водоемах (эвтрофикация), в том числе и в Псковском озере, что, в конечном итоге, может привести к необратимым последствиям. Поэтому регулярное проведение мониторинговых мероприятий для оценки

экологического состояния водных объектов Псковской области не вызывает сомнений.

Целью данной работы стало изучение показателей развития фитопланктона для оценки экологического состояния Псковского озера в начале вегетационного периода 2023 г.

Отбор интегрированных проб фитопланктона проводился стандартным способом в мае 2023 г. на 4 постоянных станциях Псковского озера [5] (рис. 1). Параллельно измерялись температура и рН воды.

В зависимости от станции исследования температура изменялась от 15,4 до 16,2 °С, составляя в среднем 15,8 °С. Значения рН колебались в пределах 8,13–8,34 (в среднем – 8,24), что свидетельствует о слабощелочной реакции среды в озере.

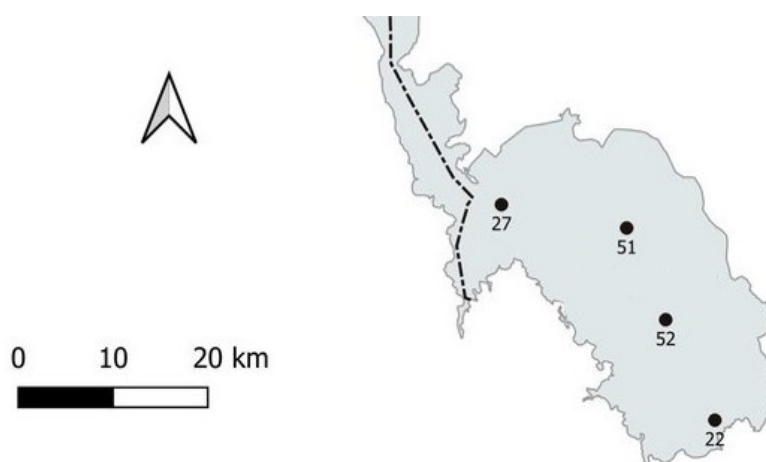


Рис. 1. Карта расположения постоянных станций отбора проб фитопланктона в Псковском озере

Пробы фитопланктона фиксировались 40% раствором формалина, концентрировались до 10 мл и просматривались с помощью микроскопа «Axio Lab A1» (Carl Zeiss, Германия). Идентификация видовых таксонов микроводорослей проводилась с помощью определителей, указанных ранее [6]. При выделении таксонов водорослей использовалась система международного сайта AlgaeBase [7]. Численность фитопланктона рассчитывалась по общепринятой формуле [5], биомасса – по объемам водорослей [8]. Индекс сапробности вычислялся методом Пантле-Букк [9]. Класс качества вод устанавливался, основываясь на эколого-санитарной классификации [10].

В мае 2023 г. в акватории Псковского озера всего было выявлено 112 видовых и внутривидовых таксонов фитопланктона из 8 таксонов рангом выше класса: Bacillariophytina, Chlorophyta, Cyanobacteria, Dinoflagellata, Ochrophytina, Cryptista, Euglenophyta и Charophyta (рис. 2).

Основу флористического комплекса составляли диатомовые водоросли (46 видовых таксонов, 41,1% от общего числа видов), зеленые водоросли (28 видов, 25,0%) и цианобактерии (20 видов, 17,9%). Доля представителей охрофитовых водорослей составляла 6,3% (7 видовых таксонов). На остальные отделы в видовом богатстве в совокупности приходилось 9,8% (рис. 2).

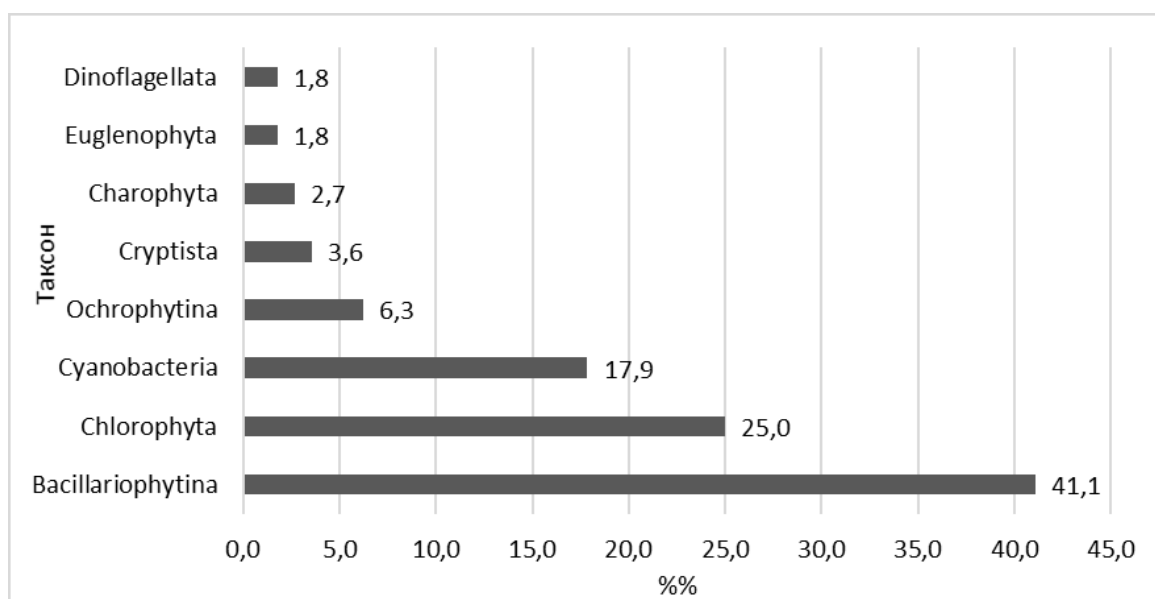


Рис. 2. Таксономический состав фитопланктона Псковского озера, май 2023 г.

Число видовых таксонов фитопланктона изменялось от 58 на станции 22 до 76 на станции 52, составляя в среднем 68,8 видов на станцию. Доминирующий комплекс планктонной альгофлоры на всех исследованных станциях составляли диатомовые, зеленые водоросли и цианобактерии. Представители отдела Charophyta были встречены только на станции 27 (табл. 1).

Таблица 1

Таксономический состав фитопланктона Псковского озера на разных станциях

| Таксон | Число видовых и внутривидовых таксонов, ед. | | | |
|-------------------|---|------------|------------|------------|
| | станция 22 | станция 52 | станция 51 | станция 27 |
| Bacillariophytina | 22 | 34 | 28 | 27 |
| Chlorophyta | 11 | 21 | 20 | 17 |
| Сyanobacteria | 12 | 13 | 13 | 14 |
| Ochrophytina | 6 | 3 | 4 | 3 |
| Cryptista | 4 | 3 | 4 | 4 |
| Charophyta | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Euglenophyta | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Dinoflagellata | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Итого | 58 | 76 | 71 | 70 |

Численность весеннего фитопланктона изменялась от 3,72 млн кл./л на станции 22 до 24,66 млн кл./л на станции 52, биомасса – от 1,64 мг/л на станции 22 до 5,67 мг/л на станции 51 (табл. 2). Средняя численность фитопланктона исследуемой акватории составляла 11,98 млн кл./л, биомасса – 1,83 мг/л.

Таблица 2

**Количественные показатели фитопланктона и индекс сапробности
Псковского озера**

| Показатели | Станция 22 | Станция 52 | Станция 51 | Станция 27 | Среднее |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| N, млн. кл./л | 3,72 | 24,66 | 12,40 | 7,14 | 11,98±9,18 |
| B, мг/л | 1,64 | 3,67 | 5,67 | 3,94 | 3,73±1,65 |
| Индекс сапробности | 1,91 | 1,46 | 2,15 | 1,81 | 1,83±0,29 |

В численность фитопланктонных сообществ наибольший вклад вносили представители отдела Cyanobacteria – 45,0–83,3%, где среди доминирующих видов были отмечены мелкоклеточные колониальные хроококковые из рода *Aphanocapsa*: *A. delicatissima*, *A. holsatica* и *A. incerta*. Доля диатомовых водорослей в общей численности составляла 13,1–41,6%, причем значительным развитием почти на всех станциях исследования отличалась центрическая диатомовая водоросль *Aulacoseira granulata* (табл. 3).

Таблица 3

Виды-доминанты фитопланктона Псковского озера

| № станции | Виды-доминанты по численности | | Виды-доминанты по биомассе | |
|-----------|----------------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------|
| | видовой таксон | % от общей численности | видовой таксон | % от общей биомассы |
| 22 | <i>Aulacoseira granulata</i> | 28,3 | <i>Aulacoseira granulata</i> | 57,7 |
| | <i>Aphanocapsa delicatissima</i> | 10,8 | | |
| | <i>Aphanocapsa holsatica</i> | 10,8 | | |
| 52 | <i>Aphanocapsa delicatissima</i> | 42,7 | <i>Aulacoseira granulata</i> | 45,3 |
| | <i>Aphanocapsa incerta</i> | 19,6 | <i>Aulacoseira distans</i> | 17,1 |
| 51 | <i>Aulacoseira granulata</i> | 33,7 | <i>Aulacoseira granulata</i> | 66,3 |
| | <i>Aphanocapsa delicatissima</i> | 16,5 | | |
| | <i>Aphanocapsa incerta</i> | 14,3 | | |
| 27 | <i>Aulacoseira granulata</i> | 26,2 | <i>Aulacoseira granulata</i> | 42,6 |
| | <i>Aphanocapsa delicatissima</i> | 21,2 | <i>Aulacoseira distans</i> | 17,1 |
| | <i>Aphanocapsa incerta</i> | 12,5 | | |

Наибольший вклад в биомассу вносили диатомовые водоросли, на которые приходилось 88,6–96,0% от общей биомассы. Среди видов-доминантов отмечались представители рода *Aulacoseira*: *A. granulata* и *A. distans* (табл. 3).

Индекс сапробности по Пантле и Букк варьировал от 1,46 на станции 52 до 2,15 на станции 51, составляя в среднем по акватории 1,83 (табл. 2), что позволяет отнести воды Псковского озера к умеренно загрязненным, III классу чистоты.

Библиографический список

1. Дрозденко Т. В., Медянкина М. В., Антал Т. К. Оценка показателей развития фитопланктона и качества воды Чудско-Псковского озера в современных условиях. DOI: 10.35885/1684-7318-2023-4-404-419 // Поволжский экологический журнал. 2023. № 4. С. 404–419.

2. Characteristics of the Phytoplankton Community Structure and Water Quality Evaluation in Autumn in the Huaihe River (China) / Y. Zhang, W. Gao, Y. Li et al. DOI: 10.3390/ijerph182212092 // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021. Vol. 18. No. 22. Article No. 12092.
3. Identification of environmental factors determining the diversity and abundance of phytoplankton in Menjer Lake, Wonosobo, Indonesia / A. S. Piranti, D. S. Widyartini, D. R. U. S. Rahayu, F. Noviana. DOI: 10.12912/27197050/176314 // Ecological Engineering & Environmental Technology. 2024. Vol. 25. No. 2. P. 272–280.
4. Озера и реки Псковской области [Электронный ресурс]. – URL: http://pskovfish.ru/ozero-sp/ozera_pskovsko_chydsкое.htm (дата обращения: 15.02.2024).
5. Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона : методическое руководство. М. : Изд-во «Университет и школа», 2003. 157 с.
6. Дрозденко Т. В., Кек И. В., Мишкова Т. А. Фитопланктон как биоиндикатор качества воды озера Маленец (Псковская область). DOI: 10.17816/snv202093110 // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9, № 3. С. 58–61.
7. AlgaeBase [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.algaebase.org/> (дата обращения: 16.02.2023).
8. Кузьмин Г. В. Таблицы для вычисления биомассы водорослей. Магадан : ДВНЦ АН СССР, 1984. 47 с.
9. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксийук, В. Н. Жукинский, Л. П. Брагинский и др. // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.
10. Pantle R., Buck H. Die biologische Uberwachung der Gewasser und die Darstellung der Ergebnisse // Gasund Wasserbach. 1955. Vol. 96. No. 18. P. 1–604.

ВАРЬИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКЕ ЛИХОБОРКЕ ГОРОДА МОСКВЫ

Д. Н. Липатов, П. Д. Коршениникова, Д. В. Манахов
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия,
dlip@soil.msu.ru, korsh-polina@yandex.ru, dman@soil.msu.ru

В статье представлены результаты определения температуры, pH, общей минерализации, содержания взвешенных веществ, электропроводности, содержания суммы нефтепродуктов, суммарной альфа- и бета-активности в воде реки Лихоборки от истока до устья. Выявлено загрязнение нефтепродуктами и повышенная суммарная альфа-активность проб воды.

Ключевые слова: экологический мониторинг, поверхностные воды, нефтепродукты, радионуклиды.

Контроль качества поверхностных вод в урболандшафтах является необходимым аспектом экологического мониторинга в городах. Речные экосистемы выполняют гидрологические, экологические и рекреационные функции. Реки Московской агломерации подвергаются техногенным воздействиям от промышленности, различных видов транспорта, коммунальных служб и

других объектов. При проведении мониторинга важно исследовать варьирование экологических показателей. Цель работы – оценить химические и радиационные показатели качества воды по всей протяженности р. Лихоборки.

Исследование проводилось в июле 2021 г. в северном и северо-западном районах Москвы. Объект исследования – р. Лихоборка – самая длинная из малых рек г. Москвы, имеет протяженность более 30 км, впадает в р. Яузу. Около 20 км русла реки протекает в коллекторах и других подземных сооружениях. В течение многих десятилетий р. Лихоборка подвергалась загрязнению вследствие сбросов и выбросов ТЭЦ-21, утечек неочищенных промышленных и канализационных вод, стоков со свалок промышленных, бытовых отходов, стационарного снегоплавильного пункта «Бусиново», от Московской кольцевой дороги (МКАД) и других авто- и железнодорожных магистралей. В последние 20 лет на отдельных участках р. Лихоборки проводились работы по ликвидации источников руслового загрязнения, очистка вод, а также берегоукрепляющие и другие реабилитационные мероприятия [1]. Однако на большой протяженности река остается замусоренной бытовыми и строительными отходами, ее берега размыты.

Схема мониторинга включала серию контрольных створов реки (табл. 1). В полевых условиях были измерены некоторые физические и физико-химические показатели речных вод: температура, рН и электропроводность с помощью прибора Hanna рНер 4 и портативного кондуктометра Hanna DIST 4. В контрольных створах проводился отбор проб воды в стеклянные и пластиковые 1-литровые бутылки. В лабораторных условиях в этих пробах определялись некоторые физико-химические, химические и радиологические показатели. Измерения массовой концентрации взвешенных веществ в пробах воды выполняли согласно ПНД Ф 14.1:2:4.254-2009. Показатель содержания сухого остатка определяли по ГОСТ 18164-72. Измерение суммарного содержания нефтепродуктов в пробах поверхностных вод проводили по ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000 на концентратомере КН-2м. Измерение суммарной альфа- и бета-активности в пробах воды выполняли на основе методик МР 2.6.1.0064-12.

Таблица 1

Местоположение контрольных створов реки Лихоборки

| Номер контрольного створа реки | Участок реки | Местоположение | Географические координаты |
|--------------------------------|-----------------|--|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | исток | вблизи ручья Коровий Овраг и пруда, в 75 м к северу от Московской кольцевой автомобильной дороги | 55.906806 с.ш. 37.529396 в.д. |
| 3 | верхнее течение | в 300 м к югу от территории ТЭЦ-21 и в 150 м к юго-востоку от ул. Ижорской | 55.884911 с.ш. 37.507791 в.д. |
| 5 | среднее течение | набережная на ул. Лихоборская вблизи Опытного химико-технологического завода ВНИИХТ | 55.853240 с.ш. 37.537417 в.д. |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|----------------------------------|--|----------------------------------|
| 7 | нижнее течение | в микрорайоне Алтуфьево, в 350 м к западу от Алтуфьевского шоссе | 55.852993 с.ш. 37.579221 в.д. |
| 9 | устье, место впадения в р. Язузу | на территории Главного ботанического сада РАН, в 170 м к востоку от ул. Сельскохозяйственной | 55.843494 с.ш. 37.629966 в.д. |

Полученные оценки показателей сравнивались с нормативными уровнями для вод хозяйственно-бытового и рекреационного назначения (табл. 2), приведенными в СанПиН 1.2.3685-21 [2]. С экологических позиций оценочные показатели качества поверхностных вод, согласно ГОСТ Р 58556-2019 [3], разделяются на 5 классов: очень чистая, чистая, умеренно загрязненная, загрязненная, грязная.

Температура воды в р. Лихоборке, зафиксированная в дневное время 24 июля 2021 г., варьировала от 22,7 до 27,4 °С (табл. 2). В контрольном створе № 3 температура воды характеризовалась максимальным значением. Этот створ расположен в 300 м ниже по течению за территорией ТЭЦ-21, поэтому повышенная температура может свидетельствовать о сбросе нагретых промышленных вод в реку.

Водородный показатель рН вод р. Лихоборки показал наименьшее значение 7,4 в истоке, а затем увеличивался до 8,1 далее по ходу течения, оставаясь в допустимом для вод рекреационного назначения интервале (6,0–9,0).

В качестве критерия оценки полученных значений электропроводности речных вод с учетом отсутствия общепринятых санитарно-гигиенических критериев было выбрано значение, установленное Всемирной организацией здравоохранения – не более 1,5 мСм/см. Отмечено небольшое превышение этого нормативного уровня в створе № 1 в истоке р. Лихоборки. Трехкратное увеличение электропроводности выявлено в створе № 3 ниже по течению от ТЭЦ-21. При этом электропроводность воды в среднем течении и устье р. Лихоборки не превышает контрольного уровня 1,5 мСм/см (табл. 2).

Показатель общей минерализации для вод р. Лихоборки превышал нормативный уровень 1500 мг/л только в створе № 3, находившемся в 300 м ниже по течению от ТЭЦ-21. По-видимому, сбросы этого энергетического объекта приводят к ухудшению качества вод р. Лихоборки. В остальных исследованных створах: у истока, в среднем и нижнем течении реки общая минерализация не превышает нормативный уровень (табл. 2). В целом, воды р. Лихоборки можно охарактеризовать как преимущественно пресные – с минерализацией 0,2–0,5 г/л, однако в верхнем течении после ТЭЦ-21 они становятся солоноватыми – с минерализацией 1,0–3,0 г/л. Следует отметить, что выявленное в створе № 3 увеличение электропроводности воды может обуславливаться ее повышенной общей минерализацией.

Таблица 2

Показатели качества воды реки Лихоборки

| Показатели | Номера контрольных створов реки | | | | | Нормативные уровни |
|---|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|
| | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | |
| Температура воды, °С | 23,7 ±0,2 | 27,4 ±0,2 | 25,0 ±0,2 | 22,9 ±0,2 | 22,7 ±0,2 | – |
| Значение рН, ед. рН | 7,4 ±0,1 | 8,1 ±0,1 | 8,1 ±0,1 | 8,0 ±0,1 | 8,0 ±0,1 | 6,0–9,0 |
| Электропроводность, мСм/см | 1,71 ±0,05 | 5,09 ±0,05 | 0,74 ±0,05 | 0,66 ±0,05 | 0,69 ±0,05 | < 1,50 |
| Общая минерализация, мг/л | 370 ±15 | 2100 ±50 | 380 ±15 | 390 ±15 | 405 ±15 | < 1500 |
| Содержание взвешенных веществ, мг/л | 35,8 ±0,2 | 28,5 ±0,2 | 22,9 ±0,2 | 24,3 ±0,2 | 120,6 ±1,2 | < 100 |
| Содержание нефтепродуктов, мг/л | 0,21 ±0,01 | 2,54 ±0,10 | 0,25 ±0,01 | 0,43 ±0,02 | 0,72 ±0,03 | < 0,10 |
| Суммарная альфа-активность в водах после фильтрации, Бк/кг | 0,06 ±0,06 | 0,04 ±0,02 | 0,07 ±0,03 | 0,05 ±0,03 | 0,17 ±0,04 | < 0,20 |
| Суммарная альфа-активность во взвешенных веществах вод, Бк/кг | 0,11 ±0,05 | 0,11 ±0,05 | 0,14 ±0,05 | 0,05 ±0,03 | 0,07 ±0,04 | |
| Суммарная бета-активность в водах после фильтрации, Бк/кг | 0,26 ±0,17 | 0,12 ±0,12 | 0,19 ±0,13 | 0,29 ±0,15 | 0,18 ±0,13 | < 1,00 |
| Суммарная бета-активность во взвешенных веществах вод, Бк/кг | 0,14 ±0,12 | 0,03 ±0,11 | 0 | 0 | 0 | |

Содержание взвешенных веществ в исследованных пробах вод верхнего и среднего течения р. Лихоборки варьировало в пределах 22,9–35,8 мг/л. В нижнем течении реки, протекающей по городской территории и подземным коммуникациям, происходит увеличение количества взвешенных веществ в речной воде. В контрольном створе № 9, вблизи места впадения р. Лихоборки в р. Язу, отмечено резкое увеличение концентрации взвешенных веществ до 120,6 мг/л, которое превышает максимальный контрольный уровень в 1,2 раза. Это связано с выносом р. Лихоборкой значительных объемов твердого стока из урболандшафтов, включая частицы бытовых и строительных отходов, и с заилением инженерных сооружений подземных участков русла реки. Наблюдаемое увеличение содержания взвешенных веществ в устье р. Лихоборки не приводило к возрастанию электропроводности воды. Воды, исследованные на отдельных участках р. Лихоборки, относятся к разным классам качества по показателям минерализации и содержанию взвешенных веществ [3].

Содержание суммы нефтепродуктов в воде р. Лихоборки варьировало от 0,21 до 2,54 мг/л (табл. 2). Все зафиксированные значения содержания нефтепродуктов в воде превышают предельно допустимую концентрацию (ПДК), равную 0,1 мг/л. Следовательно, воды р. Лихоборки на всей ее протяженности загрязнены нефтепродуктами. В верхнем течении река по подзем-

ному коллектору пересекает МКАД и далее протекает по нескольким промышленным территориям и под многочисленными автодорогами, поэтому ее загрязнение нефтепродуктами происходит вследствие проливов горючесмазочных материалов и сбросов промышленных и коммунальных стоков. Наиболее сильное загрязнение отмечено в контрольном створе № 3, здесь содержание нефтепродуктов в воде превышало ПДК в 25 раз. На этот участок р. Лихоборки могут поступать сбросы ТЭЦ-21, снегоплавильного пункта «Бусиново», автотранспортных объектов. Загрязнение речных вод может проявляться и вследствие размыва нефтезагрязненных донных отложений, а также при выщелачивании нефтесодержащих промышленных отходов.

Сопоставляя полученные результаты с уровнями загрязнения других водных объектов г. Москвы, рассмотрим р. Яузу, притоком которой является р. Лихоборка. По данным [4], в р. Яузе содержание нефтепродуктов в водах варьировало от 0,01 до 14 мг/л в 2016 г. (до реабилитационных мероприятий) и от 0 до 0,90 мг/л в 2019 г. (после реабилитационных мероприятий). Значит, уровни загрязнения нефтепродуктами, выявленные нами в 2021 г. для р. Лихоборки, характерны и для р. Яузы.

Определение суммарной альфа- и бета-активности в отобранных пробах проводилось после отделения взвешенных веществ с помощью фильтрации, показатели измерялись отдельно для профильтрованной воды и осадка на фильтре. Полученные результаты показывают, что в суммарную альфа-активность вод р. Лихоборки большой вклад вносят вещества, осаждающиеся на фильтре, а в бета-активность – растворенные в воде вещества (табл. 2).

В ходе радиационных исследований особое внимание уделено контрольному створу № 5, заложенному в 50 м ниже по течению от старого ликвидированного полигона промышленных и радиоактивных отходов, располагавшегося на Опытном химико-технологическом заводе ВНИИХТ. В этой контрольной точке суммарная альфа-активность была равна 0,20 Бк/л, и бета-активность воды не превышала нормативный уровень.

Показатель суммарной альфа-активности для взвешенных веществ и воды в контрольном створе № 9 превышал нормативный уровень 0,2 Бк/кг в 1,2 раза. Не обнаружено превышения пороговых значений 1,0 Бк/кг для суммарной бета-активности ни в одной из исследованных проб воды. В соответствии с радиационным нормированием, повышенные уровни суммарной альфа-активности, выявленные для проб воды в нижнем течении р. Лихоборки, требуют дополнительного контроля ряда радионуклидов.

Таким образом, на всей протяженности р. Лихоборки ее воды загрязнены нефтепродуктами. В створе реки ниже по течению от ТЭЦ-21 отмечены повышенные показатели температуры, общей минерализации и электропроводности воды, а также очень сильное загрязнение нефтепродуктами. В устье р. Лихоборки при впадении в р. Яузу отмечено увеличение содержания взвешенных веществ и суммарной альфа-активности воды выше нормативных уровней.

Исследование проводилось в рамках НИОКТР № АААА-А21-121012290189-8, выполняемой по государственному заданию и при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ имени М. В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

Библиографический список

1. Сметанин В. И., Власов В. А. Обустройство городских водных объектов // Природообустройство. 2009. № 2. С. 22–29.
2. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : действ. с 01.03.2021. М., 2021. Доступ из системы «Консультант Плюс».
3. ГОСТ Р58556-2019. Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций : действ. с 01.05.2020. М. : Стандартинформ, 2019. 16 с.
4. Золкин А. Г., Камнев А. Н., Климова В. О. Оценка экологической эффективности реабилитации реки Яузы в границах городского округа Мытищи Московской области // Экология урбанизированных территорий. 2020. № 2. С. 62–70.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕГА В ГОРОДЕ КИРОВЕ

В. В. Рутман, М. Х. Хето

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
rutman.slavik@yandex.ru*

В статье представлены результаты исследования снегового покрова в г. Кирове в марте 2024 г. Выявлены основные загрязняющие вещества, оседающие в снеговой покров из атмосферы, и участки, наиболее подверженные негативным воздействиям.

Ключевые слова: снег, анионы, катионы, твёрдые частицы, ионная жидкостная хроматография, мониторинг, атмосфера.

Изучение содержания ионов и катионов в снегу важно для понимания состояния окружающей среды, его воздействия на экосистемы и здоровье человека. Анализ содержания примесей в талой снеговой воде может предоставить информацию о загрязнении атмосферы, источниках загрязнения и их распределении в городской среде.

Мониторинг атмосферного воздуха городской среды г. Кирова инструментальными методами проводится уже третий год [1].

Был проведён анализ снегового покрова (СП) в городе по следующим показателям: анионы: NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- ; катионы: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ; также был исследован показатель общего железа, рН и масса твёрдых частиц.

Содержание веществ в СП зависит от многих факторов.

Загрязнение воздуха: промышленные предприятия, автотранспорт и другие источники загрязнения могут выбрасывать в атмосферу различные вещества, которые затем попадают в снег.

Геологические особенности: состав почвы и горных пород может влиять на содержание ионов и катионов в снеге.

Метеорологические условия: количество осадков, температура воздуха и другие метеорологические факторы могут влиять на содержание ионов и катионов в снеге [2].

Целью данного исследования является анализ содержания ионов и катионов в снежном покрове в 13 различных точках города Киров для оценки уровня загрязнения.

Предполагается, что содержание ионов и катионов, таких как общее железо, хлорид-, нитрат-, сульфат-ионы, ион натрия, аммония, калия, магния, и кальция, в СП варьируется в зависимости от местоположения точки отбора проб.

Содержание этих загрязняющих веществ в СП значительно изменяется из-за деятельности человека, включая промышленные выбросы, автомобильный транспорт и другие источники загрязнения, и эти загрязняющие вещества в СП служат индикаторами загрязнения атмосферы [3].

Отбор проб снега производили в конце марта 2024 г. на 13 участках мониторинга атмосферного воздуха: участки № 1–10 расположены вдоль ул. Ленина в г. Кирове. Точка № 1 находится на пересечении с ул. Героя Николая Рожнева, а точка № 10 – на пересечении с ул. Профсоюзная. Участок № 11 – ж/д вокзал, № 12 – автовокзал и точка № 13 – парк им С. М. Кирова. Расположение участков отбора проб СП показано на рисунке 1.



Рис. 1. Карта-схема участков отбора проб снега в г. Кирове

Анализ проб снега проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на анионной и катионной ионообменных колонках. Для определения общего железа использовали визуальный колориметрический метод. Этот метод основан на способности катиона Fe(II) образовывать комплексное оранжево-красное соединение с орто-фенантролином в диапазоне pH 3–9 [4]. Результаты анализа содержания анионов в СП представлены на рисунке 2.

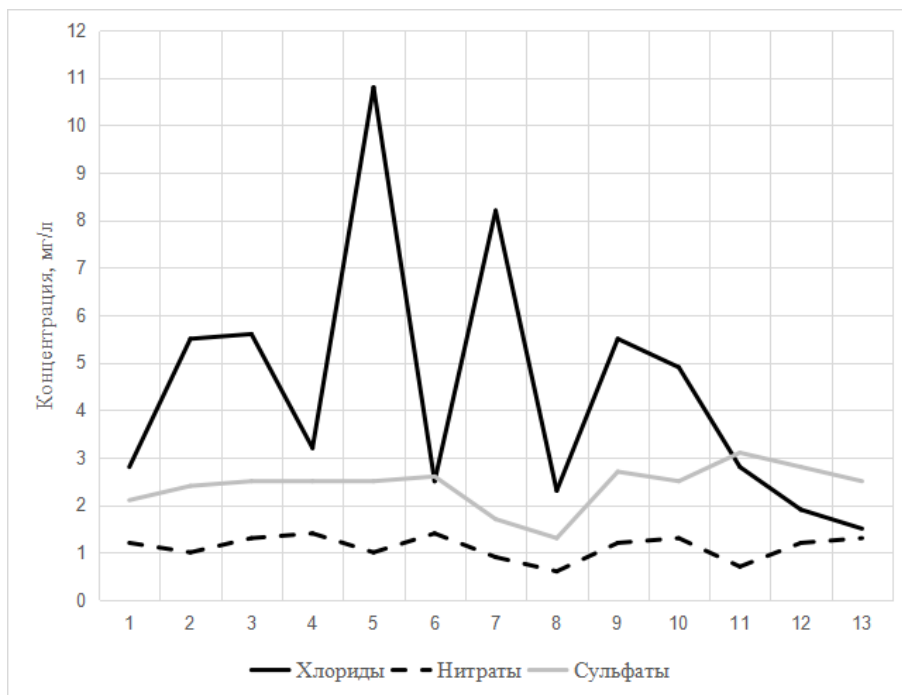


Рис. 2. Анионный состав снегового покрова, мг/л

Концентрация хлорид-ионов колеблется в пробах талой воды от 1,5 мг/л в парке имени Кирова (13) до 10,8 мг/л в районе моста через р. Хлыновку на ул. Ленина. Также отмечается высокое значение хлоридов в талой воде из оврага, вдоль ул. Горбачёва (7). Это может быть объяснено смыванием противогололёдных солей в понижения рельефа.

Нитраты в отобранных пробах распределены равномерно от 0,6 мг/л около центральной гостиницы (8) до 1,4 мг/л в районах зоологического музея (4) и филармонии (6). В снеговом покрове нитраты не образуются биологическим путём. Они оседают в снег из промышленных выбросов.

Основной источник поступления сульфатов в снег – выбросы при сжигании топлива. Близость источников сжигания топлива, таких как котельные и ТЭЦ, обуславливает повышение концентрации сульфатов в районе ж/д и автовокзалов (точки 11 и 12): 3,1 и 2,8 мг/л соответственно. Наименьшее значение концентрации сульфатов в пробах снега отмечено в точке 8 (центральная гостиница) – 1,3 мг/л.

Помимо веществ, оседающих из воздуха, СП также загрязняется противогололёдными реагентами и продуктами жизнедеятельности животных, ос-

новными из которых являются собаки и городская орнитофауна. На рисунке 3 представлены результаты хроматографии катионов.

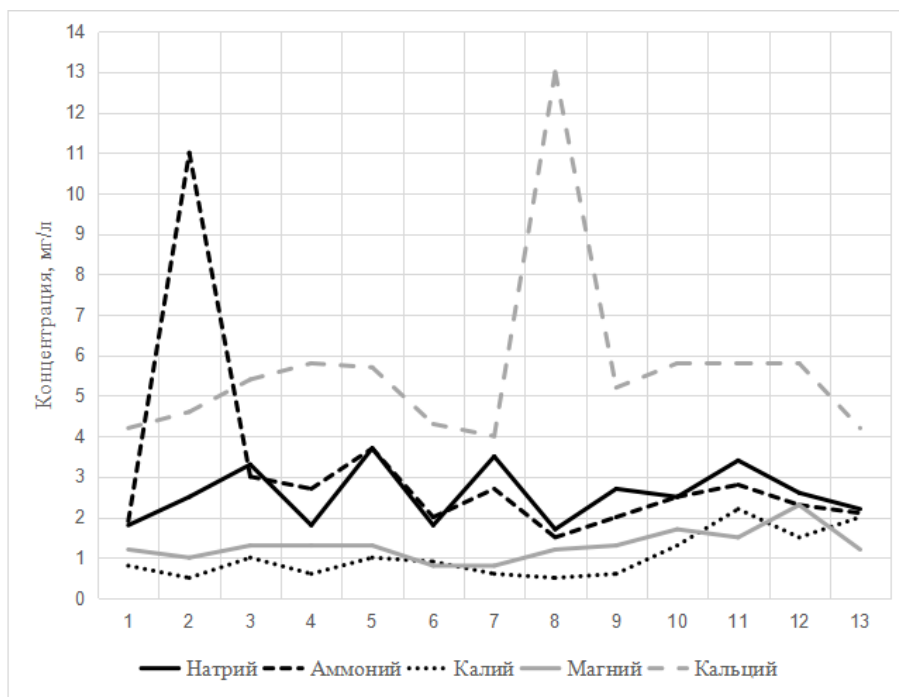


Рис. 3. Катионный состав снегового покрова, мг/л

Концентрация соединений натрия в исследуемых пробах колеблется в незначительном диапазоне от 1,8 до 3,4 мг/л. Особенно выраженных повышений и понижений концентрации не наблюдается.

Аммонийсодержащие вещества распределены также равномерно, как и соли натрия, за исключением резкого повышения до 11 мг/л в пробе из точки № 2 ул. Ленина – ул. Рудницкого. Объективную причину такого явления установить не удалось. В остальных пробах разброс значений составляет от 1,5 до 3 мг/л. Основной источник поступления аммония – деятельность животных.

Калий также попадает в снег из атмосферных осадков и деятельности животных. Его концентрация незначительна и равномерна. Колеблется в диапазоне от 0,5 до 1,5 мг/л. Аналогичная ситуация и с магнием.

Наибольший вклад в загрязнение снегового покрова, а в итоге почвы и водоёмов, привносит кальций, содержание которого превышает концентрацию других компонентов. Минимальная концентрация – 4,0 мг/л и 4,2 мг/л представлена в исследуемых пробах, отобранных в овраге, вдоль ул. Горбачёва и парке имени С. М. Кирова и микрорайоне «Солнечный берег». Максимальная концентрация кальция составила 13 мг/л в пробе, отобранной в точке № 8, около центральной гостиницы. Кальций это основной компонент, содержащийся в протвогололёдной смеси. И разница концентрации может быть обоснована интенсивностью применения на разных участках.

Помимо ионного анализа проводили и другие измерения. рН талой воды в исследуемых пробах в норме и составляло от 5,5 до 6,1. Концентрация

общего железа не превышала 0,1 мг/л и близка к нулю. Особый интерес представляет сравнение массы твёрдых частиц в снеге (рис. 4).

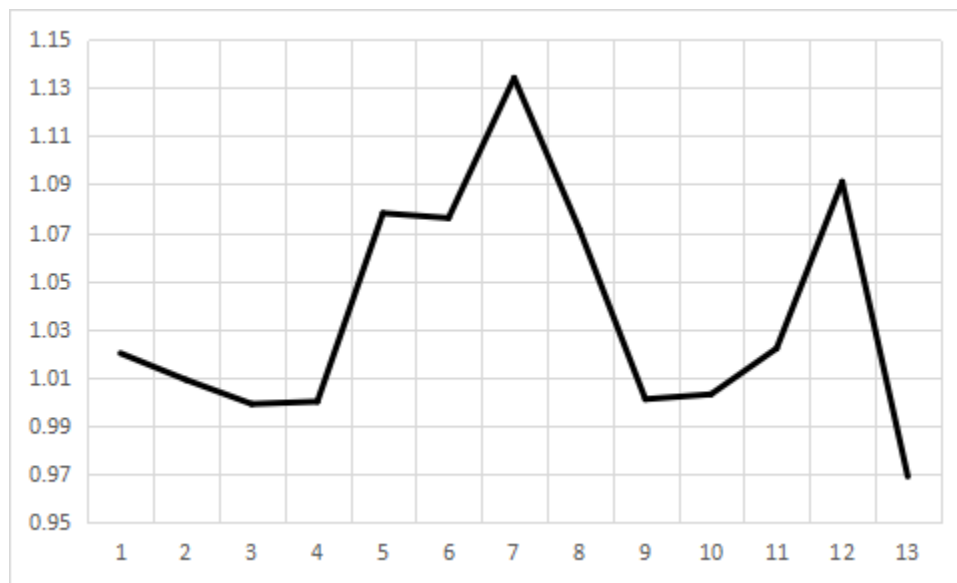


Рис. 4. Содержание твёрдых частиц в пробах снега, г

Твёрдые взвешенные пылевые частицы, не растворимые в воде, взвешивали на бумажном высушенном на воздухе фильтре и включали массу самого фильтра, поэтому полученные данные могут быть использованы только для сравнения между собой. Наибольшее количество твёрдых частиц содержится в пробе № 7, в овраге, в пробе № 5, р. Хлыновка. Также высокий показатель присутствия твёрдых частиц в пробах, отобранных в районах ж/д вокзала (11), особенно, автовокзала (12) и филармонии (6). Наименьшее количество твёрдых частиц отмечено в пробах, отобранных в парке имени С. М. Кирова, также низкие показатели на возвышенностях и склонах рельефа местности пробы (1–3 и 8–9). Такое распределение связано с расположением источников выбросов, распределением загрязнения от этих источников и ландшафтом.

Исследования СП важно для оценки качества атмосферного воздуха, поскольку единичные замеры концентрации веществ в атмосфере дают представление о состоянии воздуха только на текущий момент, а снег накапливает в себе осаждаемые вещества.

Участком с самым загрязнённым снегом можно считать точку № 5, это мост через р. Хлыновка на ул. Ленина. Это самый низкий участок рельефа. Также снег относительно загрязнён в точках 1 – 4. Эти участки расположены вдоль ул. Ленина от мкр. «Солнечный берег» до моста через р. Хлыновку. А самая чистая проба снега, как и предполагалось, в парке имени С. М. Кирова.

Библиографический список

1. Рутман В. В., Хето М. Х. Исследование содержания запахообразующих веществ в атмосфере города // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 353–356.

2. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Промышленные свинокомплексы как источники загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2021. № 5 (51). С. 88–91.

3. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Моделирование углеродного баланса полигонов твёрдых коммунальных отходов. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-198-204 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 198–204.

4. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки / под ред. А. Г. Муравьева. СПб. : «Крисмас+», 2011. С. 96–101.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА МЕТОДОМ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ В ГОРОДЕ ПЕЧОРА

А. В. Пантелеева, Н. М. Зимонина

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
Anastasia.Panteleeva.2000@yandex.ru, zimonina.nata@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования состояния атмосферного воздуха г. Печора. С помощью метода лишеноиндикации выявлена степень загрязнения воздуха на участках в различных функциональных зонах города. Определен видовой состав лишайников на участках исследования.

Ключевые слова: лишеноиндикация, г. Печора, качество атмосферного воздуха, эпифитные лишайники, мониторинг.

Загрязнение атмосферного воздуха – одна из важных проблем, берущая своё начало ещё на рубеже 19–20 веков. С течением времени, актуальность наблюдения за состоянием атмосферного воздуха не только не снижается, а увеличивается, так как растёт количество самих источников вредных выбросов, изменяется их состав, меняются технологические процессы производства и защиты атмосферы. Особенно остро данная проблема стоит в северных регионах России, в городах, где часто наблюдаются так называемые неблагоприятные метеорологические условия (антициклональный тип погоды).

Лишайники достаточно широко распространены и выносливы к действию абиотических факторов среды организмы. В биоиндикационных исследованиях они используются как индикаторы загрязнения воздуха промышленными выбросами и выбросами автотранспорта. Многочисленные исследования в районах промышленных объектов, на заводских и прилегающих к ним территориях показывают прямую зависимость между загрязнением атмосферы и сокращением численности определенных видов лишайников. Особая чувствительность лишайников объясняется тем, что они не могут выделять в атмосферу поглощённые токсичные вещества, которые вызывают физиологические нарушения и морфологические изменения [1].

При изучении воздушной атмосферы городов были обнаружены следующие закономерности роста и распространения лишайников: чем больше индустриализован город, чем сильнее загрязнен воздух, тем меньше встречается

в нём видов лишайников, меньшую площадь они покрывают на стволах деревьев и других субстратах, ниже их жизнеспособность, по мере увеличения степени загрязненности воздуха первыми исчезают кустистые лишайники, за ними листовые и последними – накипные [2].

Наиболее удобными для исследования являются эпифитные лишайники (обитающие на стволах и ветвях деревьев и кустарников). Обусловлено это тем, что стволы и ветви деревьев и кустарников ежегодно подвергаются большей циркуляции воздуха, чем наземная растительность [3].

Целью нашей работы стала оценка состояния атмосферного воздуха г. Печора с использованием метода лишеноиндикации.

На исследованных участках были встречены и определены 8 видов лишайников: *Bryoria implexa* (Hoffm.) Brodo et Hawksw, *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl, *Xanthoria parietina* (L.) Belt., *Parmelia sulcata* Tayl., *Pseudevernia furacea* (L.) Zopf. Syn., *Usnea hirta* (L.) Weber ex F.H.Wigg, *Physcia stellaris* (L.) Nyl., *Physcia aipolia* (Ehrh. ex Humb.) Fürnr. Исследования проведены на одиннадцати участках, расположенных в разных функциональных зонах города (селитебной, транспортной, рекреационной). Исследование проводилось с августа по декабрь 2023 года. На каждой пробной площадке было оценено 10 деревьев березы повислой (*Betula pendula*). Качество воздуха оценивали в соответствии со шкалой, с учётом среднего проективного покрытия и среднего количества видов лишайников, встреченных на участке [4]. Для определения проективного покрытия лишайниками стволов деревьев использовались два приёма [1]: измерение палеткой и приём «линейных пересечений» (измерение мерной лентой), данные, полученные двумя методами, сравнивались. Оба приёма измерения дают сходные результаты (рис.), в настоящей статье рассматриваются результаты, полученные методом «палетки».

Наибольшее внимание в нашем исследовании было уделено участкам транспортной зоны города, что связано с особенностями городской планировки и с социальными запросами горожан, которых беспокоит возросшая загруженность автодорог в городе. Исследованы участки вдоль автомагистралей по улицам: Советской, Гагарина, Привокзальной, проспект Печорский и Молодёжный бульвар. Среднее проективное покрытие лишайниками стволов деревьев на всех участках была меньше 20% и колебалась в пределах от 4,12% (улица Гагарина) до 9,8% (ул. Привокзальная), на участках встречалось от 3 до 5 видов лишайников, данные показатели характеризуют воздух вдоль автомагистралей, как «сильно загрязнённый».

Видовое разнообразие лишайников и степень покрытия деревьев на придомовых территориях свидетельствуют об «умеренно загрязненном» и «относительно чистом воздухе» во дворах по улице Спортивной и Советской соответственно (рис.). Участком с «чистым воздухом» является дворовая территория по ул. Строительная, 12 – это спальный район, в относительной дали от оживленных автодорог, крупных промышленных производств и котельных. Низкое качество воздуха было отмечено на территории школы МОУ СОШ № 49, проективное покрытие лишайников составило – 8,4%, количество

встреченных видов – 3, что может быть связано с расположением школы и слабой озеленённостью территории школы.

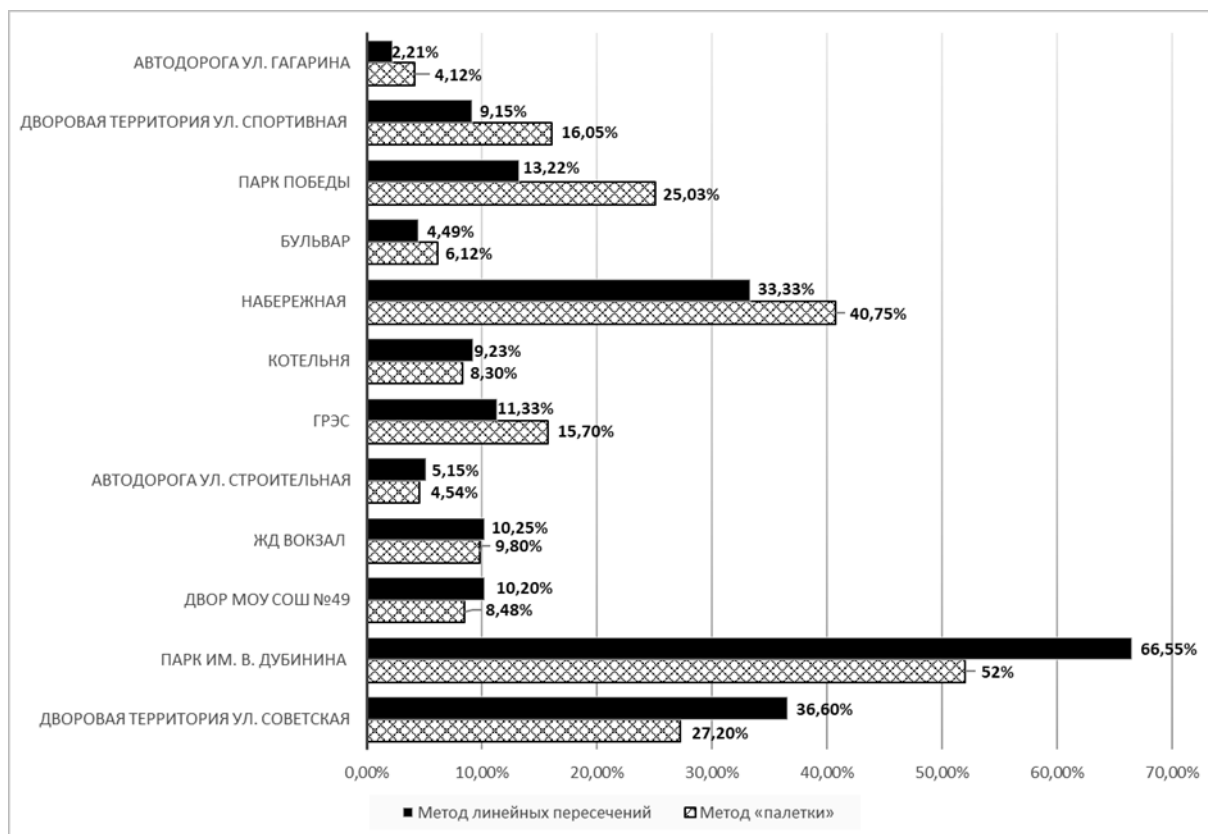


Рис. Показатели проективного покрытия стволов деревьев лишайниками на исследованных участках г. Печора

Состояние атмосферного воздуха рекреационных территорий города (Набережная г. Печоры, парк им. В. Дубинина) (рис.) можно охарактеризовать как «чистый воздух», исключение составляет парк Победы, где средняя площадь покрытия лишайниками составляла 25,03%, количество видов лишайников – 4, что соответствует «умеренно загрязнённому» воздуху. Такой результат диагностики может быть связан с расположением парка Победы рядом с оживлённым Печорским проспектом, его небольшой площадью и относительной молодостью берёз в этом парке.

Таким образом, среднее проективное покрытие лишайниками деревьев в г. Печора колебалось от 4,2% (автодорога по ул. Гагарина) до 52% (парк имени В. Дубинина), с учётом числа, встреченных на данных участках видов лишайников, качество атмосферного городского воздуха колебалось от «сильно загрязненного» до «чистого воздуха» соответственно. Самыми загрязнёнными оказались участки вдоль автодорог. «Лишайниковых пустынь» среди исследованных участков не наблюдалось. Состояние воздуха большинства парков города соответствует выполняемой парками функции и может обеспечивать здоровый отдых горожан. Особое внимание следует уделить состоянию воздуха придомовых территорий, а также школ, которые находятся в центре города и/или поблизости от оживлённых автомагистралей.

Библиографический список

1. Школьный экологический мониторинг : учебно-методическое пособие / под ред. Т. Я. Ашихминой. М. : АГАР, 2000. 385 с.
2. Копысов В. А. Флора Вятского края. Часть 3. Лишайники. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2009. 176 с.
3. Пчелкин А. В., Боголюбов А. С. Методы лишеноиндикации загрязнений окружающей среды : методическое пособие. М. : Экосистема, 1997. 25 с.
4. Полевая практика по экологии : учебно-методическое пособие для студентов экологического факультета / Е. Г. Климентова, С. В. Ермолаева, Е. В. Рассадина и др. Ульяновск, 2012. 82 с.

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ВКЛАДА В ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Г. Я. Кантор

*Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия,
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
grigory_kantor@mail.ru*

Относительно причин происходящего в последние десятилетия роста средней глобальной температуры поверхности Земли и приземного воздуха существуют две крайних точки зрения. В соответствии с одной из них, главной, если не единственной, причиной глобального потепления является усиление парникового эффекта вследствие роста добычи и сжигания ископаемого топлива – главным образом нефти и газа. Противоположная точка зрения основана на предположении, что масштабы антропогенной деятельности несопоставимо малы по сравнению с масштабами природных процессов, и поэтому климатические изменения имеют естественные причины, а производственная деятельность человека если и вносит свой вклад, то он незначителен по сравнению с причинами природного характера [1–5].

Очевидно, истина лежит где-то посередине, и потепление обусловлено как природными, так и антропогенными факторами. Целью настоящей работы является количественная оценка относительного вклада тех и других факторов в суммарный эффект. Исходными данными для анализа служат статистические материалы по глобальному потреблению топлива, средней глобальной температуре и данные измерений концентрации углекислого газа в атмосфере (начиная с 1959 г. это прецизионные измерения на метеостанции Мауна Лоа на острове Гавайи посреди Тихого океана, а до этого – результаты анализа пузырьков воздуха в кернах антарктических льдов). Приведём доводы как в пользу гипотезы об антропогенной природе глобального потепления, так и против неё.

Графики на рисунках 1 и 2 наглядно показывают, что между содержанием углекислого газа в земной атмосфере и глобальной температурой существует тесная взаимосвязь. Однако наличие высокой корреляции между двумя

величинами A и B само по себе ничего не говорит о том, которая из них является причиной, а какая – следствием. Возможны три варианта: A – причина, B – следствие; B – причина, A – следствие, либо A и B являются следствиями некоторой третьей величины C . В данном случае общепризнано предположение, что причиной глобального потепления является рост концентрации парниковых газов вследствие увеличения объёмов сжигания ископаемого топлива. При этом необходимо помнить, что это всего лишь правдоподобная гипотеза, нуждающаяся в доказательстве (экспертное мнение, даже консенсусное, доказательством не является).

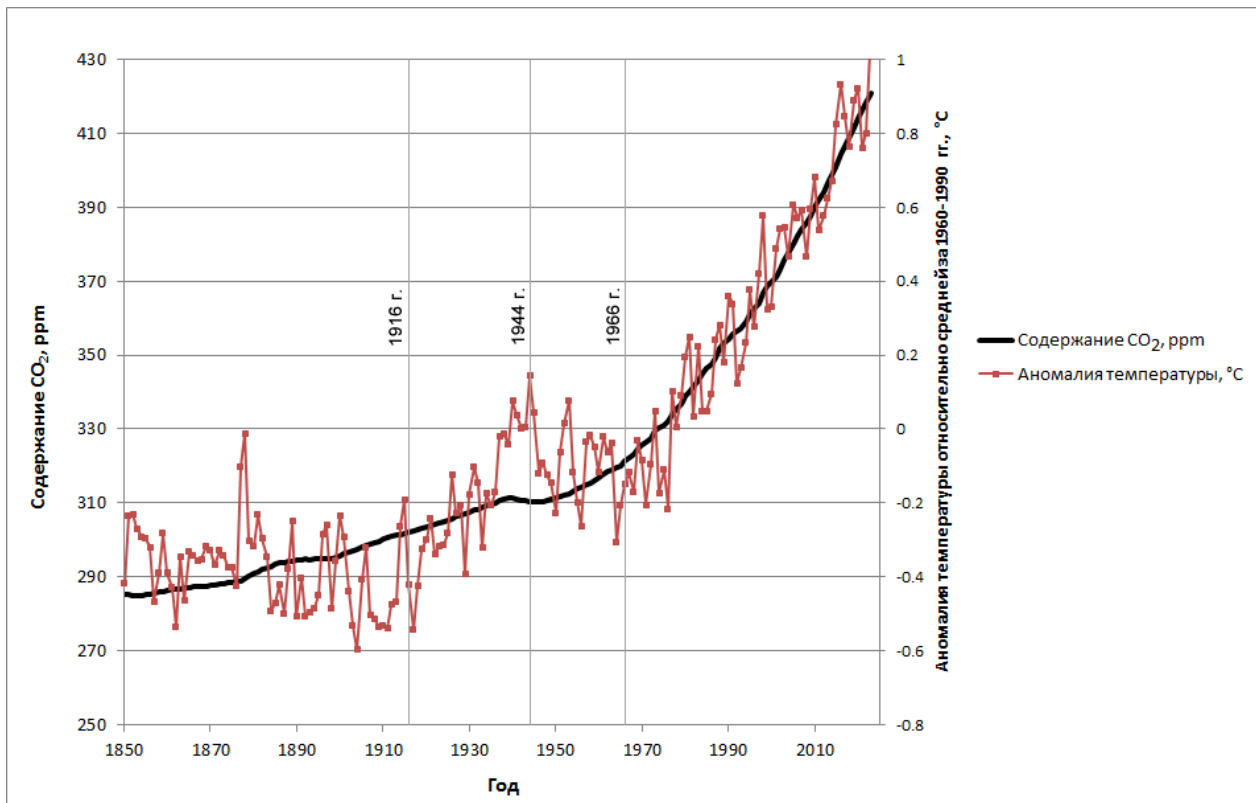


Рис. 1. Сопоставление содержания углекислого газа в атмосфере Земли со средней глобальной температурой в период 1850–2023 гг.

На рисунке 1 хорошо видно, что временной ряд температур отчётливо делится на 4 периода с различной скоростью изменения средней глобальной температуры, причём скорость роста в период 1916–1944 гг. практически точно совпадает со скоростью роста в 1966–2023 гг. (0,018–0,019 °C/год, рис. 3).

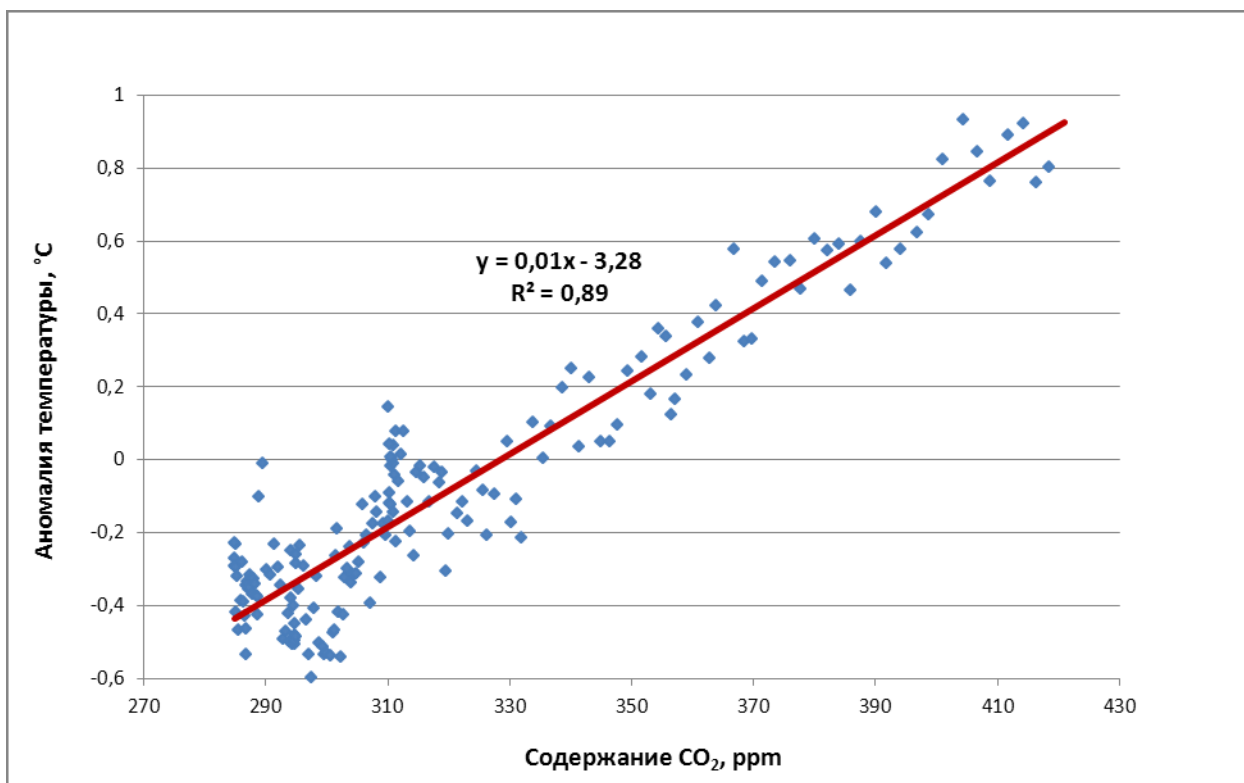


Рис. 2. Корреляция содержания CO₂ в атмосфере Земли и средней глобальной температуры

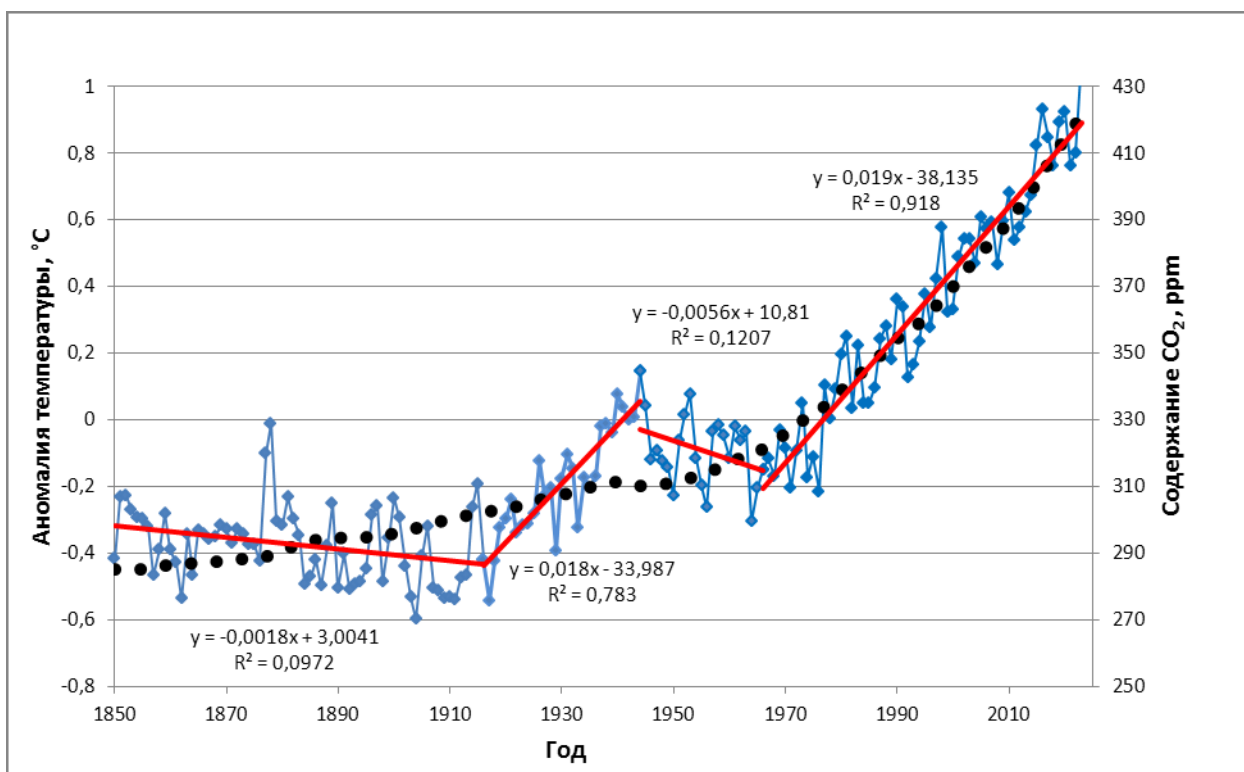


Рис. 3. Периоды роста и снижения средней глобальной температуры. Крупными точками обозначен ряд концентраций углекислого газа

При этом содержание углекислого газа в атмосфере Земли и скорость его изменения в эти периоды значительно различаются: в 1916–1944 гг. концентрация CO₂ увеличивалась с 302 до 310 ppm со средней скоростью 0,29 ppm/год, а в период 1966–2023 гг. – с 321 до 421 ppm со скоростью 1,75 ppm/год. Это даёт основание для предположения, что глобальное потепление 1916–1944 гг. и 1966–2023 гг. обусловлено одним и тем же природным процессом, а рост содержания углекислого газа не является главной причиной этого потепления. В период 1944–1966 гг. глобальная температура снижалась при продолжающемся росте концентрации углекислого газа. Аналогичная ситуация имела место и в период 1850–1916 гг.

Для приблизительной количественной оценки вклада хозяйственной деятельности человека в изменение климата можно сравнить объёмы природной и антропогенной эмиссии углекислого газа в атмосферу. По самым актуальным данным [6], суммарный антропогенный выброс CO₂ в 2023 г. составил 37,55 Гт. Данные по природной эмиссии углекислого газа довольно сильно разнятся у разных авторов, хотя по порядку величины достаточно хорошо сходятся. Мы возьмём за основу верхнюю оценку природной эмиссии CO₂, приведённую в работе [7]. В соответствии с этой статьёй, природная эмиссия углерода составляет 225 Гт/год, или, в пересчёте на углекислый газ – 823,5 Гт CO₂/год, в том числе 274,5 Гт/год за счёт дыхания почвы. Таким образом, мировая эмиссия CO₂ составляет 861 Гт/год, из которых на антропогенные выбросы приходится 4,4%, причём эта оценка не зависит от того, какой парадигмы взаимосвязи концентрации CO₂ и поверхностной температуры Земли мы придерживаемся.

Из приведённой оценки следует очевидный вывод о полной бессмысленности попыток влиять на изменение климата Земли путём ограничения сжигания ископаемого топлива. Что касается первопричины современного глобального потепления, то наиболее вероятным вариантом представляется некоторый природный процесс, связанный с изменениями режима конденсации водяного пара. Этим же объясняется и увеличение частоты экстремальных погодных явлений, которые часто безосновательно объявляются следствием глобального потепления.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 1220401000325.

Библиографический список

1. Вклад углекислого газа и воды в парниковый эффект / Н. В. Сырчина, Г. Я. Кантор, В. Н. Пугач, Т. Я. Ашихмина. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-218-223 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 218–223.
2. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Моделирование углеродного баланса полигонов твёрдых коммунальных отходов. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-198-204 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 198–204.

3. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В. Альтернативная оценка вклада метана в парниковый эффект. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-3-197-207 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 3. С. 197–207.
4. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В. Что такое «потенциал глобального потепления»? // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2023. С. 55–60.
5. Кантор Г. Я. Чем опасен метан? // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2023. С. 134–137.
6. Annual carbon dioxide (CO₂) emissions worldwide from 1940 to 2023 / [Internet resource]. – URL: <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/#:~:text=Global%20carbon%20dioxide%20emissions%20from,by%20more%20than%2060%-20percent>. (accessed: 16.04.2024).
7. Заварзин Г. А., Кудеяров В. Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник Российской академии наук. 2006. Т. 76. № 1. С. 14–29.

СЕКЦИЯ 3 ЦИФРОВИЗАЦИЯ: НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МИКРОСТАНЦИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

М. Г. Кургузкин¹, П. М. Кургузкин²

*¹ Автономное учреждение «Управление Минприроды УР»,
г. Ижевск, Россия, mgk@minpriroda-udm.ru,*

*² Ижевский государственный технический
университет имени М. Т. Калашикова,
г. Ижевск, Россия, 18kpt@mail.ru*

Приведены результаты использования автоматических микростанций для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в г. Камбарке за двухлетний период. Показано, что непрерывный контроль концентраций загрязнителей позволяет повысить информативность и достоверность оценки экологического состояния воздушной среды, а также даёт возможность осуществить идентификацию источников выбросов.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, экологический мониторинг, автоматизированная микростанция, сезонные колебания концентраций.

Использование данных экологического мониторинга для целей государственного надзора предъявляет повышенные требования к достоверности и информативности результатов наблюдений. Выполнение указанных требований возможно лишь на основе организации непрерывной регистрации загрязнения природных сред. В первую очередь это касается мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Воздушная среда характеризуется динамичностью и неконсервативностью, которая, с одной стороны обусловлена изменением метеоусловий, а с другой – сменой режимов работы самих техногенных источников. В подобных условиях непрерывность измерений является важным фактором обеспечения достоверности результатов мониторинга.

В работе [1] описан опыт пробной эксплуатации микростанций на платформе CityAir [2] для мониторинга воздушной среды г. Ижевска. В настоящей работе приведены некоторые результаты мониторинга воздушной среды в г. Камбарке Удмуртской Республики с использованием того же оборудования.

Две микростанции были установлены на правом и левом берегах Камбарского водохранилища. Размещение оборудования производилось на площадках автоматических стационарных постов контроля атмосферного воздуха (АСПК), функционировавших ранее в составе производственного экологического мониторинга объекта по уничтожению химического оружия. Расстояние между площадками составляет 1,8 км. Начало периода непрерывной работы микростанций – 1 января 2022 года.

В качестве примера результатов мониторинга воздушной среды на рисунках 1 и 2 приведено изменение концентраций диоксида азота и оксида углерода соответственно. Светлые и тёмные точки соответствуют каждому из двух постов наблюдения.

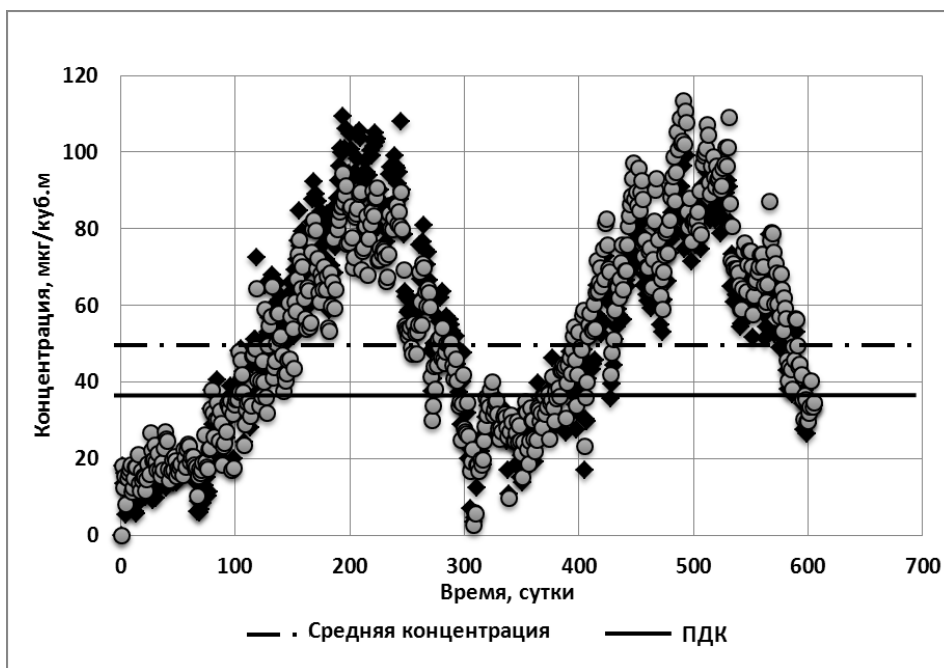


Рис. 1. Изменение концентрации диоксида азота

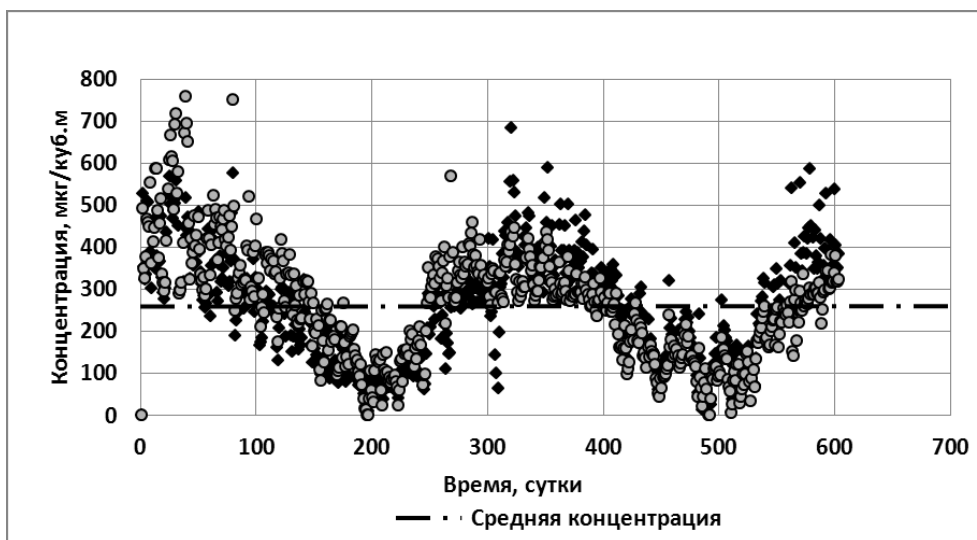


Рис. 2. Изменение концентрации оксида углерода

Как следует из рисунков, изменение концентраций поллютантов во времени имеет чётко выраженную циклическую форму, в виде постоянной средней величины, относительно которой происходят колебания весьма значительного размаха. При этом для диоксида азота и оксида углерода колебания происходят в противофазе с периодом, близким к одному году. В первом приближении временной процесс можно считать гармоническим, однако проверка этого предположения возможна лишь на результатах более длительного (3–4 года) периода наблюдений.

Результаты непрерывных наблюдений показывают, что оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха на основе средних величин малоинформативна. Например, для диоксида азота средняя за период наблюдений концентрация составляет всего 1,31–1,32 ПДК, при этом, как следует из рисунка, временные отрезки, в течение которых наблюдается кратное превышение ПДК, составляют значительную часть времени наблюдений.

Характер сезонных колебаний концентрации отдельных веществ в совокупности с информацией о метеорологических параметрах (направление и скорость ветра) в соответствующие периоды позволяет перейти от констатации загрязнения воздушной среды к выявлению и идентификации источников её загрязнения. Достоверность идентификации источников выбросов может быть существенно повышена также при использовании космических снимков территории природно-техногенных систем.

Библиографический список

1. Кургузкин М. Г., Кургузкин П. М. Опыт использования микростанций на платформе City Air для мониторинга атмосферного воздуха в городской среде // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 2. (г. Киров 30 ноября 2022 г.). Киров : Вятский государственный университет. 2022. С. 211–215.

2. Мы создаем сети и сервисы мониторинга атмосферного воздуха в городах [Электронный ресурс]. – URL: <http://cityair.ru> (дата обращения: 20.10.2022).

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ ДИОКСИДОМ АЗОТА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ SENTINEL-5P

О. В. Никитин^{1,2}, Р. С. Кузьмин¹, Н. Ю. Степанова³, В. З. Латыпова³

¹ ООО «Экоаудит», г. Казань, Россия, olnova@mail.ru,

² Центр детского творчества «Танкодром», г. Казань, Россия,

³ Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

Одним из способов осуществления экологического мониторинга атмосферного воздуха является спутниковое зондирование. В рамках данной работы проведена оценка содержания диоксида азота в атмосфере на территории Кировской области в 2019–2023 гг. по данным орбитального спектрометра TROPOMI.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, диоксид азота, экологический мониторинг, дистанционное зондирование Земли, TROPOMI, Sentinel-5P.

Атмосферный воздух является важнейшей и неотъемлемой частью среды обитания. Степень загрязнения атмосферного воздуха относится к числу важнейших факторов, влияющих на здоровье населения и окружающую среду [1]. Уровень загрязнения атмосферы формируется в зависимости от химического состава, массы, технологических параметров источников эмиссии газовой смеси, выбросов автотранспорта, а также их распределения на территории региона, природных условий и режима метеорологических величин и явлений. Наиболее остро проблема загрязнения стоит перед крупными городами и промышленными центрами [2–4].

Среди загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с антропогенными выбросами, оксиды азота относятся к наиболее важным [4–6]. Диоксид азота (NO_2) и оксид азота (NO), вместе обозначаемые как оксиды азота ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$), являются важными малыми газовыми составляющими атмосферы Земли, присутствующими в следовых количествах как в тропосфере, так и в стратосфере. Они поступают в атмосферу в результате естественных и антропогенных процессов, но в первую очередь они образуются в процессе сгорания органического топлива при высоких температурах в виде оксидов азота (NO_x), которые затем трансформируются в NO_2 . Наблюдения за диоксидом азота в атмосфере имеют решающее значение из-за его роли в обеспечении качества воздуха и его воздействия на здоровье человека, экосистемы и глобальный климат [7, 8].

Появление орбитальных спектрометров нового поколения, таких как TROPOMI (*TROP*Ospheric *M*onitoring *I*nstrument), установленного на борту спутника Sentinel-5P Европейского космического агентства, предоставляет новые возможности для космического мониторинга состояния атмосферы. Обширный набор измеряемых TROPOMI параметров и атмосферных примесей (CO , CH_4 , NO_2 , HCHO , SO_2 , O_3 , аэрозоли) в комплексе с высоким пространственным разрешением ($5,5 \times 3,5$ км) и хорошим соотношением сигнал/шум позволяет получать детализированную информацию о составе атмосферы [9–11].

Цель данной работы – оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха Кировской области диоксидом азота по данным спутниковой съемки Sentinel-5P в 2019–2023 гг.

Доступ к спутниковым данным (OFFL L3 Product) и основные операции осуществлялись с помощью облачной платформы Google Earth Engine (GEE). GEE использовалась для извлечения усредненных растров NO_2 в тропосфере (*Tropospheric vertical column*) и в целом в атмосфере (*Total vertical column*) [12, 13]. Данные по концентрации представлены как количество диоксида азота в мкмоль/м^2 вертикального столба атмосферного воздуха.

Для картографической визуализации данных использовали программу QGIS 3.28. Координаты на картах представлены как геодезические (WGS-84, градусы и минуты северной широты и восточной долготы, проекция EPSG:3857). Для отображения тематических объектов использовался набор слоев векторных данных OpenStreetMap (локализация NextGIS, Россия). Статистическая обработка данных производилась при помощи программы Statistica 10. Данные представлены в виде среднего \pm стандартное отклонение.

Полученные карты усредненной за пятилетний период (2019–2023 гг.) концентрации диоксида азота в тропосфере и во всей атмосфере на территории Кировской области и Кировской агломерации (областной центр г. Киров, города Кирово-Чепецк и Слободской, а также близлежащие поселения) по данным спутникового мониторинга представлены на рисунках 1 и 2.

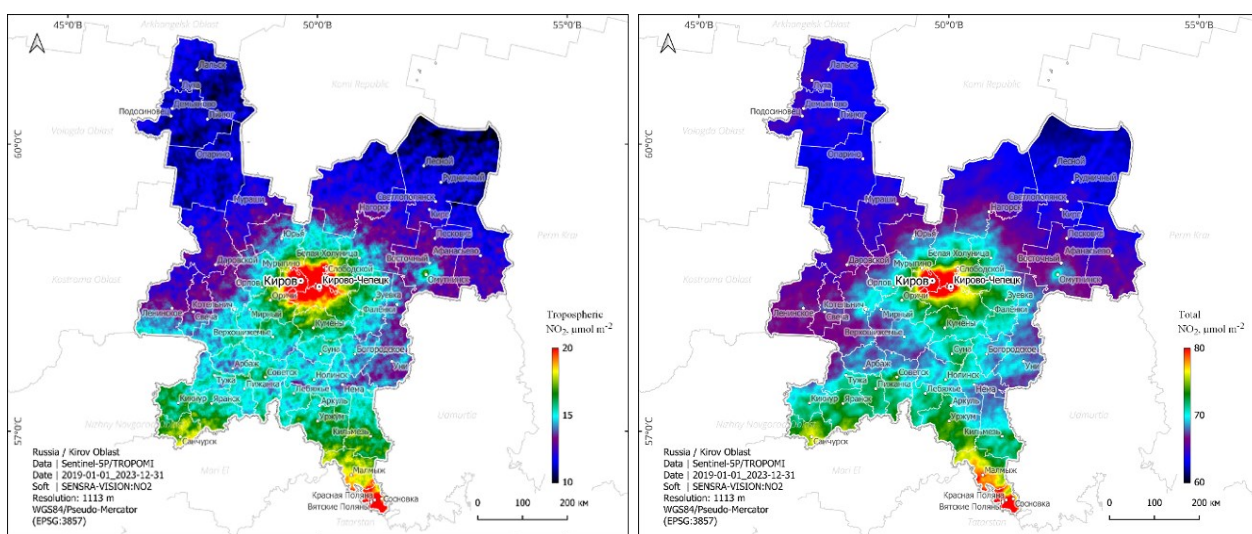


Рис. 1. Средняя концентрации диоксида азота ($\text{мкмоль}/\text{м}^2$) в тропосфере (*Tropospheric vertical column*, слева) и в целом в атмосфере (*Total vertical column*, справа) Кировской области в 2019–2023 гг. по данным спутниковой съемки Sentinel-5P/TROPOMI

Содержание диоксида азота не сильно изменялось в годовой динамике и в среднем составляло 14 ± 2 $\text{мкмоль}/\text{м}^2$ для тропосферы и 68 ± 4 $\text{мкмоль}/\text{м}^2$ для атмосферы в целом. Южная и юго-западная части Кировской области характеризуются повышенным уровнем NO_2 за счет атмосферного переноса от соседних регионов: республик Марий Эл (от г. Йошкар-Олы) и Татарстан (от Казанской агломерации, промышленного узла Нижнекамска, Набережных Челнов и Елабуги). Указанный уровень загрязнения диоксидом азота можно охарактеризовать как невысокий, для сравнения, за аналогичный период содержание NO_2 в атмосфере Приволжского федерального округа составило 18 ± 5 $\text{мкмоль}/\text{м}^2$ для тропосферы и 73 ± 9 $\text{мкмоль}/\text{м}^2$ для атмосферы в целом.

Высокое содержание характерно для территории г. Кирова (23 ± 5 и 81 ± 6 $\text{мкмоль}/\text{м}^2$ соответственно), с наибольшими значениями в зимний и наименьшими – в летне-осенний сезоны (рис. 3). В отдельные годы, из-за особенностей осуществления спутниковой съемки, установить содержание NO_2 в тропосфере в зимние месяцы не представляется возможным.

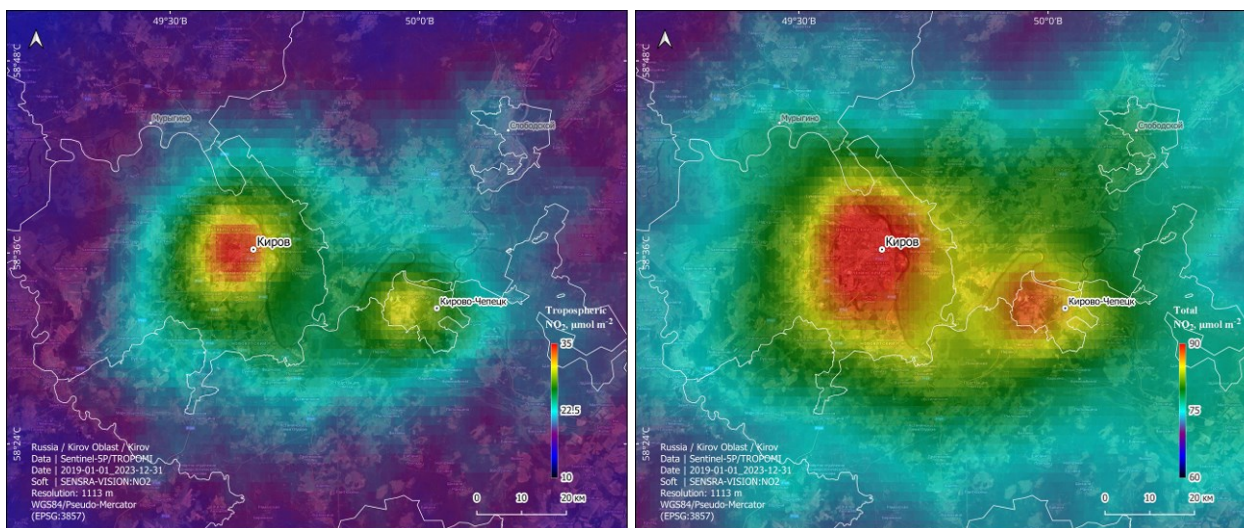


Рис. 2. Средняя концентрации диоксида азота ($\mu\text{кмоль}/\text{м}^2$) в тропосфере (*Tropospheric vertical column*, слева) и в целом в атмосфере (*Total vertical column*, справа) Кировской агломерации в 2019–2023 гг. по данным спутниковой съемки Sentinel-5P/TROPOMI

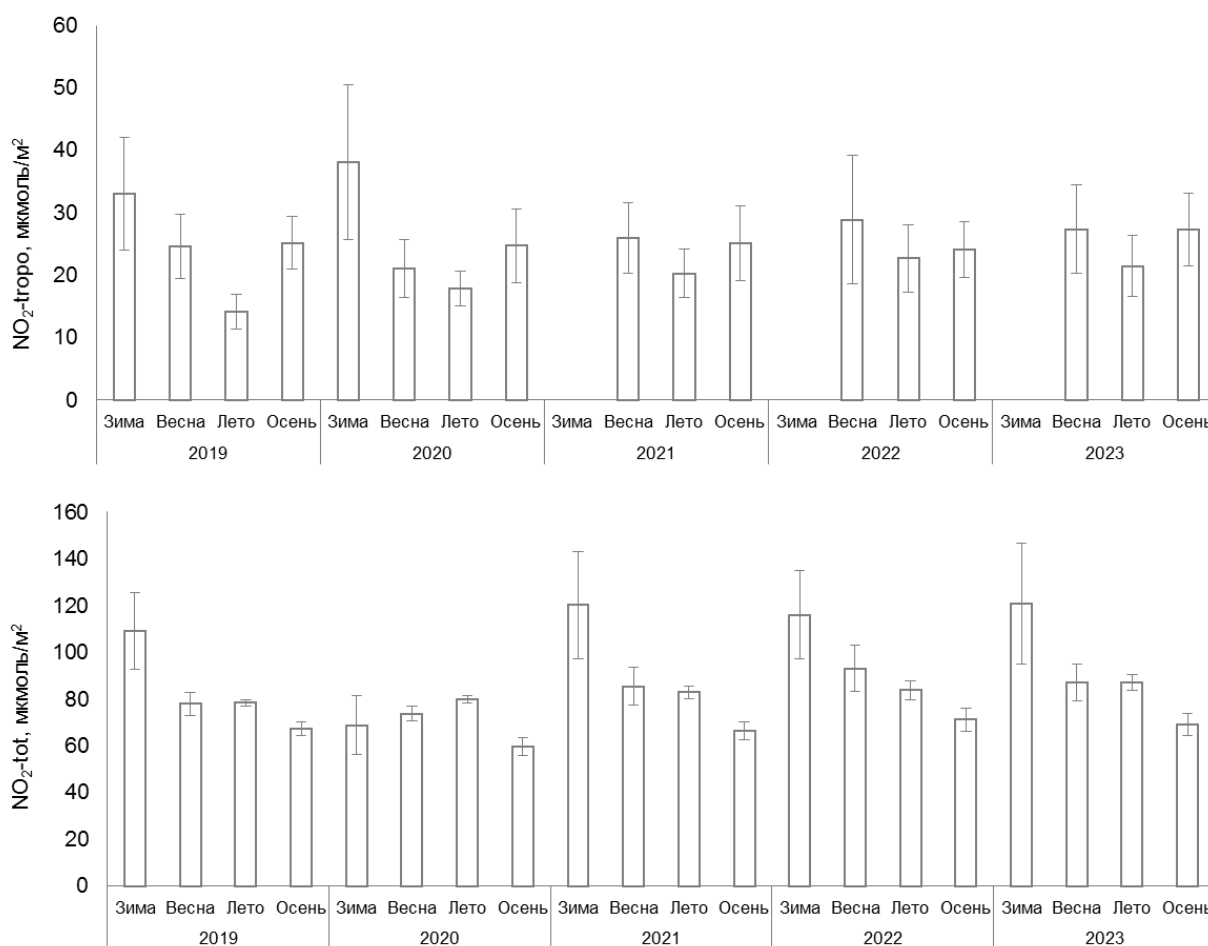


Рис. 3. Средняя концентрации диоксида азота ($\mu\text{кмоль}/\text{м}^2$) в тропосфере ($\text{NO}_2\text{-tropo}$, сверху) и в целом в атмосфере ($\text{NO}_2\text{-tot}$, снизу) Кирова (городской округ) по сезонам года в 2019–2023 гг. по данным съемки Sentinel-5P/TROPOMI

При рассмотрении концентраций диоксида азота в многолетней динамике хорошо заметна разница, связанная с режимом самоизоляции во время пандемии COVID-19. Для периода времени с 30 марта по 11 мая (максимальный локдаун) 2020 года концентрация NO₂ в тропосфере была в среднем на 27% ниже аналогичного периода других лет (2019, 2021–2023). Содержание для атмосферы в целом было ниже на 12%. Для территории всей области снижение было не столь заметным – на 8 и 5% соответственно.

Качество атмосферного воздуха населённых мест в Кировской области определяется интенсивностью загрязнения его выбросами как от стационарных источников, так и от передвижных. Одной из проблем, имеющих приоритетное значение, является загрязнение окружающей среды промышленными предприятиями теплоэнергетики и автотранспортом. В то же время, при исследовании атмосферного воздуха населённых пунктов Кировской области выявлено [14], что удельный вес неудовлетворительных результатов исследований в регионе ниже, чем в целом по Российской Федерации. Качество атмосферного воздуха стабильно и находится в диапазоне 0,3–0,1 % (проб, превышающих ПДК). Что в целом подтверждается и результатами спутникового мониторинга.

Работа частично выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004.

Библиографический список

1. Environmental and health impacts of air pollution: a review / I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos, E. Bezirtzoglou. DOI:10.3389/fpubh.2020.00014 // *Frontiers in Public Health*. 2020. Vol. 8. Article No. 14.
2. Removing the effects of meteorological factors on changes in nitrogen dioxide and ozone concentrations in China from 2013 to 2020 / C. Lin, A. K. H. Lau, J. C. H. Fung et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148575 // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 793. Article No. 148575.
3. Оценка состояния атмосферного воздуха городской среды / В. В. Рутман, М. Х. Хето, В. Н. Кулаков, Т. Я. Ашихмина // *Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 26–27 апреля 2022 г.)*. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 32–37.
4. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. 368 с.
5. Munir S., Mayfield M., Coca D. Understanding spatial variability of NO₂ in urban areas using spatial modelling and data fusion approaches. DOI: 10.3390/atmos12020179 // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12. Article No. 179.
6. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха города Казани диоксидом азота по данным спутниковой съемки Sentinel-5P / О. В. Никитин, Р. С. Кузьмин, И. И. Вазиев и др. // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 15 ноября 2023 г.)*. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 50–54.
7. Spatial variation in nitrogen dioxide concentrations and cardiopulmonary hospital admissions / M. B. A. Dijkema, R. T. van Strien, S. C. van der Zee et al. DOI: 10.1016/j.envres.2016.09.008 // *Environ. Res*. 2016. Vol. 151. P. 721–727.

8. Stratosphere–troposphere separation of nitrogen dioxide columns from the TEMPO geostationary satellite instrument / J. A. Geddes, R. V. Martin, E. J. Bucsela et al. DOI: 10.5194/amt-11-6271-2018 // Atmos. Meas. Tech. 2018. Vol. 11. P. 6271–6287.

9. TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: a GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications / J. P. Veefkind, I. Aben, K. McMullan et al. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.027 // Remote Sens. Environ. 2012. Vol. 120. P. 70–83.

10. Интегральная оценка качества атмосферного воздуха в крупнейших городах России на основе данных TROPOMI (Sentinel-5P) за 2019–2020 гг. / А. Э. Морозова, О. С. Сизов, П. О. Елагин, Н. А. Агзамов. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-23-39 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 23–39.

11. Валидация результатов измерений содержания NO₂ в тропосфере и стратосфере с помощью спутникового прибора TROPOMI по наземным измерениям на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН / В. С. Ракитин, А. Н. Груздев, Н. С. Кириллова и др. DOI: 10.15372/AOO20230105 // Оптика атмосферы и океана. 2023. Т. 36. № 1. С. 32–41.

12. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon et al. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031 // Remote Sens. Environ. 2017. Vol. 202. P. 18–27.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686359 Российская Федерация. Программа определения концентрации диоксида азота в атмосфере по спутниковым данным SENSRA-Vision: NO₂ – Sensing and Synthesis Remote Analysis data for NO₂ : № 2023685945 : заявл. 24.11.2023 : опубли. 06.12.2023 / О. В. Никитин. 1 с.

14. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2022 году: Региональный доклад / под общ. ред. Т. Э. Абашева. Киров : Министерство охраны окружающей среды Кировской области, 2023. 201 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В. В. Рутман

*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, rutman.slavik@yandex.ru*

В статье представлен опыт применения новейших информационных технологий в деятельности лаборатории биомониторинга в научной, образовательной и исследовательской деятельности. К таким технологиям относятся географические информационные системы (ГИС) с дистанционным зондированием земли (ДЗЗ), применение цифровых карт, разработка электронных учебных материалов и использование веб-технологий для оптимизации научной деятельности.

Ключевые слова: цифровизация, информационные технологии, ГИС, ДЗЗ, экология, наука, образование, цифровые учебные пособия.

Развитие современных информационно-коммуникационных технологий не только привело к появлению новой отрасли человеческой деятельности, но и внедрилось в большую часть уже существующих процессов. Современные наука и образование не избежали информатизации и цифровизации. В первую очередь, появились новые методы исследований и обработки научной информации. Затем были созданы и внедрены новые технологии хранения и обмена информацией, позволяющие обеспечить быстрый доступ к необходимым данным.

В деятельности лаборатории биомониторинга можно выделить три основных цифровых направления. Первое – это применение ГИС и ДЗЗ, создание цифровых карт и построение вегетационных индексов. Второе – это создание и применение онлайн-порталов для обеспечения издательской деятельности научных журналов и проведения конференций. И третье направление это создание электронных учебников и цифровых учебных пособий.

Географические информационные системы широко применяются во многих направлениях научно-исследовательской деятельности. Основным из них является изучение распространения опасного растения борщевика Сосновского. По данной тематике написан ряд научных статей и построено множество цифровых карт. По космическим снимкам установлен диапазон спектра отражения, характерный для скопления борщевика [1]. Также изучены разнообразные методики картографирования этого растения.

Изучение эвтрофикации водных объектов средствами ГИС и ДЗЗ проводится при помощи построения вегетационных индексов крупных водоёмов Кировской области. Устанавливаются точные границы водного объекта и распространённость водных растений на поверхности и в толще воды [2]. Аналогичным образом проводилось изучение размыва берега р. Вятки и изменению контура её берегов [3].

Также важную роль ГИС и ДЗЗ играют в поиске свалок различных отходов. В первую очередь это отходы животноводческой промышленности. Проблема загрязнения отходами навозного характера остро стоит в Кировской области, поскольку это регион с развитым животноводством. С применением технологии дистанционного зондирования проводился поиск свалок навоза и изучение их влияния на окружающую среду [4]. Лесозаготовительная и деревообрабатывающая промышленность также процветает в нашем регионе. При данном виде деятельности также образуются специфические отходы, такие как опилки, горбыль, стружка и щепа. Они накапливаются в огромных количествах и занимают крупные площади. Было установлено местоположение свалок и подсчитан примерный объём накопленных отходов [5].

ГИС может применяться и без ДЗЗ для картографирования различных экологических проблем. Для Вятского края характерно распространения вируса бешенства через носителей: диких и домашних животных. Для оценки перспектив распространения опасного вируса были построены карты, где отмечены случаи встречи заражённых животных и картограммы распространения по районам за разные периоды. Были выявлены основные закономерности

сти [6]. Клещевые инфекции также представляют собой проблему в Кировской области, и для выявления очагов и путей миграции возбудителей с целью предупреждения и борьбы с опасной заразой были применены ГИС-технологии. Созданы картограммы случаев заражения инфекциями по районам области и по г. Кирову. Выявлены особо опасные участки [7]. В г. Кирове уже третий год проводится мониторинг атмосферного воздуха. Проводятся замеры воздуха газоанализатором, анализ снега и систематизация данных по неприятным запахам. Эти исследования можно было бы считать не полными, если бы не была проведена привязка данных к географическим координатам и не построены картограммы интерполяции состояния атмосферы в г. Кирове [8].

Географические информационные системы представляют основу цифровой деятельности лаборатории биомониторинга, но кроме них также используются и другие информационные технологии. Это разработка электронных учебников и учебных пособий. Первыми из них были демонстрационные видеоматериалы, посвящённые устройствам очистки воды и воздуха. Они были созданы с применением трёхмерной графики [9]. Также был разработан цифровой аналог определителя растений, который с развитием нейросетевых технологий утратил актуальность [10]. Новый подход к разработке электронных учебников был успешно применён в создании учебника по химии отравляющих веществ для студентов. Учебник содержит в себе текстовые, иллюстративные материалы, встроенный тест для проверки знаний, список литературы. Он был создан с использованием технологии для разработки компьютерных игр, что хорошо знакомо студентам и активно применяется на занятиях [11]. Для практических занятий со студентами была начата разработка виртуальной химической лаборатории. Преимущества этого продукта состоит в том, что для запуска не требуется установка дополнительных программ на компьютер. Онлайн-лаборатория работает в обычном веб-браузере и представляет собой набор скриптов на сервере, а для пользователя выглядит как экран реальной лаборатории с интерактивным взаимодействием с реактивами и оборудованием. Опыт лаборатории был успешно применён на химической олимпиаде по фармацевтической химии для студентов [12].

Внедрение цифровых технологий стало важным не только для научных исследований, но и для научной работы в целом. Лабораторией мониторинга был создан веб-портал для научного журнала «Теоретическая и прикладная экология». В 2015 г. для развития журнала, продвижения его на международный уровень и размещения публикаций во всемирных научных базах возникла необходимость в создании онлайн-версии журнала в виде веб-сайта. В декабре 2015 г. началась разработка первого официального веб-сайта журнала. 1 июня 2016 г. для сайта журнала был выделен хостинг на сервере и домен envjournal.ru (от англ. environment – окружающая среда и journal – журнал). Сайт был запущен и сразу стал обнаруживаться поисковиками. Первый сайт представлял собой набор html-файлов. Здесь содержалась основная информация о журнале, редакционной коллегии, порядке публикации статей и правилах их оформления, контактная информация. Также размещались выпуски

журнала с возможностью загрузки статей. Первый вариант сайта имел ряд существенных недостатков: отсутствовал интерактив; авторы отсылали рукописи по электронной или бумажной почте. В 2018 г. было принято решение полностью переработать сайт с применением современных технологий. В основу легла разработка собственной онлайн-платформы. Была создана система «Электронная редакция», позволяющая авторам через личный кабинет отправлять статьи в журнал, вести диалог с рецензентом и редколлегией, отслеживать движение статьи вплоть до её издания. Автор также может прикрепить к статье дополнительный иллюстративный материал, отображаемый только в электронной версии. Это значительно облегчило работу как авторам, так и редколлегии. Отличительной особенностью веб-портала стала интерактивная карта публикаций. Автор может прикрепить геометку своей статьи, если его исследование связано с географическим объектом. Любой посетитель сайта может воспользоваться картой и ознакомиться с публикациями, касающимися территорий, поскольку каждая метка на карте содержит ссылку, ведущую на статью в журнале.

Цифровое развитие научной, учебной и исследовательской деятельности играет важную роль в современном обществе. Новые технологии также активно внедряются для решения важных научно-исследовательских задач и имеют все перспективы для дальнейшего развития.

Библиографический список

1. Рутман В. В., Кантор Г. Я. Изучение распространения борщевика Сосновского по космическим снимкам высокого разрешения // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров, 1 декабря 2022 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 267–270.

2. Кутявина Т. И., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я. Оценка динамики зарастания высшими водными растениями акватории эвтрофного водохранилища с использованием спутниковых изображений. DOI 10.21046/2070-7401-2024-21-1-299-307 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 1. С. 299–307.

3. Рогожникова Е. В., Рутман В. В. Мониторинг интенсивности размыва берега р. Вятки на территории заповедника «Нургуш» и перспективы применения методов дистанционного зондирования // Проблемы экологии Волжского бассейна : сб. трудов 6-й Всерос. науч. конф. (г. Нижний Новгород, 24–25 ноября 2023 г.). Нижний Новгород : Волжский государственный университет водного транспорта, 2021. Вып. 4. С. 29.

4. Рутман В. В. Применение методов дистанционного зондирования для поиска свалок навозных отходов // Устойчивое развитие сельского хозяйства и агросистем будущего в Арктике : сб. науч. статей по материалам Всерос. студенческой науч.-практ. конф. в рамках «Северного форума – 2022». (г. Якутск, 30 ноября 2022 г.). Новокузнецк : Изд-во «Знание-М», 2022. С. 118–122.

5. Титова В. А., Кантор Г. Я., Рутман В. В. Применение 3D-моделирования в проектной и образовательной деятельности Вятского государственного гуманитарного университета // Механизмы устойчивости и адаптации биологических систем к природным и техногенным факторам : сб. материалов Всерос. науч. конф. (г. Киров, 22–25 апреля 2015 г.). Киров : Изд-во «Веси», 2015. С. 439–442.

6. Рутман В. В., Ашихмина Т. Я., Ожегина И. Л. Использование гис-технологий в оценке распространения заболевания бешенством по территории Кировской области //

Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров, 4–6 декабря 2017 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2017. С. 51–58.

7. Рутман В. В., Ашихмина Т. Я., Тимонов А. С. Применение геоинформационных систем в оценке санитарно-эпидемиологической обстановки на территории Кировской области на примере распространения клещевых инфекций // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2017. С. 45–51.

8. Рутман В. В., Хето М. Х., Ашихмина Т. Я. Применение гис-технологий для оценки состояния атмосферного воздуха городской среды // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров, 20 ноября 2022 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 206–211.

9. Рутман В. В., Кантор Г. Я. Демонстрационные анимированные трехмерные модели систем очистки промышленных выбросов // Бизнес. Наука. Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф.-выставки экологических проектов с междунар. участием. (г. Киров, 18–20 апреля 2013 г.). Киров : Изд-во «Веси», 2013. С. 414–417.

10. Рутман В. В., Кантор Г. Я. Компьютерный определитель растений с классификатором экологических характеристик // Бизнес. Наука. Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф.-выставки экологических проектов с междунар. участием. (г. Киров, 18–20 апреля 2013 г.). Киров : Изд-во «Веси», 2013. С. 44–47.

11. Рутман В. В., Ашихмина Т. Я. Электронный учебник для студентов «Химия отравляющих веществ» // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров, 13–14 апреля 2017 г.). Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2017. С. 244–247.

12. Рутман В. В., Фокина А. И. Разработка виртуальной лаборатории для проведения дистанционных практических занятий // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров, 27–28 апреля 2021 г.). Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 225–229.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-ДЕПОНИРОВАННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ГОРОДА ТЮМЕНИ

***В. С. Глухов^{1,2}, Т. М. Дзюнов¹, М. А. Зотова¹, И. М. Игнатьев¹,
А. П. Алымов¹, А. А. Селезнев^{1,2}, Г. П. Малиновский², И. В. Ярмошенко²***

*¹ Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия, glukhov.v.s.work@gmail.com,*

*² Институт промышленной экологии УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия, ie@eko.uran.ru*

Исследовано загрязнение Ni, Cu, Zn и Pb депонированных отложений селитебных зон г. Тюмени. Разработана геоэкологическая карта и выявлены зоны превышения ориентировочно допустимых концентраций элементов в

почвах. Высокие концентрации тяжелых металлов обнаружены вблизи ТЭЦ, промышленных объектов, автодорог и железнодорожных терминалов.

Ключевые слова: загрязнение, тяжёлые металлы, никель, медь, цинк, свинец, QGIS.

Тяжелые металлы (ТМ) являются важным компонентом загрязнения урбанизированной среды. Их поступление в окружающую среду обусловлено антропогенным привносом, связанным с работой промышленных комплексов, гидроэлектростанций, теплоэлектростанций (ТЭЦ), автотранспорта, железнодорожных и морских терминалов перегрузки сырья, горно-металлургических комплексов, горно-обогатительных комбинатов [1]. Для живых организмов тяжелые металлы представляют опасность из-за их биологической активности и токсичности [2]. Климатические условия в связке с разнообразными формами рельефа способствуют миграции и накоплению загрязнителя внутри урбанизированных территорий. Городские современные поверхностно-депонированные отложения (СПДО) являются геохимическим барьером для тяжелых металлов и потому служат важным индикатором экологического состояния окружающей среды [1, 2–4].

Цель исследования заключалась в разработке геоэкологической карты распределения концентраций Ni, Cu, Zn, Pb в современных поверхностно-депонированных отложениях г. Тюмени и выявлении на ней селитебных зон с превышением ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) Ni, Cu, Zn, Pb для почв населенных мест и сельскохозяйственных угодий [5]. Были поставлены следующие задачи: выявить количество проб СПДО, отобранных на территории г. Тюмени, в которых концентрации Ni, Cu, Pb, Zn превышают ОДК для почв населенных мест и сельскохозяйственных угодий; вынести на карту города метки отбора проб СПДО; построить геоэкологическую карту распределения Ni, Cu, Pb, Zn в г. Тюмени; вынести метки промышленных зон на геоэкологическую карту распределения ТМ; определить источники загрязнения СПДО в г. Тюмени Ni, Cu, Pb, Zn.

Район исследования – г. Тюмень. Город Тюмень находится вблизи экономически развитых районов европейской части страны и Урала, что обеспечивает благоприятное экономико-географическое положение и обеспеченность региона сырьевой базой. Регион богат запасами минеральной и пресной воды, горючего и строительного сырья. Экономическая привлекательность и перспективность развития региона ведет к повышению инвестиционной привлекательности г. Тюмени, что в свою очередь порождает бурный рост инфраструктуры города, сопровождающийся увеличением антропогенной нагрузки и ростом количества экологических проблем [6, 7].

Объектом исследования являются современные поверхностно-депонированные отложения, 43 пробы которых отобраны по нерегулярной сетке в жилых районах г. Тюмени в летний сезон 2016 г. (схема 40 проб).

Пробоподготовку проводили в ИПЭ УрО РАН, элементный анализ – методом ISP-MS в ЦКП «Геоаналитик» ИГГУрО РАН [8].

Геоэкологическая карта распределения Ni, Cu, Pb, Zn для 40 проб СПДО, отобранных в г. Тюмени, была построена с помощью ПО ГИС «QGIS 3.32» [9]. Для построения векторного точечного слоя с расположением точек пробоотбора в созданный файл проекта ПО ГИС «QGIS 3.32» был импортирован Excel-файл с координатами точек и концентрациями Ni, Cu, Pb, Zn в этих точках. Далее методом пространственной привязки раstra был создан слой с топографической картой района исследований. Полученные слои для создания геоэкологической карты распределения Ni, Cu, Pb, Zn были экспортированы в векторном формате для дальнейшей обработки и вынесения условных обозначений и легенды в векторном редакторе ПО ГИС «QGIS 3.32».

Элементный состав 43 проб СПДО, отобранных по нерегулярной сетке в жилых районах г. Тюмени в летний сезон 2016 года (схема 40 проб), был определен методом ISP-MS в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ имени академика А. Н. Заварицкого УрО РАН [8]. Результаты элементного анализа представлены в таблице.

Таблица

**Характеристики элементного состава 43 проб современных
поверхностно-депонированных отложений г. Тюмени,
отобранных в жилых районах в летний сезон 2016 г.**

| Элемент | Концентрация (мг/кг) | | | | | Количество проб с превышением ОДК |
|---------|----------------------|-----|-----|---------|-----|--------------------------------------|
| | Min | Max | СА | Медиана | ОДК | |
| Ni | 27 | 572 | 106 | 82 | 20 | 43 |
| Cu | 9 | 132 | 30 | 24 | 33 | 12 |
| Zn | 28 | 901 | 122 | 94 | 55 | 30 |
| Pb | 9 | 235 | 46 | 24 | 32 | 17 |

Примечание: Min – минимальное значение, Max – максимальное значение, СА – среднее арифметическое значение, ОДК – ориентировочно допустимая концентрация для почв населенных мест и сельскохозяйственных угодий.

Геоэкологическая карта распределения концентраций Ni, Cu, Pb, Zn для 43 проб СПДО, отобранных в г. Тюмени была построена с помощью свободной кроссплатформенной ПО ГИС «QGIS 3.32» и представлена на рисунке.

Наблюдается повсеместное антропогенное загрязнение территории города никелем, цинком, свинцом и медью (рис.). Концентрации никеля в пробах превышают значения ОДК для почв населенных мест и сельскохозяйственных угодий более чем в 1,5 раза, а местами и более чем в 10 раз (табл.). Превышение ОДК для никеля более чем в 3 раза наблюдается вблизи таких объектов, как ТЭЦ [10], железнодорожные терминалы, промышленные комплексы и автомагистрали (рис). Для цинка и меди превышение показателей ОДК наблюдается вблизи промышленных комплексов, ТЭЦ и железнодорожных терминалов. Загрязнение территории свинцом наблюдается вблизи автодорог и железнодорожных терминалов [1, 6].



**Рис. Геоэкологическая карта распределения тяжелых металлов
в современных поверхностно-депонированных отложениях г. Тюмень**

Построена геоэкологическая карта распределения концентраций Ni, Cu, Pb, Zn 43 проб современных поверхностно-депонированных отложений г. Тюмени, отобранных в летний сезон 2016 г. Концентрации Ni, Zn и Pb в пробах отложений селитебных зон г. Тюмени превышают значения ОДК для почв населенных мест и сельскохозяйственных угодий, что представляет серьезную экологическую угрозу для населения города [2]. Локализация сильнозагрязненных проб предположительно обусловлена соседством с такими промышленными объектами урбанизированной среды, как промышленные комплексы, ТЭЦ, железнодорожные терминалы перегрузки сырья и автодороги [1, 6, 10].

Библиографический список

1. A Landscape study of sediment formation and transport in the urban environment / I. V. Yarmoshenko, G. Malinovsky, E. M. Baglaeva, A. A. Seleznev. DOI: 10.3390/atmos11121320 // Atmosphere. 2020. Vol. 11. No. 12. Article No. 1320.
2. Махниченко А. С., Пашенко А. Е. Влияние тяжелых металлов на организм человека // ScienceTime. 2016. Т. 2. № 26. С. 395–400.
3. Метод шлихового анализа с расчетом окатанности песчаных кварцевых частиц современных поверхностно-депонированных отложений г. Тюмень / В. С. Глухов, Е. А. Панкрушина, А. Д. Рянская и др. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.47.31.011 // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа : материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (г. Владикавказ, 4–8 октября 2023 г.). М. : Институт истории естествознания и техники имени С. И. Вавилова РАН, 2023. С. 87–94.
4. Окатанность кварца в поверхностно депонированных отложениях урбанизированной среды (на примере г. Ростов-на-Дону) / В. С. Глухов, Е. А. Панкрушина, А. Д. Рянская и др. // Куражсковские чтения : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Астрахань, 18–21 мая 2023 г.). Астрахань : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева», 2023. С. 284–288.
5. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : издание офици-

альное : утв. Постановлением Роспотребнадзора № 2 от 28.01.2021 : введен 01.03.2021. 975 с.

6. Фатихова И. В., Распертов М. О., Лоскутова О. Н. Экологические проблемы Тюменской области // Экономика и социум. 2014. № 4–5 (13). С. 15–24.

7. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2021 году. Тюмень, 2022. 198 с.

8. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities. DOI: 10.1038/s41598-020-58434-4 // Sci. Rep. 2020. Vol. 10. No. 1. Article No. 1668.

9. QGIS a constatly growing free and open-source geospatial software contributing to scientific development / M. Rosas-Chavoya, J. L. Gallardo-Salazar, P. M. López Serrano et al. DOI: 10.18172/cig.5143 // Cuadernos de Investigación Geográfica. 2022. Vol. 48. No. 1. P. 197–213.

10. Слуковский З. И., Гузева А. В. Поиск техногенных частиц в снеге города Мурманска (первые данные). DOI 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.032 // Труды Кольского научного центра РАН. 2019. № 6 (1). С. 222–226.

ВНЕДРЕНИЕ МОДЕЛИ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНТРОПИИ (MAXENT) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ КОВАРИАТ, СВЯЗАННЫХ С АЗОТОМ В ПОЧВЕ В КОЛУМБИИ

В. Д. Сегура Мартинес

*Российский государственный гидрометеорологический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия, wdseguram@gmail.com*

Модель максимальной энтропии (MaxEnt) используется в статистике и машинном обучении для вывода распределения вероятностей на основе неполной или недостаточной информации, используя принцип максимальной энтропии. Этот принцип гласит, что при наличии набора ограничений или известной информации распределение вероятностей, которое максимизирует энтропию (или неопределенность), является наиболее несмещенным. Модель максимальной энтропии была реализована для определения физических ковариат, которые больше всего связаны с азотом и которые позволяют определить в других областях большую вероятность наличия высокого содержания азота. В качестве территории исследования была принята континентальная территория Колумбии.

Ключевые слова: азот, физические ковариаты, MaxEnt.

В контексте моделирования вероятностных распределений модель максимальной энтропии используется для поиска распределения, которое согласуется с доступной информацией, но не вносит ненужной систематической ошибки [1]. Это достигается за счёт максимизации энтропии Шеннона, которая измеряет неопределенность в распределении вероятностей.

Модель максимальной энтропии позволяет включать в модель дополнительные переменные (ковариаты) для улучшения её прогнозирующей и ре-

презентативной способности. Ковариаты – это дополнительные переменные, которые могут влиять на интересующее распределение вероятностей [1]. Введение ковариат в модель позволяет распределению вероятностей лучше соответствовать наблюдаемым данным и известным ограничениям.

Введение ковариат может быть особенно полезно при работе с неполными наборами данных или когда доступна дополнительная информация.

Для моделирования была использована информация из 5859 точек отбора проб наличия азота (рис. 1) на всей территории Колумбии, полученная различными организациями, занимающимися выращиванием какао в Колумбии.

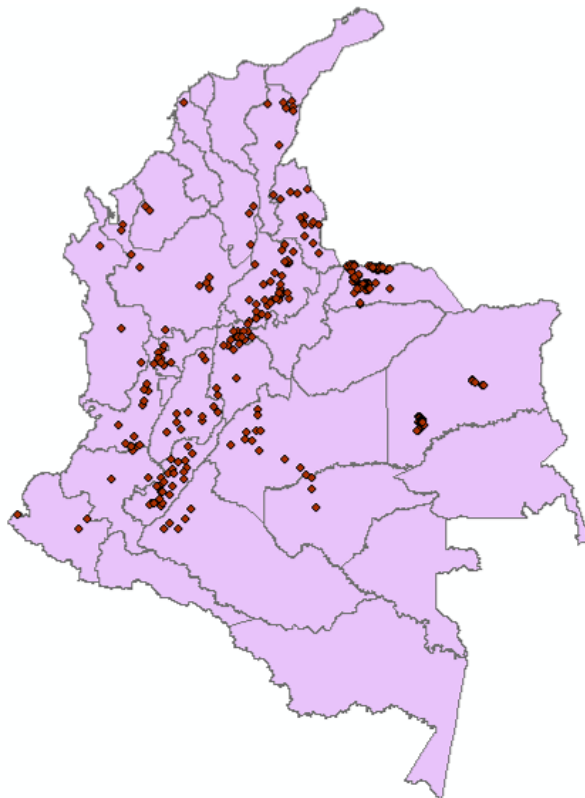


Рис. 1. Распределение точек отбора проб азота

В результате библиографического обзора были выбраны 5 переменных, тесно связанных с накоплением азота в почве, после чего был проведен обзор географических слоев, согласно данным Географического института Агустина Кодацци Колумбии (IGAC). IGAC – это организация, отвечающая за создание официальной карты и базовой картографии Колумбии, а также отвечающая за проведение инвентаризации характеристик почв в Колумбии [2]. Карты распределения 5 возможных ковариат были отобраны следующим образом.

1. Почвенная картографическая единица (UCS): согласно IGAC соответствует группировке почв, относится к педологическому содержанию и таксономическим компонентам почвы в Колумбии. Всего насчитывается 1402 типов UCS.

2. Кислотность: относится к уровню кислотности или щёлочности почв и выражается через pH почвы. IGAC классифицирует 28 типов кислотности.

3. Климат: классификация климата в Колумбии обычно основана на системе классификации климата Кеппена. IGAC классифицировал 37 типов климата.

4. Уклон: относится к топографии и наклону земли. В Колумбии IGAC установил 19 типов уклона.

5. Текстура: относится к относительной пропорции минеральных частиц разного размера в почве. IGAC в своей картографии определил 25 типов текстуры почв в Колумбии.

Как упоминалось выше, цель MaxEnt – оценить распределение вероятностей через распределение вероятностей максимальной энтропии (близкое к равномерному), ограниченное набором правил для представления неполной информации о целевом распределении [3].

ArcGIS 10.1 и ArcMAP 10.1 использовались для извлечения слоев с нужной информацией и преобразования ее в формат ASCII, который является растровым форматом, используемым моделью MaxEnt для расчетов. Важно подчеркнуть, что размер пикселя, а также разрешение, должно быть одинаковым для всех слоев, чтобы модель могла создавать взаимосвязи. Наконец, модель была запущена в приложении MaxEnt 3.4.4. В варианте накопительной функции это позволяет им накапливаться по мере выполнения итераций и генерировать процент вероятности присутствия азота от 0 до 100%.

На следующем изображении (рис. 2) показано графическое представление результата моделирования с помощью MaxEnt для азота. Красным цветом показаны территории с наибольшей вероятностью присутствия азота (100%) в соответствии с пятью вышеуказанными ковариатами. Белым цветом показано расположение точек, используемых для моделирования. Точки с наименьшей вероятностью (0%) присутствия азота показаны синим цветом.

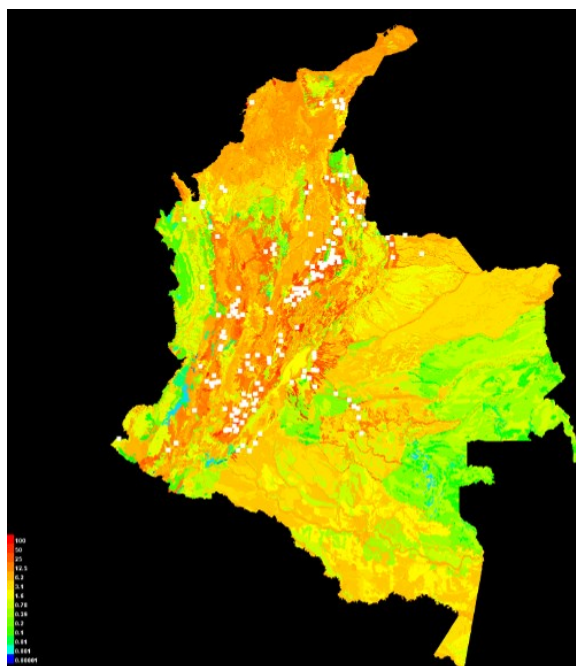


Рис. 2. Распределение азота с использованием модели MaxEnt на основе 5 переменных

Согласно распределению, большая вероятность наличия азота в почвах Колумбийского Карибского побережья (север страны). Для этого региона характерны равнинные участки, пригодные для механизации сельского хозяйства, а почвы характеризуются высоким содержанием солей. Также важно выделить красные зоны, где, согласно модели, накопление азота максимальное: предгорья и долины рядом с горным хребтом Анд, где сток и склоны генерируют большое накопление наносов.

Кривые отклика, созданные моделью MaxEnt для азота. Следующие графики (рис. 3) показывают, как меняется вероятность присутствия азота по мере изменения каждой переменной окружающей среды (при этом все остальные переменные остаются на уровне их выборочного среднего значения) и как каждая из них влияет на прогноз MaxEnt.

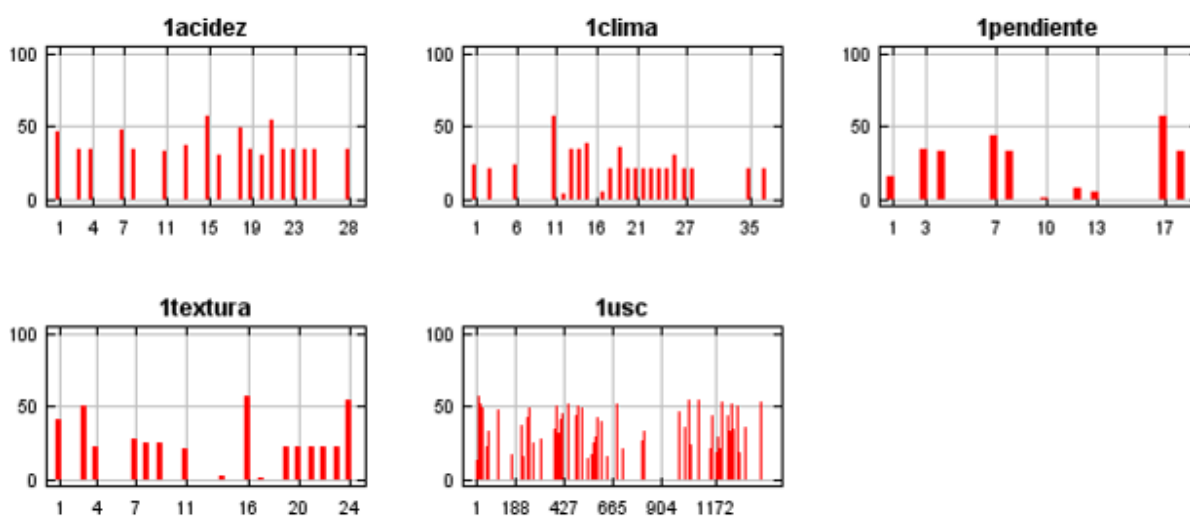


Рис. 3. Кривые предельного отклика, созданные моделью MaxEnt для азота: 1acidez – кислотность, 1clima – климат, 1pendiente – уклон, 1textura – текстура, 1usc – почвенная картографическая единица

В пределах переменной «кислотность» наибольший вклад в модель вносят почвы с нейтральной кислотностью, в случае переменной «климат» – засушливый климат, а для переменной «уклон» – значения от 0 до 7 градусов, то есть почвы с большими возможностями механизации, и, наконец, в пределах переменной «текстура» – суглинистая почва.

В таблице представлены оценки относительного вклада переменных среды в модель MaxEnt. Видно, что в случае азота кислотность почвы является переменной, которая больше всего (60,4%) способствует обнаружению азота; за ней следует картографическая единица почвы (28,2%). Это касается педологического содержания и таксономических компонентов почвы в Колумбии. Однако если учитывать важность перестановки, именно эта последняя переменная имеет наибольшее значение (71,6%).

Вклад и важность каждой переменной в модели MaxEnt для азота (N)

| Ковариаты | Процент вклада | Важность |
|-------------|----------------|----------|
| Кислотность | 60,4 | 19,2 |
| USC | 28,2 | 71,6 |
| Климат | 8,2 | 6,1 |
| Текстура | 2,3 | 0,9 |
| Уклон | 0,9 | 2,2 |

Выводы. Согласно этому исследованию, по ковариатному поиску, посредством реализации модели максимальной энтропии (MaxEnt) для расчета азота (N), переменные, которые имеют больший вес и могут указывать на большую вероятность присутствия азота в почвах Колумбии – это кислотность и картографическая единица почвы (USC).

Можно включить больше переменных, которые позволят усилить модель, например: почвенный покров, тип культуры, осадки, температура, влажность, слой индекса растительности и другие.

Библиографический список

1. Estimation of Soil Depth Using Bayesian Maximum Entropy Method / K. W. Liao, J. J. Guo, J. C. Fan et al. DOI: 10.3390/e21010069 // Entropy. 2019. Vol. 21. No. 1. P. 69–85.
2. Datos abiertos IGAC [website]. – URL: <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-igac> (accessed: 20.12.2023).
3. Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent / G. Cruz-Cárdenas, J. L. Villaseñor, L. López-Mata et al. DOI: 10.5154/r.rchscfa-2013.09.034 // Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente. 2014. Vol. 20. No. 2. P. 188–201.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ
В МОНИТОРИНГЕ ВОДОЕМОВ (НА ПРИМЕРЕ ВОДОХРАНИЛИЩ
КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Т. И. Кутявина¹, В. В. Рутман¹, Т. Я. Ашихмина^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, kutyavinati@gmail.com,*

² *Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия, ecolab2@gmail.com*

В статье представлен анализ расчёта вегетационных индексов (NDVI, NDAI, TBDO и NDTI) для акваторий четырёх крупнейших водохранилищ Кировской области за период наблюдений 2022–2023 гг. Данные индексы отмечены как наиболее информативные для оценки степени развития фитопланктона в водоемах и зарастания их высшей водной растительностью. Отмечено, что Омутнинское и Чернохолуницкое водохранилища наиболее близки по спектральным характеристикам вод, чем другие исследуемые водоемы.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, вегетационные индексы, мониторинг водоемов, фитопланктон.

В настоящее время наряду с традиционными наземными методами мониторинга водных объектов довольно широко применяются методы обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Наиболее часто при изучении водных объектов используют расчёт различных вегетационных индексов по данным ДЗЗ. С помощью расчета вегетационных индексов можно определять границы и площади водных объектов [1], уровень воды [2], степень зарастания водоемов [3], распространение фитопланктона [4], а также наличие и распространение различных загрязняющих веществ по акватории водоемов [5, 6]. Следует отметить, что использование данных ДЗЗ для мониторинговых исследований водоемов не может в полной мере заменить традиционные наземные методы мониторинга, но позволяет существенно дополнить информацию о состоянии водного объекта и охватить большее количество объектов исследования за небольшой временной период.

Цель нашей работы – рассчитать и проанализировать значения вегетационных индексов NDVI, NDAI, TBDO и NDTI для акваторий четырёх крупнейших водохранилищ Кировской области за период наблюдений 2022–2023 гг.

Для дешифрирования данных ДЗЗ использовали снимки со спутника Sentinel-2A, находящиеся в открытом доступе на сайте <https://eos.com>. Для анализа выбирали малооблачные снимки, сделанные в период с мая по сентябрь в 2022–2023 гг., когда большинство водных растений находились в стадии вегетации. Всего было проанализировано 19 разновременных снимков. В ходе работы проводили расчет вегетационных индексов: нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI), нормализованного относительного альгоиндекса (NDAI), индекса концентрации хлорофилла *a*, который в данной работе обозначается по именам авторов, впервые его предложивших (TBDO – triband model of Dall’Olmo et al.), и нормализованного разностного индекса мутности (NDTI). Формулы для расчета вегетационных индексов представлены в работах [7–10]. Для оценки и верификации данных, полученных при расчете вегетационных индексов, использовали данные подспутниковых наблюдений, проведенных на водохранилищах Кировской области в 2022 и 2023 гг.

Согласно результатам анализа данных ДЗЗ, для величин NDVI, NDAI и TBDO в начале и в конце вегетационного сезона, когда степень развития фитопланктона и высших водных растений (ВВР) низкая, характерны минимальные значения величин индексов. В середине вегетационного сезона (июль, август), когда численность и биомасса фитопланктона, а также степень зарастания водоема достигают максимальных значений, величина NDVI, NDAI и TBDO также возрастает (примерно на 30–50% по сравнению с началом вегетационного сезона). Таким образом, по изменению величины значений NDVI, NDAI и TBDO в течение вегетационного сезона можно отслежи-

вать временную динамику развития фитопланктона и ВВР в водоеме. Кроме того, цифровые карты, построенные по данным расчета NDVI, NDAI и TBDO, могут быть использованы в мониторинге водоемов для обнаружения участков массового развития фитопланктона и ВВР и для изучения пространственного размещения фитопланктона по акватории изучаемого водоема. Нормализованный разностный индекс мутности чувствителен как к органическим, так и к неорганическим примесям в воде. Относительно высокие значения NDTI мы отмечаем как на участках массового развития фитопланктона в воде, так и на участках с высокой мутностью воды, обусловленной поступлением твердых частиц с участков водосбора, подверженных развитию процессов почвенной эрозии. В результате процессов почвенной эрозии в водоемы могут поступать как биогенные элементы, способствующие более интенсивному эвтрофированию водоема, так и минеральные частицы, в долговременном плане способствующие заилению водоемов и снижению качества воды [11]. По нашему мнению, расчет NDTI можно использовать в мониторинге водоемов для обнаружения участков массового развития фитопланктона, а также для выявления локальных участков загрязнения вод веществами, поступающими с водосбора.

Одним из показателей, по которому можно оценивать межгодовое изменение экологического и трофического состояния водоема, на наш взгляд, является средняя величина вегетационного индекса на изучаемом водоеме за вегетационный сезон. Так, нами были проанализированы средние величины NDVI, NDAI, TBDO и NDTI на акватории четырех крупнейших водохранилищ Кировской области за вегетационный сезон 2022 и 2023 гг. (табл. 1, 2).

Таблица 1

Средние величины вегетационных индексов на акватории водохранилищ Кировской области за вегетационный сезон 2022 года

| Водохранилище | NDVI | NDAI | TBDO | NDTI |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Белохолуницкое | -0,036 | 0,681 | 0,094 | 0,344 |
| Омутнинское | -0,068 | 0,619 | 0,007 | 0,352 |
| Большое Кирсинское | 0,023 | 0,646 | 0,040 | 0,391 |
| Чернохолуницкое | -0,075 | 0,621 | 0,014 | 0,358 |

Примечание: полужирным шрифтом выделены максимальные значения индексов.

Таблица 2

Средние величины вегетационных индексов на акватории водохранилищ Кировской области за вегетационный сезон 2023 года

| Водохранилище | NDVI | NDAI | TBDO | NDTI |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Белохолуницкое | 0,050 | 0,780 | 0,140 | 0,320 |
| Омутнинское | 0,030 | 0,718 | 0,063 | 0,338 |
| Большое Кирсинское | 0,063 | 0,748 | 0,100 | 0,345 |
| Чернохолуницкое | 0,038 | 0,743 | 0,098 | 0,330 |

Примечание: полужирным шрифтом выделены максимальные значения индексов.

Согласно полученным данным, величина индексов NDAI и NDTI на акваториях Белохолуницкого, Омутнинского, Большого Кирсинского и Чернохолуницкого водохранилищ в 2023 г. почти не изменилась по сравнению с 2022 г. Для NDVI и TBDO было отмечено увеличение значений в 2023 г. по сравнению с 2022 г. При этом соотношение значений индексов между всеми изучаемыми водохранилищами в оба года наблюдений практически не изменялось: самые высокие значения индексов NDVI и NDTI в оба года наблюдений были характерны для акватории Большого Кирсинского водохранилища, значения индексов NDAI и TBDO – для акватории Белохолуницкого водохранилища. Значения всех рассчитанных вегетационных индексов были довольно близки для акваторий двух изучаемых водохранилищ: Омутнинского и Чернохолуницкого (табл. 1, 2), что объясняется близким расположением и схожестью природных условий, в которых находятся эти два водоема. Проанализировав данные таблиц 1 и 2, можно сделать вывод о том, что спектральные характеристики акваторий четырех изучаемых водохранилищ Кировской области в 2023 г. существенно не изменились по сравнению с 2022 г. Степень развития фитопланктона и ВВР, о которой косвенно можно судить по значениям NDVI, NDAI, TBDO и NDTI, также осталась на прежнем уровне по сравнению с 2022 г.

В целом, на примере Белохолуницкого, Омутнинского, Большого Кирсинского и Чернохолуницкого водохранилищ Кировской области показано, что расчет вегетационных индексов NDVI, NDAI, TBDO и NDTI и построение на их основе цифровых карт позволяют оперативно получать информацию о временной и пространственной динамике развития фитопланктона и высших водных растений по акватории изучаемых водоемов. Расчет NDTI может быть использован в мониторинговых исследованиях для выявления локальных участков загрязнения водоемов. Сравнение средних за вегетационный сезон величин NDVI, NDAI, TBDO и NDTI в разные годы наблюдений можно использовать в мониторинге водных объектов для оценки изменения экологического и трофического состояния водоема.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-77-01034).

Библиографический список

1. Корнеенкова Н. Ю. Многолетняя динамика площадей озер Тоболо-Ишимского междуречья на основе спутниковых данных. DOI: 10.17513/use.38177 // Успехи современного естествознания. 2023. № 12. С. 96–100.
2. Спутниковый мониторинг речных отмелей трансграничной реки Или (Центральная Азия) в задаче оценки уровня воды / А. Г. Терехов, Н. Н. Абаев, Г. Н. Сагатдинова и др. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-4-227-238 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 4. С. 227–238.
3. Кутявина Т. И., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я. Оценка динамики зарастания высшими водными растениями акватории эвтрофного водохранилища с использованием спутниковых изображений. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-1-299-307 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 1. С. 299–307.

4. Лагута А. А., Погорелов А. В. Пространственно-временная изменчивость концентрации хлорофилла «а» в Краснодарском водохранилище по данным спутниковых снимков. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-4-4 // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 4. С. 67–84.
5. Чинь Ле. Х., Заблоцкий В. Р., Нгуен Т. Т. Н. Разработка методики определения концентрации взвеси в поверхностных водах р. Дай (Вьетнам) по изображениям MSI Sentinel 2 с высоким пространственным разрешением. DOI: 10.31857/S0205961420020037 // Исследование Земли из космоса. 2020. № 2. С. 15–23.
6. Даниличева О. А., Ермаков С. А. О проявлениях биогенных пленок на спутниковых мультиспектральных изображениях эвтрофированного водоема. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-273-284 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 5. С. 273–284.
7. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS / J. W. Rouse Jr., R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering // NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp. 1974. Vol. 1. P. 309–317.
8. Силкин К. Ю. Методика оценки экологического состояния Воронежского водохранилища по материалам многозонального дистанционного зондирования // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. 2012. № 1. С. 220–223.
9. Monitoring the ecological state of a hypertrophic lake (Albufera of València, Spain) using multitemporal Sentinel-2 images / X. Sòria-Perpinyà, P. Urrego, M. Pereira-Sandoval et al. DOI: 10.23818/limn.38.26 // Limnetica. 2019. Vol. 38. No. 1. P. 457–469.
10. Detection of water quality using simulated satellite data and semi-empirical algorithms in Finland / P. Härmä, J. Vepsäläinen, T. Hannonen et al. DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00688-4 // Sci. Total Environ. 2001. Vol. 268. P. 107–121.
11. Литвин Л. Ф., Кирюхина З. П. Почвенно-эрозионная миграция биогенов и загрязнение поверхностных вод // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 14 / под ред. Р. С. Чалова. М. : МГУ, 2004. С. 45–63.

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ДИНАМИКИ АГРОЛАНДШАФТОВ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ЮЖНЫХ РАЙОНАХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

***В. И. Смирнова, А. С. Матушкин**
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, stud160883@vyatsu.ru*

В данной статье проводится анализ различных факторов, влияющих на динамику изменения агроландшафтов в центральных и южных районах Кировской области. Авторы рассматривают такие аспекты, как урожайность зерновых культур, удаленность от населенных пунктов, природная пригодность сельскохозяйственных угодий и плотность сельского населения.

Ключевые слова: агроландшафты, ГИС, социально-экономические факторы, физико-географические факторы.

В последние три десятилетия наблюдается сокращение площади сельскохозяйственных угодий в России. Это явление имеет ряд причин, таких как банкротство большинства колхозов и совхозов, нехватка средств у оставшихся сельскохозяйственных производителей для обработки почвы и удобрения,

а также другие факторы. В результате этого бывшие сельскохозяйственные земли стали зарастать травянистой и древесной растительностью, что увеличило риск пожаров, особенно осенью и весной, когда трава высыхает. В некоторых регионах отсутствие покоса травы и выпаса скота стало представлять угрозу для населенных пунктов.

Образование древесной растительности на непокрытых лесом землях – это естественный процесс. Однако зарастание сельскохозяйственных земель деревьями и кустарниками не является желательным, так как оно затрудняет ведение сельского хозяйства и снижает его продуктивность. Таким образом, в экологическом отношении образование древесной растительности на заброшенных землях может рассматриваться как положительный процесс, однако, с экономической точки зрения это представляет собой проблему, которую необходимо решать [1, 2].

Сравнение критериев динамики агроландшафтов центральных и южных районов Кировской области может быть полезным для определения тенденций развития сельского хозяйства в регионе и планирования мер по сохранению и улучшению сельскохозяйственных угодий.

Нами проведены исследования по изучению зарастания агроландшафтов центра (Оричевский район) и юга (Пижанский район) Кировской области. Оба этих района расположены в подзоне южной тайги Русской равнины, но удалены друг от друга примерно на 100 км [3]. Целью данного исследования стала оценка динамики трансформации агроландшафтов за период с 1989 по 2023 гг. В данной статье мы оцениваем влияние различных факторов на динамику сельхозугодий.

Результаты исследования показали, что есть статистическая связь между вероятностью пространственного распределения заброшенных сельскохозяйственных земель и следующими факторами: а) низкой урожайностью зерновых; б) удаленностью от районных центров и населенных пунктов с численностью населения более 500 человек (транспортная доступность); в) низкой природной пригодностью сельскохозяйственных угодий; г) низкой плотностью населения.

В ходе анализа исследованы почвы на территории колхозов «Ижевский» и «Земледелец» Пижанского района и совхоза «Шалеговский» Оричевского района. В Пижанском районе наиболее распространенными являются дерново-среднеподзолистые среднесуглинистые почвы, также широко распространены дерново-среднеподзолистые тяжелосуглинистые почвы и различные виды дерново-глеевых и аллювиальных дерновых почв. В Оричевском районе преобладают дерново-неглубокоподзолистые супесчаные почвы в сочетании с дерново-неглубокоподзолистыми среднесуглинистыми и дерново-грунтово-глееватыми среднегумусными среднесуглинистыми. В Оричевском районе также присутствует большой процент глубоко-подзолистых супесчаных и песчаных почв, поля на которых не возделываются.

При оценке зарастающих участков, помимо определения уровня зарастания, также использовалось понятие эффективного плодородия почвы, кото-

рое оценивалось на основе среднего показателя урожайности зерновых культур за последние четыре года. Так, этот показатель показал преимущество Пижанского района в средних показателях урожайности почти в 2,5 раза. В 2023 г. валовой сбор зерновых составил 432640 ц в Пижанском районе и 180029 ц в Оричевском районе [4]. Также наблюдается преимущество в вариативности возделывания различных видов культур в Пижанском районе (табл.).

Физико-географические показатели районов достаточно схожи, поэтому для комплексной оценки территорий на предмет забрасывания требуется рассматривать и пространственно-выраженные социально-экономические факторы.

Таблица

Виды использования земель в Оричевском и Пижанском районах

| Использование с/х земель | Оричевский район | Пижанский район |
|------------------------------|------------------|-----------------|
| Пашня | – | 2900 га |
| Озимая пшеница | – | 391 га |
| Яровая пшеница | 1596 га | 9664 га |
| Яровой ячмень | 2677 га | 3480 га |
| Яровой рапс | 20 га | – |
| Сахарная свекла | – | 650 га |
| Подсолнечник | – | 1191 га |
| Кукуруза на силос | – | 377 га |
| Картофель | 30 га | – |
| Общая площадь сельхоз угодий | 17902 га | 36443 га |

Ведущий социально-экономический фактор – население. В этом анализе мы оценили, насколько динамично происходит отток населения из населенных пунктов на землях бывших колхозов. Данные о количестве населения были взяты за период с 1989 по 2023 годы. За последние 30 лет на территории Шалеговского сельского поселения Оричевского района были заброшены около 10 деревень, еще 8 находятся на грани вымирания. Во многих исчезающих населенных пунктах население не превышает 5 человек. В Пижанском районе на территориях колхозов «Ижевский» и «Земледелец» за данный промежуток времени заброшено 16 деревень и еще в 15 населенных пунктах число жителей не превышает 15 человек. Также наблюдается значительный отток населения как из района в целом, так и из крупных населенных пунктов, таких как районные центры. Значительно меняется и возрастно-половой состав населения, и структура занятости – всё это приводит к невозможности возделывания угодий силами постоянного населения.

Следующий немаловажный фактор в оценке динамики забрасывания агроландшафтов – удаленность от населенных пунктов, то есть транспортная доступность. Данный анализ проводился с помощью системы поддержки анализа географических ресурсов GRASS ГИС [5]. Этапы проведения анализа на примере территорий Пижанского района приведены на рисунках 1 и 2.

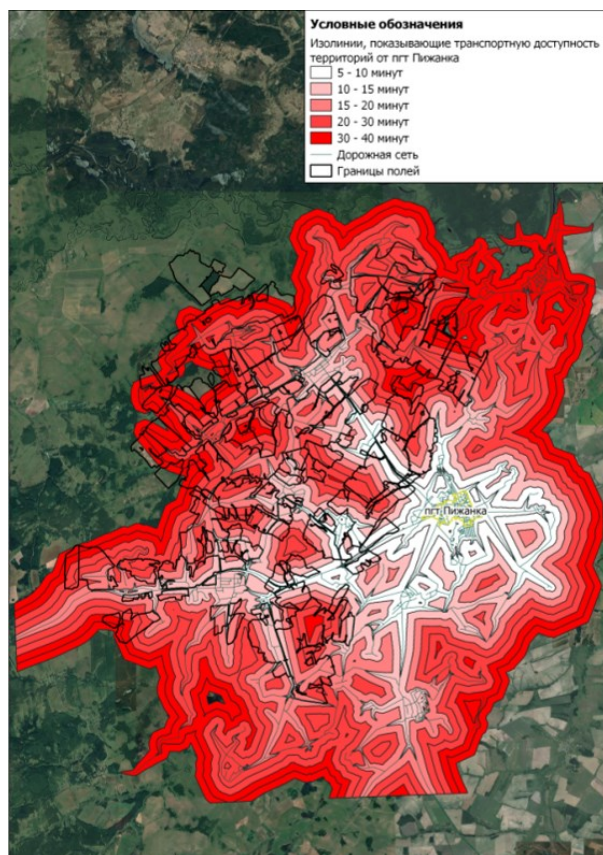


Рис. 1. Изолинии транспортной доступности территорий от пгт Пижанка

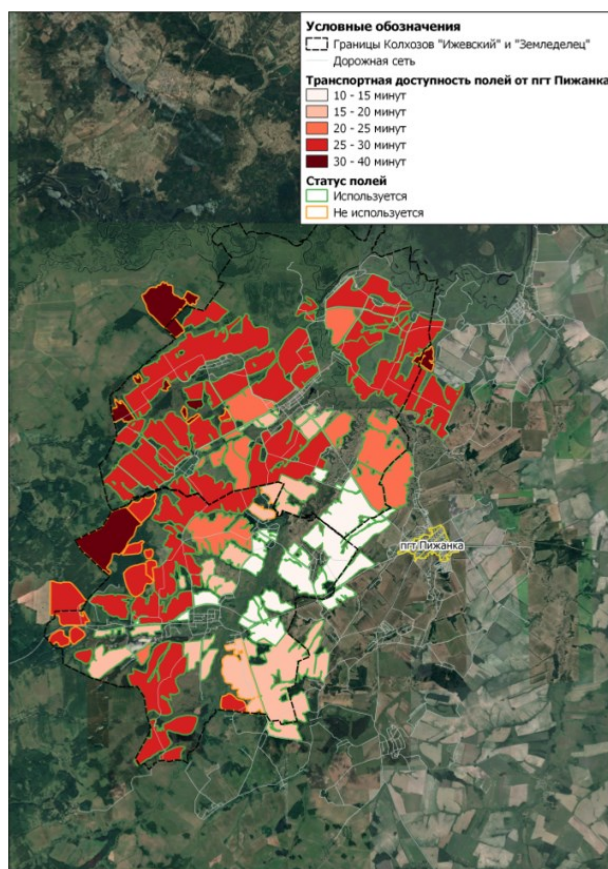


Рис. 2. Транспортная доступность полей в границах колхозов «Ижевский» и «Земледелец» от пгт Пижанка

Удаленность полей рассчитывали от пгт Пижанка, так как это единственный населенный пункт района, численность жителей в котором превышает 500 человек, что означает потенциальную возможность районного центра быть базой трудовых ресурсов для сельскохозяйственного производства, а также рынком сбыта сельскохозяйственной продукции. Анализ реализован с помощью открытых данных OSM и модуля *v.isochrones* GRASS ГИС. Подобное исследование для Оричевского района показало идентичные результаты: обрабатываемые поля СВХ «Шалеговский» находятся от районного центра пгт Оричи в зоне транспортной доступности не более 30 минут.

Исходя из данных исследований, мы видим, что социально-экономические факторы изучаемых территорий очень схожи, но при этом значительное преимущество в количестве заброшенных угодий наблюдается в Оричевском районе. С 1989 г. площадь используемых сельхозугодий в границах СВХ «Шалеговский» снизилась на 70%, в границах исследуемых колхозов Пижанского районе этот показатель составил 15%. Также мы можем выделить различие этнического состава населения районов. В Пижанском районе смешанный национальный состав населения. Пижанские марийцы традиционно занимаются сельским хозяйством, поэтому среди них больший процент сельского населения. Но наиболее значимые, на наш взгляд, различия наблюдаются в физико-географических показателях местностей. И именно эти нюансы позволяют сделать вывод о доминировании природных факторов над социально-экономическими в динамике трансформации агроландшафтов центральных и южных районов Кировской области.

Библиографический список

1. Белорусцева Е. В. Мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий нечерноземной зоны Российской Федерации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 57–64.
2. Воробьев О. Н. Оценка динамики и нарушенности лесного покрова в среднем Поволжье по снимкам LANDSAT // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 124–134.
3. География Кировской области : атлас-книга / отв. ред. Е. А. Колеватых. Киров : Кировская обл. тип., 2015.
4. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/519> (дата обращения: 15.01.2024).
5. Land Viewer / EOS [Электронный ресурс]. – URL: <https://eos.com/landviewer/?lat=58.5969&lng=49.6583&z=11> (дата обращения: 15.01.2024).

АКВАЛАНДШАФТНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ГОРОДСКОГО ЛЕСОПАРКА КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РЕКРЕАЦИОННЫЙ ЭКОРЕСУРС

*Р. П. Токинова, Д. С. Любарский, С. В. Бердник
Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, г. Казань, Россия, r.tokin@rambler.ru*

В рамках задач по развитию маршрутов экологического туризма на особо охраняемых природных территориях Республики Татарстан сформулирована концепция научно-познавательной экотропы в северной части городского лесопарка «Лебяжье» (г. Казань). В качестве ее опорных элементов рассматривается система озер Большое Глубокое и Малое Глубокое в контексте их эволюционной трансформации и биоценоотическое разнообразие их растительного покрова.

Ключевые слова: экотуризм, особо охраняемая природная территория, городской лесопарк «Лебяжье», Осиновская карстово-эрозионная ложбина, озеро Большое Глубокое, озеро Малое Глубокое, Казань.

Среди разновидностей туризма в России сегодня все более привлекательным становится экологический туризм, осуществляемый преимущественно на рекреационных территориях национальных природных парков, региональных ландшафтных парков, заказников и т. п. [1].

В качестве одного из приоритетных туристических направлений экотуризм развивается и на территории Республики Татарстан (РТ) [2]. Одним из примеров реализации проектов, направленных на развитие экотуристической инфраструктуры в регионе, может служить государственный природный заказник «Голубые озера», расположенный на северной окраине г. Казани [3].

В качестве перспективного для экотуризма объекта рассматривается городской лесопарк «Лебяжье» (Кировский район г. Казани) [4], являющийся излюбленным местом рекреации горожан. Рекреационной привлекательности в значительной мере способствует близость жилых кварталов и транспортная доступность лесопарковой зоны, удобная инфраструктура (сеть кафе, домов отдыха и детских оздоровительных лагерей). Природным ландшафтам городского лесопарка (площадь 3211 га, или 5,5% от площади города) в значительной степени удалось сохранить свою природную целостность, что обуславливает их важную роль в сохранении биологического разнообразия. С 1996 г. городской лесопарк «Лебяжье» имеет статус особо охраняемой природной территории (ООПТ) местного значения [5]. Территория лесопарка располагается на второй надпойменной террасе р. Волги и покрыта участками хвойного, хвойно-широколиственного и широколиственного лесов. Здесь находится крупная разветвленная овражно-балочная сеть, ложбины которой представляют собой вытянутые цепью множественные котловины с образовавшимися

в них озерами и болотами. Наиболее значимыми из них являются две группы озер – Лебяжьи и Глубокие [5].

Озера лесопарковой зоны традиционно являются особым местом притяжения для неорганизованной рекреации (плавание, пляжный отдых, катание на различных малых плавсредствах, любительский лов рыбы и проч.). Вместе с тем, озера испытывают целый ряд экологических проблем, среди которых нарушение водного баланса и деградация Лебяжьих озер, изменение уровня воды и трансформация экосистемы Глубоких озер и др. [5, 6]. Ожидаемый рост туристского потока в регионе в условиях активного развития сферы туризма в Татарстане [2] не должен стать дополнительным фактором, способствующим усугублению экологических проблем озер. Формирование маршрутов экологического туризма, рациональное пространственное распределение потоков рекреантов, когда помимо отдыха у воды, новые оборудованные экотропы будут способствовать также и научно-познавательному освоению всего природного разнообразия парка, может стать одним из оптимальных способов развития этой природной территории.

Целью настоящей работы является разработка предложений по формированию маршрута экологического туризма (экотропы) на ООПТ Городской лесопарк «Лебяжье» с учетом эволюционно-исторических изменений его гидрографической сети.

Инвентаризация современного состояния биоразнообразия и рекреационных ресурсов, потенциально пригодных для развития экотуризма, проведена как в ходе собственных полевых выездов в лесопарковую зону летом 2023 г. и проведения гидробиологического исследования озер Большое Глубокое и Малое Глубокое, так и на основе обзора имеющихся в литературе данных.

В качестве примечательного ландшафтно-гидрографического объекта, потенциально пригодного для развития экотуризма, нами рассматривается Осиновская карстово-эрозионная ложбина. Расположенная в северной части лесопарковой зоны «Лебяжье», она является самой протяженной в Приказанском районе, протянувшись с северо-запада от с. Осиново (Зеленодольский район РТ) на юго-восток до жилых кварталов городской застройки Казани на 18 км (рис.). Представляет собой ложбину с чередующимися озерами, болотами и приподнятыми сужениями [6].

В юго-восточной части Осиновской ложбины расположены озера Б. Глубокое и М. Глубокое. Разворачивающаяся на протяжении последнего века история трансформации этих озер, описанная в ряде научных работ [6–8], представляет безусловный интерес с точки зрения наглядности масштабов преобразования акваландшафтов. Ранее эти озера образовывали единую котловину карстово-суффозионного озера Глубокое. Однако в связи с развитием овражно-эрозионной деятельности в северной части их водосборного бассейна они были разделены конусом выноса со склонов открывающегося в котловину оврага. Последний возник вдоль осушительного рва, созданного искусственным путем в начале 20 века для отвода снеговых талых вод с возделыва-

емых сельхозугодий. Однако весенний сток оказался настолько интенсивным, что привел к быстрому возникновению новых оврагов и росту старых. Вторжение с конусом выноса огромного объема терригенного материала (около 1,6 млн м³ взвесей, по [7]) образовало 800-метровую песчаную перемычку между М. Глубоким и Б. Глубоким озерами. В результате заноса песчано-глинистым материалом две части ранее единого озера к 1940 г. оказались на разных уровнях. Этот процесс, в значительной степени обусловленный последствиями ведения сельского хозяйства на водосборной площади озера, может служить наглядным примером нерациональной антропогенной деятельности, катастрофически трансформирующей природные ландшафты.



Рис. Городской лесопарк «Лебяжье» на спутниковом снимке г. Казани (Google Earth, 2020). Условные обозначения: 1 – Осиновская ложбина; 2 – Ремплерская балка; 3 – овражная сеть, способствовавшая формированию конуса выноса в оз. Глубокое; 4 – перемычка, образовавшаяся между озерами

Образование песчаного перешейка и разделение озерной котловины привело к значительному, примерно на 10 м, поднятию уровня воды в оз. Б. Глубокое [7]. Однако, начиная с 1960-х гг. озеро стало быстро мелеть в результате строительства промышленных артезианских скважин и изменения уровня грунтовых вод на водосборе. Наглядно колебания уровня воды в Б. Глубоком можно видеть по разделению полос старого соснового леса и молодого лиственного, выросшего на обнажившемся берегу озера.

В плане ресурсов биологического разнообразия целью экотуризма также могут быть объекты живой природы, от отдельных видов до сообществ и биоценозов. Интерес может представлять растительный покров озер, включающий более 50 видов растений. Прибрежно-водная растительность распределена в водоеме поясами вдоль берега и представлена сообществами, детерминантами в которых являются: рогоз широколистный, камыш лесной, стрелолист, манник гигантский, полевика побегообразующая, тростник южный, болотница болотная, сабельник и осоки, колючковатая и носиковая. Погру-

женные макрофиты складывают два сообщества – с доминированием элодеи канадской и рдеста гребенчатого, расположенных прибрежными полосами, иногда шириной до 3–5 м. Элодея *Elodea canadensis*, называемая также водяной чумой из-за способности разрастаться сплошным ковром в прибрежных частях водоемов, к настоящему времени широко распространилась в водоемах Татарстана. Это чужеродный вид северо-американского происхождения, который входит в топ-100 инвазионных видов, которые могут представлять наибольшую опасность для экосистем России [9]. Плотные заросли элодеи могут способствовать практически полному вытеснению всех других видов макрофитов, изменению видового состава фауны водоемов, что представляет угрозу естественному биоразнообразию. Элодея вносит наибольший вклад в зарастание макрофитами прибрежной зоны Б. Глубокого, причем ее доминирующее положение в фитоценозах озера отмечается уже с начала 2000-х гг. [10].

Увеличению разнообразия форм растительного покрова водоемов способствуют сплавины. Их образование было характерно на отдельных этапах эволюции для обоих озер. Однако, к настоящему времени сплавина сохранилась только на М. Глубоком. Она находится в восточной части озера и занимает около 40% его площади [6]. Сплавина образована сфагновыми мхами, среди которых основным ценозообразователем выступает сфагнум магелланский *Sphagnum magellanicum*. Благодаря эффективной системе поглощения и удержания воды сфагновые мхи способствуют заболачиванию местообитания и формированию на месте озера верхового болота. На заболоченной поверхности в пределах формации *Sphagneta magellanici* выделяются сообщества с доминированием: вахты трехлистной; вахты со значительным древесным, в основном березовым, ярусом; вахты и клюквы; вахты и крушины ломкой; клюквы болотной; близ уреза воды – крушины и ив; по урезу – сабельника болотного; значительно участие мирта болотного обыкновенного. В составе покрова сплавины отмечено присутствие многолетнего насекомоядного растения росянки круглолистной *Drosera rotundifolia*, занесенной в Красную книгу Республики Татарстан [11].

Основными объектами экотуризма на ООПТ в его классической природоохранной трактовке считаются относительно ненарушенные природные комплексы или отдельные их элементы. Лишь немногие программы предусматривают вовлечение посетителей в постижение экологических проблем природопользования. Предлагаемая в данной статье концепция экотропы имеет основной целью научно-познавательное экологическое просвещение и формирование более ответственного отношения к природе. В качестве объекта здесь рассматривается трансформированный под антропогенным влиянием гидрографический ландшафт северной части лесопарка. За опорные элементы экотропы могут быть взяты акваландшафты озер Б. Глубокое и М. Глубокое, песчаный перешеек между озерами и глубокие, достигающие высоты 10 м овраги, способствовавшие его формированию. Видовое и биоценотическое разнообразие растительного покрова озер, процессы болотообразования наглядно можно наблюдать на примере оз. М. Глубокое. Примером послед-

ствий биологических инвазий чужеродных видов макрофитов и их трансформирующих естественные биоценозы возможностей может служить оз. Б. Глубокое.

Таким образом, проведенная в рамках задач по организации маршрутов экологического туризма инвентаризация рекреационных ресурсов в гидрографической сети северной части городского лесопарка «Лебяжье» позволила предварительно сформулировать концепцию летней экотропы на его территории. В качестве ее опорных элементов могут выступать акваландшафты озер Б. Глубокое и М. Глубокое, их эволюционная трансформация, а также современное видовое и биоценотическое разнообразие растительного покрова озер. Предлагаемый маршрут классифицируется нами как научно-познавательная гидроэкологическая тропа в границах ООПТ. Познавательное освоение природного разнообразия и гуманистического потенциала рекреационных территорий способствует созданию системы более эффективной природной рекреации населения.

Библиографический список

1. Лапочкина В. В., Косарева Н. В., Адашова Т. А. Экологический туризм в России: тенденции развития // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5–1. С. 100–105.
2. Стратегия развития туризма в Республике Татарстан на период 2021–2030 годов. Приказ ГК РТ по туризму № 18 от 16.02.2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/406552767> (дата обращения: 21.03.2024).
3. Экотуризм. Институт развития городов РТ [Электронный ресурс]. – URL: https://institute.tatar/ecotourism_ (дата обращения: 13.03.2024).
4. Маршрут построен: в Казани у озера Лебяжье обустроят экотропу. РБК. Татарстан, 25.10.2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://rt.rbc.ru/tatarstan/freenews/65f7f50a9a7947b77b177235> (дата обращения: 18.03.2024).
5. Государственный реестр особо охраняемых природных территорий в Республике Татарстан. Изд. 2-е. Казань : Изд-во «Идел-Пресс», 2007. 408 с.
6. Тайсин А. С. Озера Приказанского района, их современные природные и антропогенные изменения : учеб. пособие. Казань : Изд-во ТГГПУ, 2006. 167 с.
7. Сонин Г. В., Уленгов Р. А., Губеева С. К. Влияние природных и антропогенных факторов на эволюцию озер (на примере озера Глубокое) // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6 [Электронный ресурс]. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15813> (дата обращения: 20.03.2024).
8. Эволюция системы Глубоких озер г. Казани в XX–XXI вв. / Д. В. Иванов, Г. В. Сонин, Д. В. Тишин и др. // Российский журнал прикладной экологии. 2015. № 1. С. 31–38.
9. Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / Ред. Ю. Ю. Дгебуадзе, В. Г. Петросян, Л. А. Хляп. М. : Тов-во научных изданий КМК, 2018. 688 с.
10. Мингазова Н. М. Флора и растительность водоемов г. Казани // Экология города Казани. Казань : Изд. ФЭН, 2005. С. 248–265.
11. Красная книга Республики Татарстан (животные, растения, грибы). Изд. 3-е. Казань : Изд-во «Идел-Пресс», 2016. 760 с.

ДОСТУПНОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ СОЦИОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОСА СРЕДИ РЕСПОНДЕНТОВ СФЕРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСВЕЩЕНИЯ И ОБРАЗОВАНИЯ

С. Б. Ярусова¹, Е. В. Медеян², Н. В. Иваненко¹, Д. П. Перебейнос²

¹ Владивостокский государственный университет,
г. Владивосток, Россия, *yarusova_10@mail.ru*,

² Научно-образовательный комплекс «Приморский океанариум» –
филиал Национального научного центра морской биологии ДВО РАН,
г. Владивосток, Россия

В рамках VIII Открытой школы Приморского океанариума «Естественнонаучное образование и просвещение: вызовы, приоритеты, инновации» (21–22 марта, г. Владивосток) проведено анкетирование специалистов сферы экологического просвещения и образования из различных субъектов РФ. Цель анкетирования – оценка экологической осведомленности субъектов экологического просвещения и образования по вопросам уровня экологической информированности о состоянии окружающей среды, проведения просветительских и волонтерских экомероприятий, уровня проводимой работы по экопросвещению молодежи.

Ключевые слова: экологическая информация, экологическое просвещение и образование, анкетирование, экологическая осведомленность.

Процесс непрерывного экологического образования и просвещения важен для развития экологической культуры, формирования экологического мировоззрения и базовых научных знаний населения, приобретения профессиональных навыков, необходимых для реализации принципов рационального природопользования и экологической безопасности. При этом системное непрерывное экологическое образование подразумевает не только содержание, формы и методы общего и профессионального экологического образования, или какую-либо образовательную программу, но и различные формы общественного влияния на процесс формирования эколого-ориентированного общественного сознания. Важными элементами экологического образования и просвещения являются целенаправленное информирование населения по экологическим вопросам, распространение экологических знаний, вовлечение широких слоев населения в активное участие в природоохранной деятельности в целях формирования основ экологической культуры населения [1, 2].

К субъектам экологического просвещения относятся: государство в лице уполномоченных органов и должностных лиц, научные и общественные организации, СМИ, церковь, организации граждан, осуществляющих деятельность в сфере эколого-правового просвещения. Важными субъектами – центрами распространения экологических знаний – являются краеведческие

музеи, публичные и научные библиотеки, заповедники и национальные парки, организации дополнительного экологического образования учреждения культуры, природоохранные учреждения, организации спорта и туризма. В современных условиях активно разрабатываются и внедряются цифровые экообразовательные продукты: экологические мобильные приложения, региональные электронные экологические Интернет-ресурсы, экологические порталы для молодежи и др. [3–6].

Совершенствование экологической подготовки всех субъектов экологического просвещения (педагогов, ученых, специалистов природоохранных организаций, представителей природоохранных и общественных организаций, сотрудников культурно-просветительских учреждений и др.) посредством методического сопровождения вопросов, связанных с охраной окружающей среды, обеспечением экологической безопасности, исследованием и апробацией накопленного опыта, транслирования опыта в области экологического образования и просвещения создает условия для повышения экологической культуры всего населения в целом.

В связи с вышесказанным важна оценка экологической осведомленности самих субъектов экологического просвещения и образования по следующим вопросам: уровень экологической информированности о состоянии окружающей среды, проведение просветительских и волонтерских мероприятий, уровень проводимой работы по экопросвещению молодежи. В данной работе приведены результаты анкетирования 46 участников VIII Открытой школы Приморского океанариума «Естественнонаучное образование и просвещение: вызовы, приоритеты, инновации», которая проходила 21–22 марта в г. Владивостоке. Часть вопросов анкеты была составлена на основе опроса, разработанного Автономной некоммерческой организацией «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов» совместно с АНО «Национальные приоритеты» и Общероссийской общественной организацией «Российское экологическое общество» [7].

В мероприятии приняли участие руководители и сотрудники научно-образовательных и культурно-просветительных учреждений, представители общественных организаций, педагоги общего и дополнительного образования, специалисты природоохранных, музейных организаций, выставочных центров, галерей, студенты, преподаватели всех уровней образования, представители отраслевой и академической науки, экспертного сообщества из различных регионов России – от Калининградской области до Камчатского края.

Задачи VIII открытой школы: развитие актуальных направлений естественнонаучного образования и экологического просвещения; распространение инновационных образовательных и просветительских практик в области естественнонаучных дисциплин; популяризация педагогических инструментов в организации профориентационной работы, исследовательской и проектной деятельности по изучению биоразнообразия и окружающей среды; обсуждение перспективных идей и опыта организации доступной (инклюзив-

ной) среды для детей и взрослых с особыми потребностями в рамках реализации просветительских программ естественнонаучного и социокультурного профиля [8, 9].

Большинство респондентов отмечает, что улучшение экологической ситуации в регионе зависит, главным образом, от населения (73,9%), поэтому важна оценка информированности населения о состоянии окружающей среды, проводимых экомероприятиях, доступности информации о них.

43,5% опрошенных указали, что доступ к актуальным данным о состоянии окружающей среды имеется у населения лишь частично.

На вопросы о просветительских и волонтерских мероприятиях экологической направленности 69,6% респондентов отметили, что такие мероприятия проводятся регулярно, 28,3% респондентов указали ответ «проводятся редко, своевременная информация о них ограничена». При этом 54,3% указывают на средний уровень доступности информации об экомероприятиях. Высокий уровень доступности информации отметили только 23,9%, а низкий – 17,4% (рис. 1).

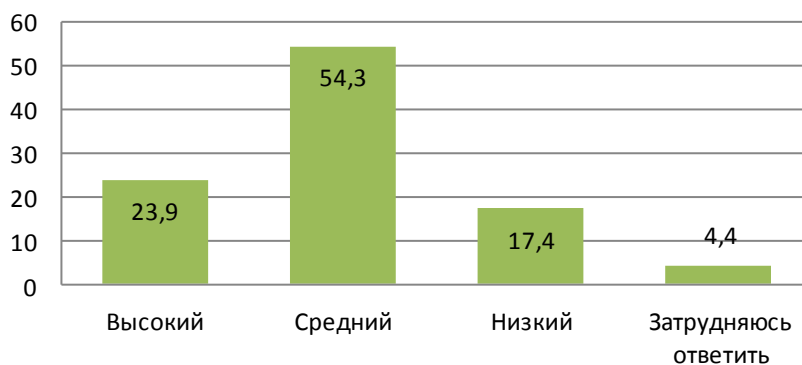


Рис. 1. Результаты (% от числа опрошенных) ответов на вопрос: «Как вы оцениваете уровень доступности информации о проводимых в Вашем регионе экомероприятиях?»

При этом следует отметить, что большая часть опрошенных активно участвует в организации экомероприятий в своем регионе постоянно (56,5%) и эпизодически (30,4%) (рис. 2). Поэтому можно предположить, что на аналогичный опрос других категорий населения число респондентов, оценивающих уровень доступности информации об экомероприятиях как низкий, будет намного выше.

Уровень проводимой работы по экологическому просвещению молодежи большинство респондентов (56,5%) оценивает как средний. На высокий и низкий уровень работы по экопросвещению молодежи указывает равное количество опрошенных – по 17,4%.



Рис. 2. Результаты (% от числа опрошенных) ответов на вопрос: «Участвуете ли Вы в организации экопросветительских мероприятий в Вашем регионе?»

Полученные результаты социологического опроса свидетельствуют о необходимости уделять больше внимания вопросам доступности экологической информации для населения – важнейшего условия повышения экологической грамотности населения, принятия обоснованных решений по вопросам охраны окружающей среды. Повышение уровня экологической информированности населения, проведение экологических мероприятий, активная работа по экологическому просвещению молодежи являются ключевыми механизмами в решении рассматриваемой проблемы.

Библиографический список

1. Комарова Н. Г. Образование и новая экологическая культура в стратегии устойчивого развития // *Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований*. Т. 4 : Экологическая безопасность, инновации и устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития / под ред. В. З. Латыповой и О. Г. Яковлевой. Казань : Отечество, 2009. С. 320–322.
2. Костин И. А. Формирование экологической культуры населения // *Наука и образование: прошлое, настоящее и будущее : сб. статей III межвуз. студенч. конф.* (г. Воронеж, 10 сентября 2021 г.). Воронеж : филиал РГУПС в г. Воронеж, 2021. Т. 2. С. 14–17.
3. Сибирцева Е. А., Левицкая Л. В., Карауш А. С. Региональные электронные информационные ресурсы по экологии: доступ расширяется // *Научные и технические библиотеки*. 2008. № 2. С. 67–70.
4. Замалиева А. М., Зарипова Р. С. Использование мобильных технологий для решения проблем экологического просвещения современного общества // *Философия в XXI веке: социально-философские проблемы современной науки и техники : материалы I междунар. науч.-практ. конф.* (г. Москва, Зеленоград – Красноярск, 12 мая 2023 г.). Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2023. С. 188–192.
5. Ширяева Е. А. Экологический портал как метод повышения экологической грамотности студентов // *Развитие личности в условиях цифровой трансформации : материалы V междунар. науч.-практ. конф.* (г. Копейск, 31 января 2020 года. Челябинск : ЧИРПО, 2020. С. 266–269.
6. Шкаликова У. О. Экологическое просвещение: становление, сущность и принципы // *Амурский научный вестник*. 2015. № 4. С. 141–150.

7. Всероссийское исследование экологической ситуации в России 2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://ldc.asi.ru/api/eco/form> (дата обращения: 24.12.2023).

8. Ежегодная конференция «Открытая школа» [Электронный ресурс]. – URL: <https://primosean.ru/education/otkryitaya-shkola/> (дата обращения: 25.03.2024).

9. Члены научной секции «Инженерная и промышленная экология» РЭА и Приморского краевого отделения РЭА приняли активное участие в работе VIII Открытой школы «Естественнонаучное образование и просвещение: вызовы, приоритеты, инновации» Приморского океанариума [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosekoakademia.ru/news/chleny-nauchnoj-sekcii-inzhenernaya-i-promyshlennaya-ekologiya-rea-i-primorskogo-kraevogo-otdeleniya-rea-prinyali-aktivnoe-uchastie-v-rabote-viii-otkrytoj-shkoly-estestvenno-nauchnoe-obrazovanie/> (дата обращения: 25.03.2024).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИПОФИЛЬНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Т. А. Аникина, Е. С. Соловьёва
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, tanya26122001@mail.ru

В статье представлен опыт применения спектрофотометрического метода для определения липофильности органических веществ, являющихся биологически активными, и опыт использования программ для расчета молекулярных дескрипторов.

Ключевые слова: липофильность, биологически активные вещества, янтарная кислота, аскорбиновая кислота, никотиновая кислота.

Один из важных параметров, оцениваемых у веществ с потенциальной биологической активностью, – липофильность. Это физико-химическое свойство, которое характеризует способность химического соединения растворяться в жирах, маслах, липидах и других неполярных растворителях. Липофильность имеет принципиальное значение при разработке лекарств. Это свойство влияет на фармацевтическое, фармакокинетическое, фармакодинамическое поведение вещества. Липофильное неполярное вещество растворяется в липидном слое клеточной мембраны, и чем выше липофильность, тем легче оно проникает через мембрану в клетку. В работе [1] авторы показали, что липофильная форма витамина В₁ значительно превосходит его гидрофильную форму в показателях максимальной концентрации в крови и биодоступности (количества лекарственного вещества, достигающего системного кровотока). Для некоторых веществ именно наличие этого свойства является необходимым условием проявления фармакологической активности.

Цель данной работы – изучение липофильности биологически активных веществ.

Объекты исследования: аскорбиновая кислота, янтарная кислота, никотиновая кислота.

В качестве метода исследования использовался спектрофотометрический метод [2]. Спектрофотометрический метод определения липофильности ($\log P$) заключается в растворении вещества в объеме смеси *n*-октанола и воды и последующем измерении концентрации растворенного вещества в каждом из растворителей. В роли органического растворителя использовали этилацетат, так как по физическим свойствам он аналогичен *n*-октанолу.

Программы ALOGPS и MolInspiration являются приложениями для расчета молекулярных дескрипторов. MolInspiration предлагает широкий спектр программных средств для химиоинформатики, поддерживающих манипулирование молекулами и их обработку, включая преобразование, нормализацию молекул, генерацию таутомеров, фрагментацию молекул, расчет различных молекулярных свойств, необходимых для молекулярного моделирования и разработки лекарств, высококачественное изображение молекул, инструменты молекулярной базы данных, поддерживающие поиск субструктуры и сходства [3]. ALOGPS – это онлайн-программный инструмент, который прогнозирует $\log P$ и растворимость соединений в воде для целей разработки лекарств, предлагая интерактивные, простые в использовании функции. С помощью данных программ можно проводить расчеты липофильности химических соединений на основе данных о структуре соединения [4].

В ходе эксперимента была проанализирована липофильность аскорбиновой кислоты, янтарной кислоты и никотиновой кислоты, которые часто применяются в качестве лекарственных средств (табл.).

Таблица

Результаты определения липофильности исследуемых веществ

| Вещество | Липофильность | | |
|----------------------|---------------|--------|----------------|
| | эксперимент | ALOGPS | MolInspiration |
| Янтарная кислота | 0,36 | -0,53 | -0,66 |
| Аскорбиновая кислота | -0,69 | -1,58 | -1,98 |
| Никотиновая кислота | 0,33 | 0,29 | 0,27 |

В ходе спектрофотометрического определения был установлен показатель липофильности янтарной, аскорбиновой и никотиновой кислот. По таблице видно, что данные, полученные экспериментально, у никотиновой кислоты близки к значениям, полученным в программах. Никотиновая кислота липофильна, т.к. $\log P > 0$. Данные, полученные экспериментально, у аскорбиновой кислоты отличаются от данных, полученных в программах. Аскорбиновая кислота гидрофильна, так как $\log P < 0$. Молекула аскорбиновой кислоты содержит 4 гидроксильные группы, которые отвечают за гидрофильность; в результате окисления 2 гидроксильные группы заменяются на кетогруппы, у которых гидрофильность ниже, соответственно $\log P$ будет ниже. Данные, полученные экспериментально, у янтарной кислоты отличаются от данных, полученных в программах. По экспериментальным данным янтарная кислота липофильна ($\log P > 0$), а по данным, полученным в программах гидрофильна ($\log P < 0$). За гидрофильность молекулы янтарной кислоты отвечают 2 карбоксильные группы. Такая разница между экспериментальными данными и

данными, полученными в программах, может быть из-за человеческого фактора при выполнении данного метода определения липофильности.

В результате работы определен показатель липофильности янтарной, аскорбиновой и никотиновой кислот спектрофотометрическим методом и с помощью специальных программ ALOGPS и MolInspiration.

Библиографический список

1. Таширова О. А., Раменская Г. В. Изучение фармакокинетических свойств липофильных и гидрофильных производных тиамин // Бюллетень медицинских Интернет-конференций. 2012. Т. 12. № 11. С. 964.

2. Experimental determination of octanol water partition coefficient (KOW) of 39 liquid crystal monomers (LCMs) by use of the shake flask method / M. Zhu, H. Su, Y. Bao et al. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.132407 // Chemosphere. 2022. Vol. 287. Article No. 132407.

3. Tetko, I. V.; Poda, G. I. Application of ALOGPS 2.1 to predict log D distribution coefficient for Pfizer proprietary compounds // J. Med. Chem. 2004. Vol. 47. No. 4. Article No. 5601.

4. Antimicrobial activity of some novel armed thiophene derivatives and Petra/Osiris/Molinspiration (POM) analyses / Y. N. Mabkhot, F. Alatibi, A. Wadood et al. DOI: 10.3390/molecules21020222 // Molecules. 2016. Vol. 21. Article No. 222.

СЕКЦИЯ 4
РЕГИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ.
НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

ПОКАЗАТЕЛИ ВЫХОДА И СОСТАВА
ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ КАРБОНИЗАЦИИ ИСКОПАЕМОГО УГЛЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ТИДЖИТ»

Зо Е Найнг, А. В. Нистратов, В. Н. Клушин

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
г. Москва, Россия, zawy7@mail.ru*

Изучение рационального использования ископаемого угля является актуальной задачей для экономики Республики Союз Мьянма. Определенные перспективы в отношении угольного сырья месторождения Тиджит обещает его переработка в углеродные адсорбенты путем пиролиза. В данной работе представлен материальный баланс и состав побочных продуктов карбонизации названного угля.

Ключевые слова: ископаемый уголь, пиролиз, карбонизация, побочные продукты.

Более ранние исследования [1, 2] установили рациональные условия термической переработки (пиролиза) ископаемого угля месторождения Тиджит с получением углеродных адсорбентов. Операция, выполняемая в таких условиях, предполагает образование побочных продуктов термического воздействия на соответствующие материалы в виде конденсатов выделяющихся парообразных веществ и газов, которые не конденсируются при комнатной температуре. Определение совокупности характеристик этих продуктов очень важно для практической реализации разрабатываемой технологии углеродных адсорбентов.

В таблице 1 представлен материальный баланс операции пиролиза сырья в указанных условиях [1, 2].

Таблица 1

Материальный баланс пиролиза сырья

| Приход, % масс. | | Расход, % масс. | |
|------------------|-----|---------------------------|------|
| Сырье | | Продукты | |
| Ископаемый уголь | 100 | Карбонизированный остаток | 61,0 |
| | | Конденсат | 12,7 |
| | | Неконденсирующиеся газы | 25,2 |
| Итого: | 100 | Итого: | 98,9 |

Данные, приведенные в таблице 1, указывают на то, что меньшая часть используемого сырья превращается в конденсат.

Неконденсирующиеся газы являются более весомым продуктом пиролиза. Такие газы горючи и данное их свойство позволяет практически полностью компенсировать энергетические затраты на осуществление этого процесса [3, 4]. Исследованиями их состава с использованием газового хроматографа «Цвет-500М» (газ-носитель азот) установили наличие водорода, ацетилена, метана, оксидов азота и углерода, содержание которых изменяется с повышением температуры в процессе пиролиза, что демонстрирует информация, представленная на рисунке.

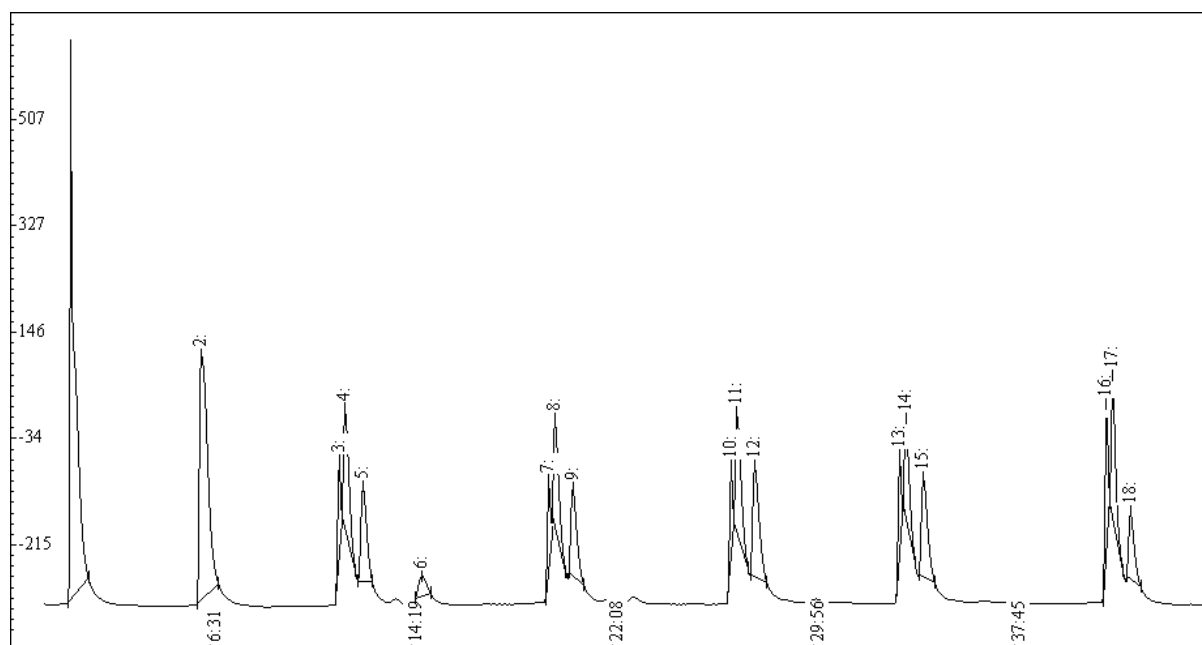


Рис. Хроматограммы неконденсируемых газов пиролиза

Результаты интерпретации хроматограмм на рисунке характеризуют данные таблицы 2. Идентификацию пика проводили по времени удерживания компонента, расчет его доли – как отношение высоты его пика к сумме высот всех пиков данной пробы.

Согласно таблице 2 выделение водорода начинается в области 400 °С и его содержание составляет 36,2% по объему, метан появляется в области 500 °С. Начало выделения этилена фиксируется при температуре 600 °С, при дальнейшем нагревании оно ослабевает. В области 500–550 °С в пиролизных газах появляются оксиды азота.

По внешнему виду конденсат представляет собой темно-коричневую жидкость с плотностью около 1,2 г/см³, несколько более вязкую по сравнению с водой, имеющую неприятный запах, непрозрачную и не расслаивающуюся даже при длительном хранении. Имеющиеся литературные данные свидетельствуют о весьма высоком потенциале подобных конденсатов, как источников получения разнообразных продуктов [5, 6].

Характеристика принадлежности пиков хроматограмм на рисунке и расчет доли компонентов в газах пиролиза в зависимости от температуры процесса

| Температура, °С | № пика | Компонент | Интенсивность пика, мВ | Доля компонента в пробе газа, % об. |
|-----------------|--------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 400 | 1 | H ₂ | 997 | 1 |
| 450 | 2 | H ₂ | 408 | 1 |
| 500 | 3 | H ₂ | 172 | 28,7 |
| | 4 | CO ₂ | 231 | 38,5 |
| | 5 | CH ₄ | 163 | 27,2 |
| | 6 | NO | 34 | 5,7 |
| 550 | 7 | H ₂ | 149 | 28,8 |
| | 8 | CO ₂ | 214 | 41,3 |
| | 9 | NO ₂ | 155 | 29,9 |
| 600 | 10 | H ₂ | 170 | 28,9 |
| | 11 | CO ₂ | 226 | 38,4 |
| | 12 | C ₂ H ₄ | 193 | 32,8 |
| 650 | 13 | H ₂ | 169 | 28,5 |
| | 14 | CO ₂ | 197 | 36,5 |
| | 15 | C ₂ H ₄ | 173 | 32,1 |
| 750 | 16 | H ₂ | 246 | 38,6 |
| | 17 | CO ₂ | 275 | 42,8 |
| | 18 | C ₂ H ₄ | 119 | 18,6 |

При нагревании конденсата на песчаной бане происходит имитирующее кипение в диапазоне температур от ~ 70 до ~ 100 °С с выделением газов. В диапазоне температур ~100–110 °С дальнейшая дистилляция приводит к образованию (в количестве ~60% от объема взятого конденсата) мутного водного раствора без запаха и коричневого цвета с плотностью ~1,1 г/см³ и значением рН приблизительно 4. Завершающий процесс нагревания конденсата неперегоняемый остаток, который составляет ~40% от его объема, в горячем состоянии (при 60 °С) представляет собой горючую и высокоадгезивную жидкость темного цвета плотностью 1,2 г/см³. Изменения температуры в значительной степени влияют на его вязкость, а при охлаждении эта жидкость превращается в эластичную массу аналогичного цвета, похожую на деготь.

По итогам анализа конденсат может служить источником углеводородных соединений, а газы – топливом для поддержания процесса пиролиза сырья.

Библиографический список

1. Зо Е Найнг, Клушин В. Н. Особенности термического и термоокислительного распада ископаемого угля месторождения Тейчик // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. 31. № 9. С. 34–36.
2. Зо Е Найнг, Нистратов А. В., Клушин В. Н. К оценке перспективности использования ископаемого угля месторождения Гиджит в качестве сырья для производства активного угля // Современные достижения молодых ученых в биологии, медицине и ветеринарии.

рии : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. студентов, магистрантов, аспирантов. (г. Астрахань, 23–24 ноября 2023 г.). Астрахань : Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, 2023. С. 24–25.

3. Мухин В. М., Клушин В. Н. Производство и применение углеродных адсорбентов. М. : РХТУ имени Д. И. Менделеева, 2012. 308 с.

4. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. Л. : Химия, 1984. 216 с.

5. Каменный уголь, сухая перегонка [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.chem21.info/info/29134/> (дата обращения: 17.05.2022).

6. Сухая перегонка каменного угля [Электронный ресурс]. – URL: <https://megaobuchalka.ru/4/31339.html> (дата обращения: 17.05.2022).

МЕТОД ПОТЕРЬ ПРИ ПРОКАЛИВАНИИ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЕ

*Э. Р. Зайнулгабидинов, Ю. А. Игнатьев, А. М. Петров
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
г. Казань, Россия, com05@mail.ru*

Температура и время термической обработки являются основными параметрами метода потерь при прокаливании. Поиск оптимальной температуры проводился в диапазоне от 200 до 600 °С. Показано, что подходящий температурный диапазон от 550 °С до 600 °С, а продолжительность прокаливании зависит от используемой навески и ограничена 2–4 часами.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, потери при прокаливании, температура прокаливании, время прокаливании.

Аналитическое определение содержания нефти и нефтепродуктов (НП) в почве остается сложной и до конца нерешенной задачей [1, 2]. В настоящее время количественное определение НП проводится на основе содержания в них совокупности неполярных углеводородов, которые рассматриваются как часть нефтяного загрязнения, не подвергшаяся трансформации [3].

Использование существующих в настоящее время различных аналитических инструментов приводит к разночтению полученных данных [4, 5]. Это связано не только с различием их специфики определения НП, но и с изменением во времени компонентного состава загрязнителя с образованием метаболитов обладающих полярностью [6, 7].

Метод потерь при прокаливании (ППП) предлагается как один из простых и перспективных подходов для количественного определения органического вещества (ОВ) почв и донных отложений [8–11]. В его основе лежит термическая обработка почвы при высокой температуре. При прокаливании загрязненных нефтью и НП почв ожидается, что потеря массы почвенного образца будет происходить как за счет сгорания автохтонного ОВ, так и принесенных извне аллохтонных углеводородов. Таким образом, количествен-

ное содержание загрязнителя можно определить, как разницу между значениями потери массы нефтезагрязненных и чистых почвенных образцов [12].

Целью данной работы являлось определение оптимальных условий термической обработки нефтезагрязненных и чистых почвенных образцов для определения общего содержания ОВ нефти.

Объектом исследования являлись светло-серые, серые и темно-серые лесные почвы. Уровень исходного загрязнения нефтью составлял 5%, 8,5%, 10% и 15% от массы почвенных образцов. Почвы подвергались технической рекультивации в лабораторных условиях. Контролем служили чистые почвенные образцы, содержащиеся в аналогичных условиях. Влажность исследуемых образцов поддерживалась на уровне 60% полной влагоемкости.

Образцы последовательно прокаливали при температурах 200 °С, 250 °С, 300 °С, 350 °С, 400 °С, 450 °С, 500 °С, 550 °С и 600 °С в муфельной печи. Перед взвешиванием термически обработанные почвенные образцы охлаждали в эксикаторе до комнатной температуры. Оптимальное время прокаливания устанавливали путем последовательной экспозиции образцов при температуре 600 °С с шагом 0,5 часа.

ППП рассчитывали по формуле 1:

$$\text{ППП}(\%) = \frac{(СВ_{105} - ПВ_t)}{СВ_{105}} \times 100\% \quad (1)$$

где ППП – потеря при прокаливании, СВ₁₀₅ – масса абсолютно сухого образца до прокаливания (г), ПВ_t – масса образца после прокаливания (г).

Определение органических соединений проводили по формуле 2:

$$\text{ОСН} = \sum_{i=1}^n (m_{i3} - \bar{M}_k) / n, \quad (2)$$

где ОСН – масса органических соединений нефти, m_{i3} – потеря массы после прокаливания отдельного образца нефтезагрязненной пробы, M_k – средняя потеря массы после прокаливания для контрольных образцов, n – количество повторностей.

Полученные данные подвергали стандартной статистической обработке.

На рисунке 1 представлены результаты изменения массы почвенных образцов при последовательном повышении температуры. Основная потеря массы отмечена в диапазоне температур от 200 °С до 350 °С, когда она составляла примерно 70%. Наиболее термоустойчивая фракция в загрязненных образцах составляла порядка 10%.

Следует отметить, что при температуре 450 °С полная элиминация ОВ нефти наблюдалась в образцах светло-серой лесной почвы. В остальных случаях требовалась более высокая температура – 550 °С. При дальнейшем ее увеличении (до 600 °С) изменение массы рассматриваемых образцов не отмечалось, что указывает на полное сгорание остаточных органических соединений.

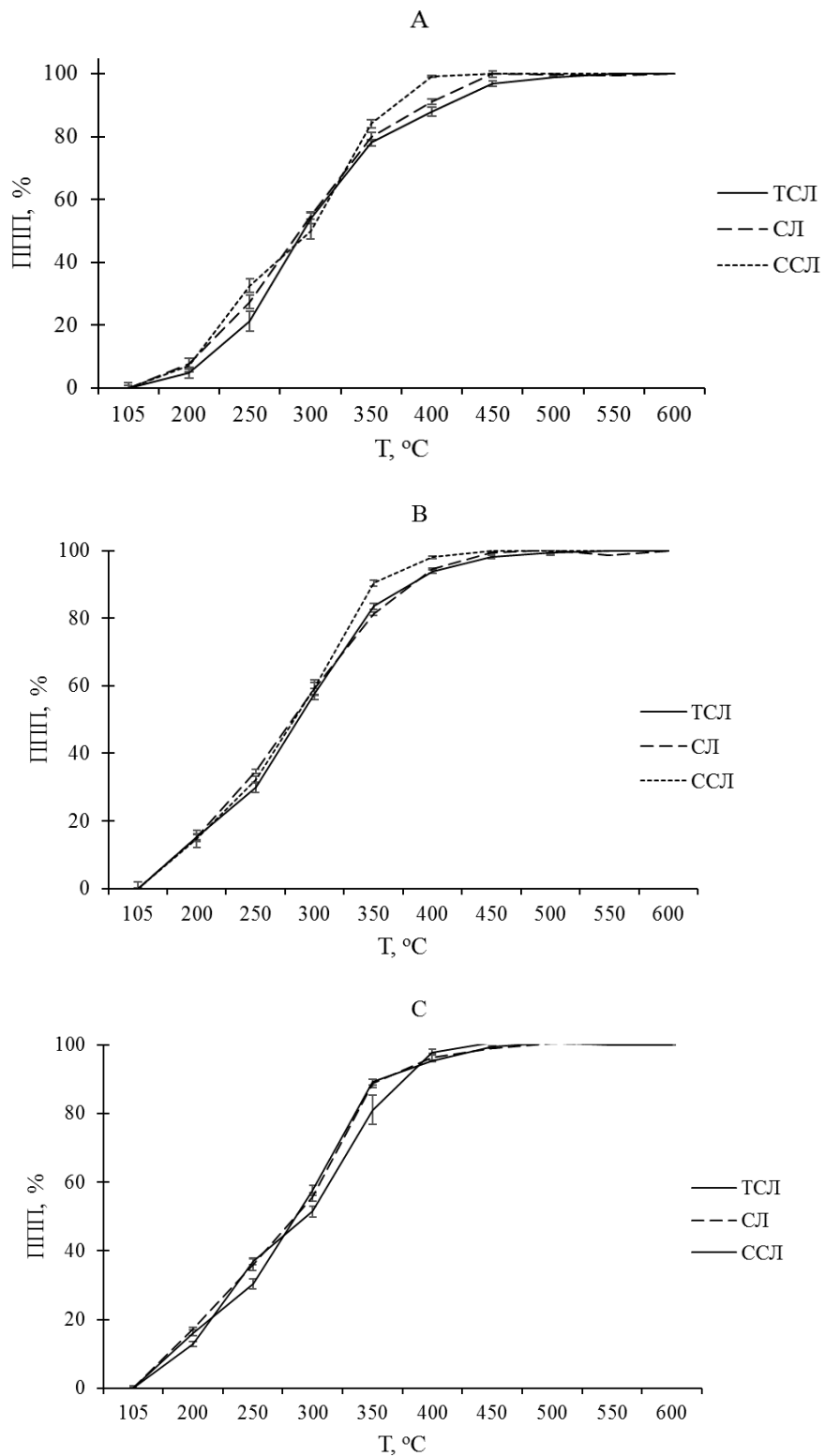


Рис. 1. Потери массы образцов нефтезагрязненных почв с повышением температуры.
 Уровни загрязнения: А – 5%, В – 10%, С – 15% от массы почвы.
 ТСЛ – темно-серые лесные, СЛ – серые лесные, ССЛ – светло-серые лесные почвы

Для определения оптимального времени термической обработки, при температуре 600 °С определялась потеря массы нефтезагрязненных почвенных образцов после двухлетней рекультивации в лабораторных условиях. При прокаливании образцов почвы в течение 0,5 часа потеря массы аллохтонных соединений составила более 70% (рис. 2). Через 1 час их содержание снизилось более чем на 90%, а через 1,5 часа приблизилось практически к постоянному значению. При увеличении времени прокаливании до 2 и более часов полученные результаты статистически не различались.

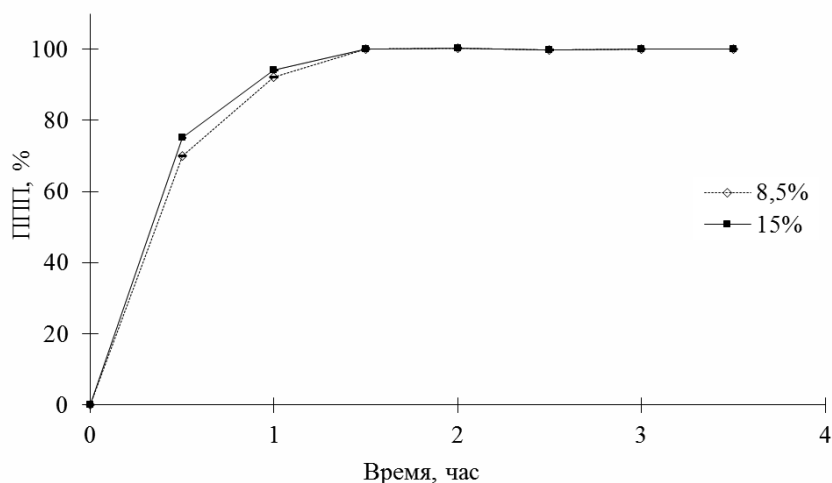


Рис. 2. Потери массы при прокаливании почвенных образцов с различным начальным уровнем загрязнения нефтью (%) в зависимости от времени

Вопросом, связанным с выбором оптимальной массы анализируемого образца, также не стоит пренебрегать. От этого параметра зависит точность определения концентрации аллохтонного ОВ. Пробы с большой массой могут показывать заниженные результаты при непродолжительном прокаливании, поскольку требуется больше времени для полного сгорания ОВ. Ранее было отмечено, что небольшие образцы теряли массу быстрее, чем крупные, и скорость потери массы была постоянной, если она колебалась в диапазоне от 1,0 г до 1,5–1,8 г [13]. Следует ожидать, что масса образцов в пределах данного диапазона может быть наиболее оптимальной для корректного определения содержания ОВ нефти.

Таким образом, температура и время прокаливании являются основными параметрами рассматриваемого в данной работе метода определения содержания в почвах ОВ нефти. На основании полученных данных оптимальным для прокаливании можно считать температурный диапазон от 550 °С до 600 °С и временной диапазон от 2 до 4 ч, который зависит от массы почвенных образцов.

Библиографический список

1. Экспресс-метод обнаружения нефтепродуктов в водной среде / Д. В. Лозовой, А. Э. Балаян, М. Н. Саксонов, Д. И. Стом // Аналитика и контроль. 2006. Т. 10. № 2. С. 137–143.
2. Федорова М. А., Усова С. В., Вершинин В. И. Точность ИК-спектрометрических оценок суммарного содержания углеводов в их модельных смесях при различных способах измерения обобщенного аналитического сигнала // Аналитика и контроль. 2014. Т. 18. № 1. С. 91–98.
3. Влияние внесения глинистых минералов, минеральных удобрений и мелиоранта на разложение органических поллютантов в нефтезагрязненном песке в условиях модельного опыта / Ю. А. Завгородняя, А. А. Степанова, С. Я. Трофимов и др. // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2017. № 1. С. 39–46.
4. Околелова А. А., Желтобрюхов В. Ф. Особенности определения и нормирования нефтепродуктов в почвах // Естественно-гуманитарные исследования. 2013. Т. 1. № 1. С. 12–18.
5. Comparisons of four methods for measuring total petroleum hydrocarbons and short-term weathering effect in soils contaminated by crude oil and fuel oils / Y. Sun, J. Ma, G. Yue et al. DOI: 10.1007/s11270-021-05341-7 // Water Air Soil Pollut. 2021. Vol. 232. Article No. 381.
6. О некоторых методических аспектах оценки нефтяного загрязнения водных объектов с учетом деградации нефтепродуктов во времени / З. А. Темердашев, Л. Ф. Павленко, И. Г. Корпакова и др. // Аналитика и контроль. 2016. Т. 20. № 3. С. 225–235.
7. Rojo F. Degradation of alkanes by bacteria. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2009.01948.x // Environ. Microbiol. 2009. Vol. 11. No. 10. P. 2477–2490.
8. Equation for predicting soil organic carbon using loss-on-ignition for north central U.S. soils / M. E. Konen, P. M. Jacobs, C. L. Burras et al. DOI: 10.2136/sssaj2002.1878 // Soil Sci. Soc. Am. J. 2002. Vol. 66. No. 6. P. 1878–1881.
9. Wang Q. R., Li Y. C., Wang Y. Optimizing the weight loss-on-ignition methodology to quantify organic and carbonate carbon of sediments from diverse sources. DOI: 10.1007/s10661-010-1454-z // Environ. Monit. Assess. 2011. Vol. 174. P. 241–257.
10. Wang X., Wang J., Zhang J. Comparison of three methods for organic and inorganic carbon in calcareous soils of northwestern China. DOI: 10.1371/journal.pone.0044334 // PLoS One. 2012. Vol. 7. No. 8. Article No. e44334.
11. Loss on ignition-based indices for evaluating organic matter characteristics of littoral sediments / N. Touch, T. Hibino, H. Takata, S. Yamaji. DOI: 10.1016/S1002-0160(17)60487-9 // Pedosphere. 2017. Vol. 27. No. 5. P. 978–984.
12. Игнатъев Ю. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Применение метода прокаливания для определения аллохтонных углеводов нефти в почвах // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 3. С. 34–37.
13. Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. DOI: 10.1023/A:1008119611481 // J. Paleolimnol. 2001. Vol. 25. P. 101–110.

ОСВЕТЛЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД ФИЛЬТРОВАНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛАУКОНИТСОДЕРЖАЩЕГО КВАРЦЕВОГО ПЕСКА

*О. В. Кичкайло, В. А. Янушковская, А. А. Анисько
Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь, kichkailo.olga@mail.ru*

В статье приведены исследования глауконитсодержащего кварцевого песка при использовании в качестве фильтрующей загрузки для очистки природных вод от взвешенных веществ. Определены основные характеристики разработанной зернистой загрузки, изучен процесс осветления воды фильтрованием.

Ключевые слова: фильтрование, осветление, глауконитсодержащий кварцевый песок, гранулометрический состав, эффективность очистки.

Безопасность водопользования и обеспечение населения чистой питьевой водой является важнейшим направлением социально-экономического развития государства. В современных условиях актуальным является создание новых материалов, обеспечивающих качественную очистку воды. Зернистая загрузка является основным рабочим элементом фильтровальных сооружений и обеспечивает эффективность их работы, а технические характеристики фильтрующего материала имеют первостепенное значение для нормальной эксплуатации фильтра.

Для осветления природных вод большой интерес в качестве фильтрующей загрузки представляют природные материалы, в частности, глауконитсодержащие кварцевые пески, основными достоинствами которых являются: невысокая стоимость, доступность, зернистая структура, хорошие фильтрационные свойства, а также экологическая и радиационная безопасность.

Глауконитсодержащие породы (пески, алевриты, алевролиты) распространены на юге Беларуси и имеют реальные перспективы использования в промышленном производстве республики [1].

В данной работе предметом исследования являются глауконитсодержащие вскрышные породы Новодворского месторождения базальтов и туфов Пинского района Брестской области, которые рассматриваются как потенциальное попутное сырье. Возможность получения зернистой фильтрующей загрузки исследована для пород средней литологической пачки, представленной глауконитсодержащими кварцевыми песками, мощность залегания которых достигает 15 м.

Глауконитсодержащие кварцевые пески разных месторождений значительно отличаются фракционным, химическим, минералогическим составом и сорбционными свойствами, что ограничивает возможность их применения в водоочистных системах и требует дополнительных исследований.

По данным белорусских геологов [2], исследуемая порода сложена среднезернистыми песками и на 96–98 мас. % состоит из кварца, сростков кварца со смектитами, слюдой и глауконитом (2–3 мас. %) с незначительной примесью полевого шпата (до 0,3 мас. %).

Для получения зернистой фильтрующей загрузки из глауконитсодержащего кварцевого песка выделена фракция размером более 0,25 мм, содержание которой в представленной пробе породы составило 58–60 мас. %. Затем проводилось отмывание материала от глинистой составляющей до прозрачности отходящей воды с последующей сушкой пробы.

Для исследуемой фильтрующей загрузки методом отсева на ситах с последующим определением выхода массы материала изучался гранулометрический состав, результаты которого приведены в таблице.

Таблица

Гранулометрический состав фильтрующей загрузки

| | | | | |
|--------------------------|----------|-------|---------|---------|
| Размер зерен, мм | 0,25–0,5 | 0,5–1 | 1–2 | > 2 |
| Содержание зерен, мас. % | 90–92 | 8–9 | 0,3–0,5 | 0,1–0,2 |

Как видно из данных таблицы, преобладающей фракцией материала является 0,25–0,5 мм, содержание которой составляет 90–92 мас. %.

Согласно требованиям ГОСТ Р 51641-2000 «Материалы фильтрующие зернистые» определено, что насыпная плотность фильтрующего зернистого материала до уплотнения составляет 1250 ± 20 кг/м³, после уплотнения – 1500 ± 20 кг/м³. Полученная загрузка характеризуется значительной плотностью – 2700 ± 20 кг/м³, что не позволит материалу ожидаться при обратной промывке или восходящем фильтровании.

С помощью гамма-радиометра РУГ-91-2 установлено, что содержание естественных радионуклидов в исследуемой пробе глауконитсодержащего кварцевого песка составляет 12–33 Бк/кг, что соответствует нормативному значению для строительных материалов 1 класса по эффективной удельной активности естественных радионуклидов (СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009»).

Морфологические характеристики зернистой загрузки на основе глауконитсодержащего кварцевого песка изучались на оптическом микроскопе Микромед 3 ЛЮМ в проходящем свете при увеличении в 40 раз (рис. 1).

Микроскопический анализ исследуемого образца визуально показывает, что основная масса породы состоит из зерен кварца преимущественно угловатой формы с изломанной поверхностью зерен. Такая форма зерен является предпочтительной, так как при этом фильтрующая загрузка характеризуется большей межзерновой пористостью и удельной поверхностью, а соответственно, и грязеемкостью, чем материалы с окатанной формой зерен, как у речного песка.

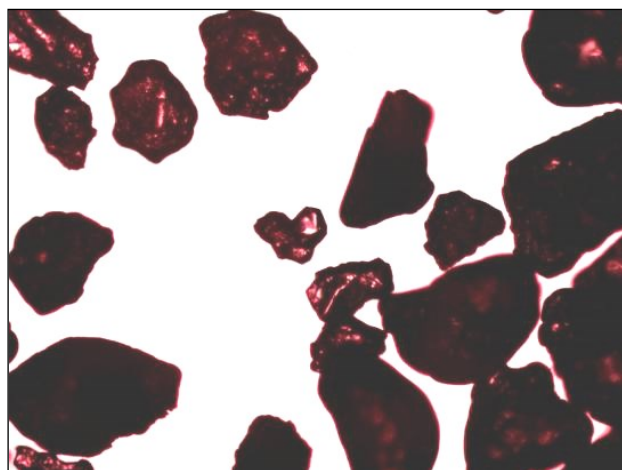


Рис. 1. Оптический снимок зерен фильтрующей загрузки ($\times 40$)

Проводилось изучение процесса осветления воды фильтрованием через слой полученного зернистого материала, при этом в качестве модельной использовалась взвесь каолина с концентрацией $2,0 \text{ г/дм}^3$. Фильтрование раствора осуществлялось на лабораторной установке в виде колонки из кварцевого стекла с внутренним диаметром 23 мм. Слой фильтрующей зернистой загрузки на основе глауконитсодержащего кварцевого песка составлял 50 см.

Для изучения эффективности очистки воды от взвешенных частиц проводилось определение оптической плотности исходной модельной воды до очистки и проб объемом по 25 см^3 после очистки. Измерение проводилось на спектрофотометре ПЭ-53600ВИ при длине волны 530 нм в кюветах с толщиной слоя 1 см. В качестве раствора сравнения использовалась бидистиллированная вода. Кроме этого, определялась скорость фильтрования исследуемого раствора по продолжительности прохождения отбираемых проб через слой загрузки. Слой осветляемой воды над фильтрующей загрузкой составлял 40 см.

Характеристика процесса осветления фильтрованием через слой зернистой загрузки представлена на рисунках 2 и 3.

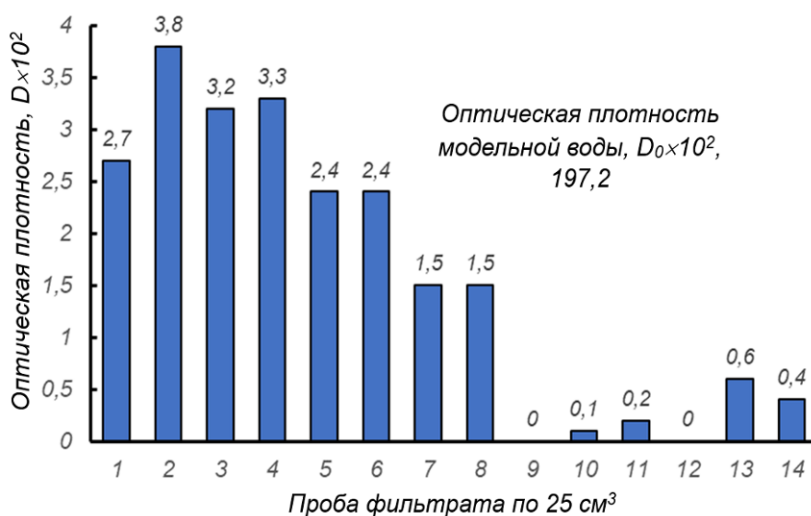


Рис. 2. Оптическая плотность, $D \times 10^2$, очищенной воды

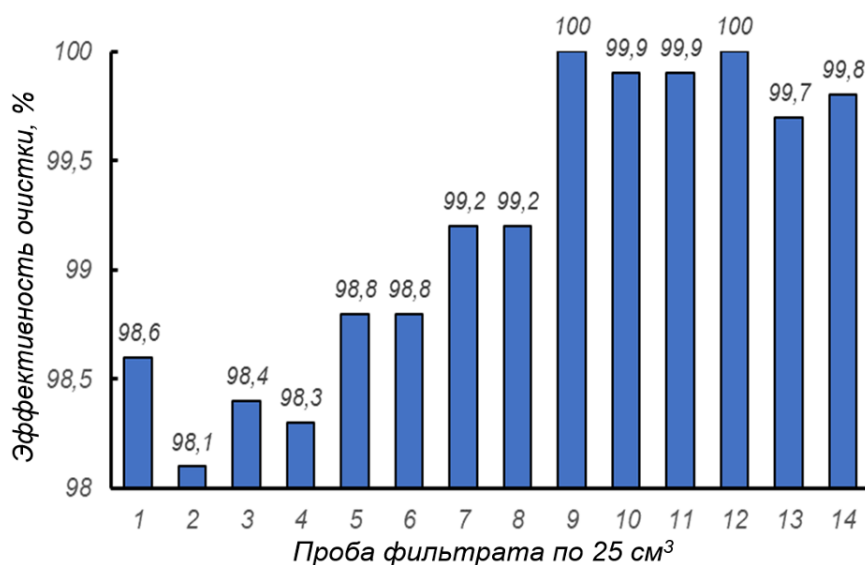


Рис. 3. Эффективность очистки от взвешенных веществ, %

Как видно из приведенных данных, достигаемая степень очистки воды от взвешенных веществ с применением разработанной загрузки составляет от 98,1 до 100 %, причем высокая эффективность процесса (98,6%) обеспечивается уже при фильтрации первой порции раствора объемом 25 см³.

При фильтровании наблюдается закономерное снижение скорости процесса с 0,167 до 0,012 см³/с, что связано с накоплением загрязнений в толщине загрузки, при этом уменьшается свободный объем пор и возрастает гидравлическое сопротивление загрузки, что приводит к росту потерь напора.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить возможность применения глауконитсодержащих кварцевых песков Новодворского месторождения в качестве зернистой фильтрующей загрузки. Материалы могут использоваться как в качестве основного, так и многослойного элемента слоя загрузки в напорных и безнапорных системах фильтрации.

Библиографический список

1. Глауконитсодержащая вскрышная порода – перспективное сырье для синтеза стекол различного назначения / С. Е. Баранцева, Ю. А. Климош, А. В. Поспелов и др. DOI: 10.29235/1561-8331-2023-59-2-169-176 // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. 2023. Т. 59. № 2. С. 169–176.
2. Глауконитсодержащие породы поискового участка Пинский (Беларусь) / О.Ф. Кузьменкова, Г. Д. Стрельцова, Т. М. Миненкова и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования : материалы Междунар. науч. конф., посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко. (г. Минск, 31 июля – 3 августа 2017 г.). Минск : СтройМедиа-Проект, 2017. С. 172–176.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕОЛИТ-КРЕМНИСТОЙ ПОРОДЫ ТАТАРСКО-ШАТРАШАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛЛАСТОНИТ И ДИОПСИД СОДЕРЖАЩИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

К. А. Мишагин¹, И. Д. Твердов², К. Р. Габдулхаев³, Е. М. Готлиб³

¹ НИЦ «Курчатовский Институт» – ВИАМ,
г. Москва, Россия, *mishagin_kirill@mail.ru*,

² АНО ВО «Университет Иннополис»,
г. Иннополис, Россия, *idtverdov@gmail.com*,

³ Казанский национальный исследовательский
технологический университет, г. Казань, Россия,
19gkraikido99@mail.ru, egotlib@yandex.ru

Татарско-Шатрашанское цеолитсодержащее месторождение, представляет большой интерес как источник аморфного кремнезема, который может использоваться для твердофазного синтеза волластонит и диопсид наполнителей с высоким содержанием целевых продуктов.

Ключевые слова: Татарско-Шатрашанское месторождение, цеолит-кремнистая порода, волластонит, диопсид, твердофазный синтез.

Татарско-Шатрашанское цеолитсодержащее месторождение, расположенное на юго-западе Республики Татарстан, представляет большой интерес как источник аморфного кремнезема [1], который может использоваться для синтеза волластонит и диопсид содержащих наполнителей [2, 3]. Кальцит, содержащийся в этой породе [1], может являться полезным компонентом, уменьшающим количество оксида кальция, необходимое для синтеза волластонита [2].

Рациональность практического использования цеолит кремнистой породы обусловлена ограниченностью в нашей стране коммерчески доступных природных волластонита и диопсида из-за трудоемкости их добычи и переработки [4].

Для синтеза были использованы следующие компоненты: кремнийсодержащий – цеолитсодержащая кремнистая порода (ЦПК) Татарско-Шатрашанского месторождения [5], кальцийсодержащий – кальцит (мука известняковая) (ГОСТ 14050-93) и кальций-магнийсодержащий – доломит (ГОСТ 23672-2020).

Компоненты смешивали в соотношениях 1:0,56 (кальцит:ЦПК), и 1:1 (доломит:ЦПК). Для увеличения площади контакта между частицами, а также роста скорости реакции, их подвергали совместному помолу в планетарной мельнице «Fritsch Pulverisette 5/2» в течение 5 минут при 200 об/мин.

Твердофазный синтез диопсида и волластонита проводился в муфельной печи «SNOL 1100/7,2» при температурах 1100 и 1175 °С соответственно.

Подъем до заданной температуры осуществлялся со скоростью 5 °С/мин, изотермическая выдержка шихты до сплавления компонентов составляла 3 ч [6]. Для снижения температуры синтеза [5] в качестве плавня использовалась борная кислота (ГОСТ 18704-78).

Для идентификации составов полученных образцов применялся метод рентгенографического количественного анализа (РКФА) с использованием многофункционального дифрактометра «Rigaku SmartLab» со следующими параметрами съёмки: угловой интервал 2θ – 3°–65°, шаг сканирования – 0,02, экспозиция – 1 секунда в точке.

Согласно данным РКФА (рис. 1), волластонит-содержащий наполнитель (СВ) содержит 81% в-волластонита, 9% кварца, по 4% тридимита и кристоболита (кристаллических диоксидов кремния) и 2% ларнита. Содержание у него целевого компонента-волластонита с игольчатой формой частиц примерно на уровне СВ, синтезированного на основе золы рисовой шелухи и природного силиката кальция [7].

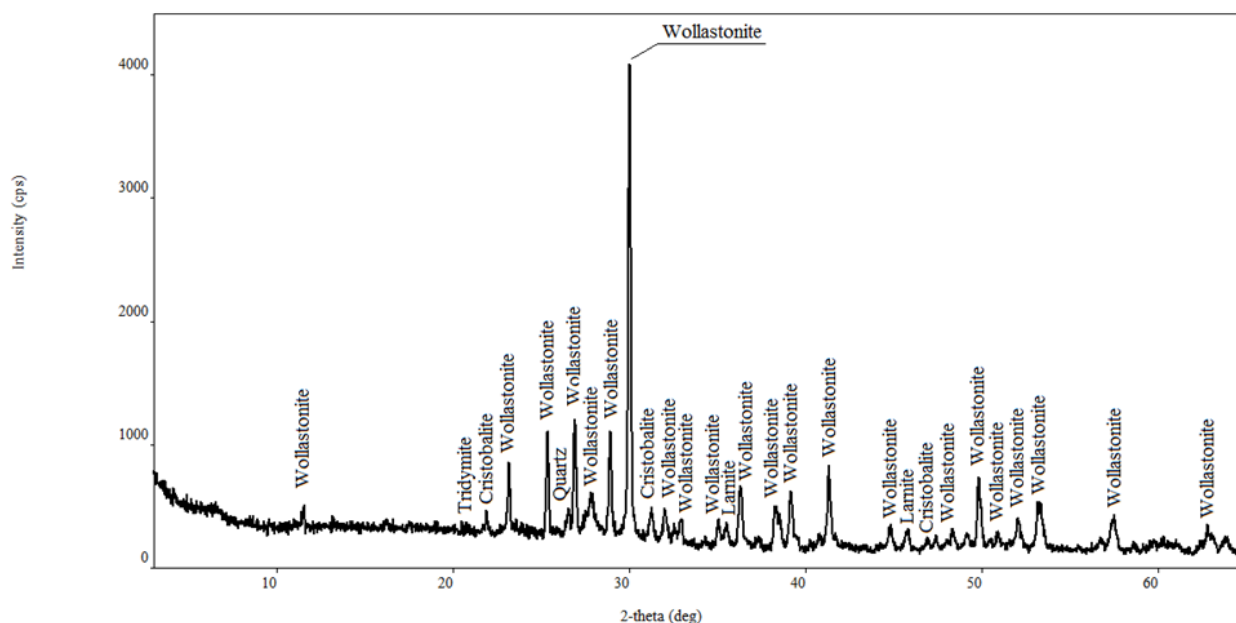


Рис. 1. РКФА-спектр волластонит-содержащего наполнителя (СВ)

Синтетический диопсид-содержащий наполнитель (СД) (рис. 2) на основе ЦКП имел следующий состав (%): диопсид – 65, акерманит – 33 и форстерит – 2.

Все компоненты синтезированного наполнителя содержат силикаты магния. Форстерит – ортосиликат магния (Mg_2SiO_4), акерманит ($Ca_2MgSi_2O_7$) и диопсид ($CaMgSi_2O_6$) – кальций-магниевые силикаты, которые отличаются только структурой кристаллической решетки.

По сравнению с наполнителем, полученным на основе золы рисовой шелухи [5], в состав которой входит 97% диопсида, содержание этого компонента в составе СД на основе ЦКП меньше и составляет 65%, что значительно выше, чем у природного диопсидового концентрата (8%) [8].

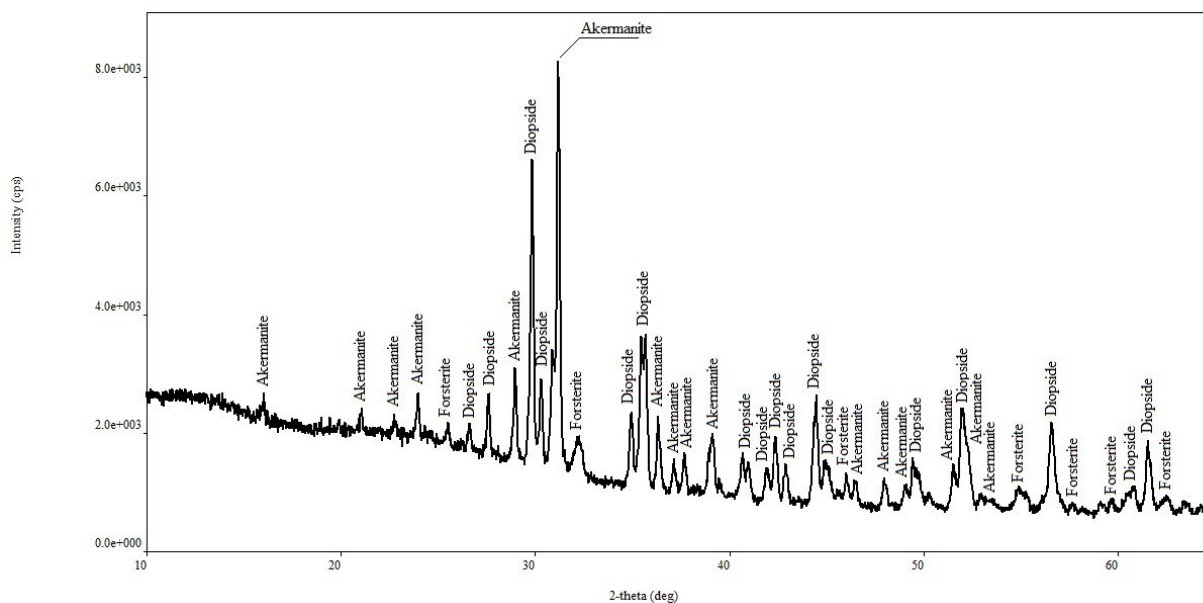


Рис. 2. РКФА-спектр диопсид-содержащего наполнителя (СД)

Использование отечественного местного минерального сырья – цеолит-кремнистой породы – перспективно для получения волластонит- и диопсид-содержащих наполнителей, так как обеспечивает довольно высокий выход целевых продуктов, на уровне или выше, чем у природных минералов. Кроме того расширяется сырьевая база доступных источников аморфного диоксида кремния.

Библиографический список

1. Цеолиты Татарско-Шатрашанского месторождения как носители модельного альбумина для перспективной адсорбции терапевтических белков / Р. Р. Исламова, Г. Ю. Яковлева, А. Н. Тюрин и др. // Записки Российского минералогического общества. 2022. № 1. С. 105–113.
2. Comparison of the properties of calcium silicates derived from different raw materials / K. Mishagin, E. Gotlib, E. Yamaleeva et al. DOI: 10.1051/e3sconf/202341001001 // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 410. Article No. 01001.
3. Synthesis and characterization of nano-wollastonite from rice husk ash and limestone / H. Ismail, R. Shamsudin, M. A. A. Hamid, A. Jalar. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.756.43 // Materials Science Forum. 2013. Vol. 756. No. 5. P. 43–47.
4. Исследование природного отечественного сырья для получения силикатных наполнителей / К. А. Мишагин, И. Д. Твердов, Е. М. Готлиб и др. DOI: 10.25699/SSSB.2022.43.3.008 // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 3. С. 67–73.
5. Пат. 2801146С1. РФ, МПК С04В 35/20 (2006.01), С01В 33/24 (2006.01). Способ получения диопсида : № 2801146 : заявл. 29.11.2022 : опубл. 02.08.2023 / Твердов И. Д., Галимов Э. Р., Готлиб Е. М., Ямалева Е. С. 10 с.
6. Получение волластонита из цеолитсодержащей породы методом твердофазного синтеза / К. А. Мишагин, Е. С. Ямалева, Е. М. Готлиб, А. И. Хацринов. DOI: 10.20914/2310-1202-2023-4-145-151 // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 145–151.
7. Готлиб Е. М., Ха Т. Н. Ф. Получение синтетического волластонита на основе рисовой шелухи // Вестник технол. ун-та. 2019. Т. 22. № 7. С. 42–46.
8. Диопсид как наполнитель эпоксидных полимеров / И. Д. Твердов, Е. М. Готлиб, Р. Ш. Нцуму, Е. С. Ямалева // Южно-Сибирский научный вестник. 2023. № 4. С. 11–15.

КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ КАПСУЛИРОВАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Ю. Н. Терентьев

*Уральский федеральный университет,
г. Екатеринбург, Россия, teryun@yandex.ru*

Предложена технологическая схема производства капсулированного удобрения с аминокислотами и гуматами. Основные компоненты капсулирующего состава – торф и отходы птицеводства (перо птицы). Все оборудование, необходимое для реализации соответствующей схемы, выпускается предприятиями, локализованными в РФ.

Ключевые слова: минеральные удобрения, капсулированные удобрения, торф, торфогель, перо птицы, технология производства удобрений.

Одним из перспективных направлений модифицирования серийных гранулированных минеральных удобрений является производство соответствующих агрохимикатов в капсулированной форме. Благодаря нанесению на поверхность гранул специального покрытия удастся решить такие проблемы, как регулирование выделения питательных веществ в почву, снижение экологической нагрузки на окружающую среду, уменьшение норм внесения удобрений, устранение опасности химического ожога корневой системы [1]. Поскольку масса капсулирующего покрытия может достигать 20–30% от массы собственно удобрения, очень важно подбирать состав этого покрытия таким образом, чтобы он оказывал положительное влияние не только на скорость растворения удобрения, но и на свойства и функции почвы, например, служил пищей для почвенной микробиоты, оказывающей положительное влияние на развитие растений и биодоступность макро- и микроэлементов [2].

Цель настоящей работы – разработать состав и технологию композиции для капсулирования гранулированных серийных минеральных NPKS-удобрений, содержащую комплекс соединений, оказывающих положительное влияние на плодородие почв и почвенную микробиоту.

В качестве сырьевых компонентов для капсулирующего состава предлагается использовать целлюлозу, лигнин, торф, гидролизованное перо птицы (отход выращивания бройлеров). Организация переработки торфа и органических отходов имеет большое практическое значение для развития экономики и обеспечения благоприятной экологической обстановки в регионе [3–5].

При выращивании бройлеров в отход в виде пера и пуха поступает около 5% от массы тушки птицы. Объемы производства мяса бройлеров в масштабах Кировской области достигают 30 тыс. тонн в год, при этом в год образуется 1,5 тыс. т пера. Перо на 80% состоит из кератина, который при щелочном гидролизе в растворе КОН можно перевести в аминокислоты. Низинный торф Кировской области при зольности 15% масс. содержит в органическом

веществе около 35% масс. гуминовых веществ [6]. Кавитационная обработка торфа с добавкой щелочи (2–4% от массы торфа) позволяет получать торфогель с массовой долей сухого остатка 25%. Образующиеся при этом гуматы и фульваты калия обладают свойствами ПАВ, способствующими переводу входящих в состав торфа битумов, целлюлозы и лигнина в форму геля. Торфогель обладает кроющей способностью по аналогии с лакокрасочными материалами (ЛКМ), поэтому композиция из целлюлозы, лигнина и битума торфа позволяет создавать водонерастворимую оболочку на поверхности гранул минеральных удобрений, при этом водорастворимые аминокислоты и гуминовые кислоты создают поверхностный коллоидный слой.

При обработке измельченного пера в 10–15%-ном растворе КОН в двухвальном смесителе при температуре 40–45 °С происходит обеззараживание отхода и щелочной гидролиз кератина до аминокислот. Далее образующаяся суспензия в другом двухвальном смесителе смешивается с просеянным и измельченным низинным торфом с влажностью 45–50% масс. до получения суспензии с содержанием сухого остатка не менее 25% масс. и общим содержанием КОН к торфу на сухое вещество не менее 2% масс. Оптимальное соотношение сухого вещества пера и сухого вещества торфа составляет 1:1. При этом достигается баланс между водорастворимыми и нерастворимыми в воде веществами, формирующими капсульную оболочку на поверхности гранул. Состав образующейся оболочки похож на состав ЛКМ: аналогами пленкообразователя и пигмента в этом составе выступают гуминовые вещества и аминокислоты, роль пластификатора играют целлюлоза, лигнин, битумы торфа, растворителем является вода. Требования к полученной композиции – способность растекаться и смачивать гранулу минерального удобрения, обладать высокой кроющей способностью, перекачиваться серийными винтовыми насосами. Если гомогенизация ЛКМ производится в диссольвере и бисерной мельнице, то в нашем случае получение торфогеля с аминокислотами проводится в динамическом кавитаторе. Оптимальное содержание сухого вещества при кавитации – 25% масс. или влажность 75% масс. позволяют получить торфогель с необходимыми технологическими свойствами. Однако гранулы минеральных удобрений в основной массе гигроскопичны, поэтому избыточное количество воды в капсулирующем агенте нежелательно. Кроме того наличие воды снижет массовую долю действующих веществ. Для обеспечения агрохимически значимой нормы поступления аминокислот и гуматов в почву при внесении 150–200 кг/га удобрений, масса капсулирующего агента должна составлять 10–20% от массы гранул. Исходя из этого, в технологический процесс вводится дополнительная стадия – упарка под вакуумом в ротационной вакуумной сушилке при температуре кипения воды 40–45 °С и вакууме – 0,7 атм. В рубашку вакуум-сушилки подается теплофикационная вода, а образующиеся пары воды отсасываются водокольцевым вакуум-насосом. В результате получается гель с содержанием воды 50% масс. Такой гель перекачивается перистальтическим насосом в бетономешалку со скоростью

вращения 20 об/мин, которая в нашем случае является аппаратом для дражжирования периодического действия.

Гранулы и упаренный гель подаются во вращающуюся чашу бетономешалки дозированно, при этом гранулы обволакиваются гелем и окатываются. После окончания дозирования компонентов, проводится контрольное доокатывание в течение 3–5 минут и выгрузка закапсулированных гранул на ленточный конвейер, по которому они перемещаются в сушильный барабан для удаления внесенной с гелем воды и получения твердой пленки при температуре гранул в сушильном барабане 40–45 °С.

Схема стадий и материальных потоков, предусматривающая получение не только капсулированного гранулированного удобрения, но и побочного продукта – жидкого органоминерального удобрения на основе карбамид-аммиачных смесей с гуматами и аминокислотами для обработки по листу, приведена на рисунке.

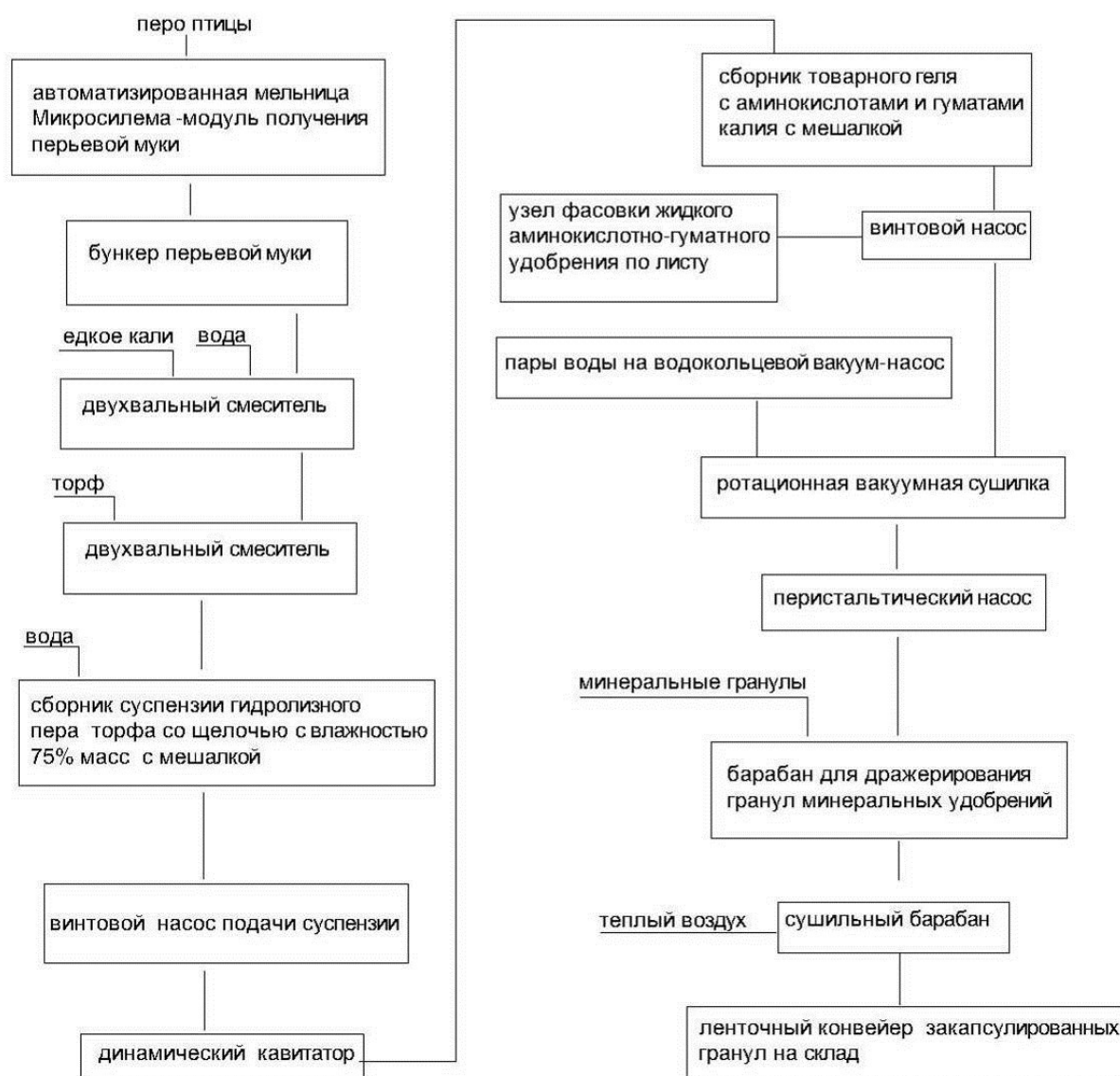


Рис. Схема стадий и материальных потоков

Все оборудование, необходимое для реализации соответствующей схемы, выпускается предприятиями, локализованными в РФ.

Если принять, что масса отходов пера птицы в Кировской области составляет 1500 т/год, то при массовой доле капсулирующего агента 10% от массы гранулы и соотношении перо:торф = 1:1 можно оценить объемы производства соответствующего удобрения в области:

$$(1500 + 1500) : 0,1 = 30000(\text{т/год})$$

Для производства 30 тыс. т капсулированных удобрений при времени работы 7200 часов, производительность составит 4,2 т/час. Указанные цифры говорят о том, что побочное производство капсулированных гранул для цеха сложных минеральных удобрений ЗМУ при мощности корпуса 300 тыс. т/год вполне реально и осуществимо. Содержание в гранулах аминокислот составит 3–3,5% масс, а гуминовых веществ 1–1,2% масс. Снижение на 10% доли макроэлементов в составе удобрений компенсируется органическим лабильным гумусом, вносимым с пером птицы и торфом.

Таким образом, на отечественном оборудовании и региональных сырьевых ресурсах (торф и перо птицы) может быть реализована схема получения биомодифицированного удобрения. Предлагаемая технология представляет собой альтернативу западным технологиям, в частности, технологии словацкой фирмы Рокосан по производству препарата Рокогумин [7]. Внедрение импортозамещающих технологий позволит повысить плодородие почв и снизить экологическую нагрузку по отходам от птицеводства.

Библиографический список

1. Липин А. Г., Небукин В. О., Липин А. А. Капсулирование гранул в полимерные оболочки как метод создания минеральных удобрений с регулируемой скоростью высвобождения питательных веществ // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2017. № 3 (51). С. 86–91.
2. Трансформация почвенной альгоцианофлоры под влиянием фосфоритов Верхнекамских бедных / Л. В. Кондакова, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, И. А. Кондакова. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-4-184-190 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 4. С. 184–190.
3. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Моделирование углеродного баланса полигонов твёрдых коммунальных отходов. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-198-204 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 198–204.
4. Производство биоорганических 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
5. Состав и технология производства серного удобрения с активированным торфом и глауконитовым эфелем / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-134-141 // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 134–141.
6. Десятков И. А., Сырчина Н. В. Торфа кировской области и перспективы их применения в сельском хозяйстве // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XV Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2020. С. 43–48.

7. ROKOHUMIN – univerzálne kvapalné organicko-minerálne hnojivo s obsahom humínových kyselín a aminokyselín [Электронный ресурс] – URL: <https://www.rokosan.com/sk/produktove-rady/rokohumin> (дата обращения: 05.03.2024).

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАРБАМИДО-ФОРМАЛЬДЕГИДНОГО УДОБРЕНИЯ В ВЕГЕТАЦИОННЫХ ОПЫТАХ С КОРМОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ

Р. Х. Хузиахметов¹, С. Н. Иванов², К. В. Виноградов³, А. И. Сабирова¹
*¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, Россия, gafiat2013@mail.ru, alsu.sabirova@mail.ru,
² ООО «Метадинеа» («Метафракс Групп»),
г. Орехово-Зуево, Россия, sergey.ivanov@metadynea.ru,
³ «Метафракс Кемикалс» («Метафракс Групп»),
г. Губаха, Россия, kirill.vinogradov@metafrax.ru*

Представлены результаты вегетационных опытов по оценке влияния пролонгированного карбамидо-формальдегидного удобрения (КФУ) на выход зеленой массы кормовых культур. Показано, что при внесении 1 дозы азота с КФУ выход зеленой массы суданской травы возрастает на 18% (относительно карбамида), рапса – на 24% (значительно выше прибавки зеленой массы от внесения 1,5 доз карбамида).

Ключевые слова: карбамид, формалин, карбамидо-формальдегидное удобрение (КФУ), технология, кормовые культуры, выход зеленой массы.

Важную роль для получения высоких урожаев, наряду с климатическими условиями, играет применение минеральных удобрений. В случае азотных удобрений, эффективность их применения зависит не только от количества азота, но и его формы (аммонийный N–NH₄; нитратный N–NO₃; амидный N–NH₂) [1]. В полевых опытах установлено, что при длительном применении разных форм азотных удобрений (в течение 45 лет), растения усваивают непосредственно из удобрений лишь 30–50% азота [2]. Отмечается, что яровая пшеница и однолетние травы примерно одинаково усваивают все формы азота, ячмень отдает предпочтение N–NH₄ и N–NO₃-формам, а картофель практически использует лишь нитратный азот.

Одним из способов увеличения коэффициента использования азота основных видов азотных удобрений (аммиачной селитры – АС, карбамида – Кмд) является капсулирование гранул малорастворимыми соединениями (полимерами, биоразлагаемыми полимерами, серой, преципитатом и т. д.) [3]. Технология медленно растворимого КФУ (продукта взаимодействия карбамида с формальдегидом), была разработана еще в 70–80-х годах XX века [4]. В опытах с хлопчатником при орошаемом земледелии показана его высокая агрохимическая эффективность. В последнее время разработаны аналогичные

технологии КФУ с использованием карбамидоформальдегидного концентрата [5], однако какие-либо данные об агрохимической эффективности этого удобрения не приводятся.

Промышленное производство КФУ в России отсутствует. Одной из основных причин этого является отсутствие достоверных данных об агрохимической эффективности соответствующего удобрения.

В опубликованных нами ранее работах агрохимическая эффективность КФУ была оценена в течение 2 лет на малообеспеченной азотом серой лесной почве учебного хозяйства Казанского аграрного университета (КГАУ) в климатических условиях Предкамья Республики Татарстан [6]. Однако следует подчеркнуть, что в полевых исследованиях урожай определяется, в первую очередь, погодными условиями. С учетом вышесказанного, для оценки потенциальной агрохимической эффективности разрабатываемых новых удобрений следует предварительно проводить вегетационные опыты в тепличных условиях, в которых имеется возможность обеспечить оптимальный для каждой культуры водный и тепловой режим.

Целью данной работы является оценка агрохимической эффективности КФУ с регулируемой скоростью растворения в вегетационных опытах с различными кормовыми культурами.

Образцы КФУ получали путем смешения раствора карбамида с формалином (формальдегид – Фгд = 37%) при соотношении «Кмд:Фгд» = 1:(0,1–0,5) моль в присутствии небольшой добавки HNO_3 в качестве катализатора (до $\text{pH} = 2\text{--}4$). Смесь нагревали, выдерживали для удаления избыточной свободной влаги, а образовавшуюся густую массу гранулировали экструзией в процессе ее твердения. Основные физико-механические свойства определяли стандартными методами (методика проведения опытов и анализа полученных удобрений подробно описана нами в работе [6]).

Основными критериями качества КФУ являются: содержание азота (не менее 35–40%) и «индекс усвояемости» (не менее 70%).

При соотношениях Кмд:Фгд = 10:2 моль КФУ представляет собой смесь карбамида преимущественно с метилendigкарбамидом (МДК – $\text{N}_4\text{H}_8\text{C}_3\text{O}_2$, растворимость $P = 1,3$ г/100 г воды), образующимся при Кмд:Фгд = 2:1 моль



Однако при этом возможно также образование нерастворимого диметилентрикарбамида (ДМТК – $\text{N}_6\text{H}_{12}\text{C}_5\text{O}_3$, $\text{N} = 41,2\%$) и триметилентетракарбамида (ТМТК – $\text{N}_8\text{H}_{16}\text{C}_7\text{O}_4$, $\text{N} = 40,6\%$) по реакциям 1 и 2:



Таким образом, состав КФУ получается достаточно сложным и зависящим не только от соотношения Кмд:Фгд, но и от величины pH . По данным [4] даже в небольшом интервале изменения $\text{pH} = 6\text{--}7$, конечный продукт, полученный, например, при Кмд:Фгд = 2,5:1 моль, может содержать значительное количество всех указанных выше соединений:

pH= 6, Кмд:МДК:ДМТК:ТМТК = 34%:31%:27%:5% = 1:0,91:0,79:0,15 мас.

pH=7, Кмд:МДК:ДМТК:ТМТК = 32%:40%:22%:4% = 1:1,25:0,69:0,13 мас.

При стехиометрическом соотношении Кмд:Фгд = 1:1 моль конечным продуктом реакции является хорошо растворимый в воде монометилолкарбамид – ММК (N = 31,1%, растворимость P = 40 г/100 г воды; уравнение 3):



Однако из-за относительно малого содержания азота в ММК при получении КФУ придерживаются соотношения Кмд:Фгд = 1:0,1–0,5 моль (табл. 1).

Таблица 1

Расчетный состав КФУ при различных соотношениях Кмд:Фгд

| Образцы КФУ | Кмд:Фгд, моль | Состав КФУ, % | | Элементы питания | |
|-------------|---------------|---------------|-------|------------------|--|
| | | карбамид | МДК | сумма N | N _(МДК) :N _(Кмд) |
| КФУ-0,2 | 1:0,2 | 56,8 | 42 | 44,6 | 17,8%:26,7% / (0,67:1 мас.) |
| КФУ-0,25 | 1:0,25 | 46,82 | 52,03 | 44,15 | 22,1%:22,1% / (1:1 мас.) |
| КФУ-0,3 | 1:0,3 | 37 | 61,85 | 43,74 | 26,2%:17,5% / (1,5:1 мас.) |
| КФУ-0,4 | 1:0,4 | 17,9 | 80,95 | 42,93 | 34,34%:8,59% / (4:1 мас.) |
| КФУ-0,5 | 1:0,5 | 0 | 99,35 | 42,15 | 42,15%:0% / (-) |

Примечание: N (МДК) – азот метилендикарбамида, N (Кмд) – азот карбамида.

Как видно, общее содержание азота в КФУ (N = 42–44%) лишь незначительно меньше по сравнению с карбамидом (т. к. при взаимодействии сырьевых компонентов образуется вода, которая испаряется при сушке). Однако экспериментальные данные по содержанию азота обычно отличаются от теоретических (из-за наличия различных указанных выше соединений) [4, 7].

На практике качество КФУ оценивают по величине «индекса усвояемости» (ИУ, %) по экспериментальным данным общего азота (с учетом содержания азота, растворимого в воде при 20 °С и 100 °С):

$$\text{ИУ} = (\text{N}_{100} - \text{N}_{20}) / (\text{N}_{\text{общ.}} - \text{N}_{20}) \cdot 100, \%$$

где N_{общ.} – общий азот, %; N₂₀ – азот, водорастворимый при 20 °С (карбамид); N₁₀₀ – азот, водорастворимый при кипячении (МДК и другие соединения).

В наших опытах для КФУ, полученного при Кмд:Фгд = 1:0,15 моль, величина ИУ достигла 81% (при Кмд:Фгд = 1:0,3 моль, ИУ = 55%). По данным [4], максимальный ИУ образца КФУ с общим содержанием N_{общ.} = 39,7% (полученного при pH = 4,1) был равен 74,5%.

Как отмечалось выше, в полевых опытах, проведенных нами ранее с суданской травой на полях учхоза КГАУ в течение 2 лет (значительно отличающихся погодными условиями), было показано, что выход зеленой массы при внесении КФУ возрастает на 10–19% относительно карбамида (при этом подсев ярового рапса обеспечил примерно такую же прибавку зеленой массы смеси – 5–13%) [6]. Следует обратить внимание на то, что в сравнительных опытах с АС, внесенной в количестве 1 и 1,5 доз, прибавка зеленой массы была выше лишь на 3–10% (вероятно, при этом значительную роль сыграли погодные условия).

С целью устранения влияния погодного фактора на развитие растений нами были проведены вегетационные опыты в тепличных условиях (с обеспечением оптимальной температуры воздуха и влажности почвы). Почва была отобрана также с опытных полей КГАУ (темно-серая лесная среднесуглинистая почва; гумус – 4,2%; рН = 5,6; N ~ 72 мг/кг, P₂O₅ ~ 160 мг/кг, K₂O ~ 100 мг/кг). Опыты проводили в сосудах емкостью 7 л (масса почвы – 6 кг) с внесением азотных удобрений (1 доза и 1,5 дозы азота или N = 150–225 мг/кг почвы), а также комплексного NPK-удобрения (табл. 2).

Таблица 2

Влияние КФУ на выход суданской травы и рапса

в вегетационных опытах (числитель – сырая масса, знаменатель – сухая)

| Вариант (удобрение) | m(УД), г | Суданская трава (сорт «Аида»), г/сосуд | | | 2 укос 1 укос | Рапс (сорт «Герос»), г/сосуд | | | 2 укос 1 укос |
|------------------------------------|-------------|---|--------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------|
| | | 1 укос | 2 укос | сумма | | 1 укос | 2 укос | сумма | |
| 1. Контроль | 0 | <u>39</u> 6,7 | <u>13,0</u> 3,2 | <u>51 (-77%)</u> 9,9 (-81%) | <u>0,33</u> 0,47 | <u>27</u> 5,4 | <u>2,0</u> 0,3 | <u>28 (-83%)</u> 5,7 (-78%) | <u>0,07</u> 0,06 |
| 2. АС (N ₁₅₀) | 4,4 | <u>153</u> 36,2 | <u>142</u> 35,4 | <u>294 (+34%)</u> 71,6 (+40%) | <u>0,93</u> 0,97 | <u>161</u> 24,6 | <u>18</u> 2,7 | <u>179 (+6%)</u> 27,3 (+6 %) | <u>0,11</u> 0,11 |
| 3. АС (N ₂₂₅) | 6,6 | <u>162</u> 40 | <u>140</u> 35 | <u>302 (+38%)</u> 75 (+47%) | <u>0,86</u> 0,87 | <u>187</u> 24,8 | <u>49</u> 6,8 | <u>236 (+40%)</u> 31,6 (+22%) | <u>0,26</u> 0,27 |
| 4. Кмд (N ₁₅₀) | 3,3 | <u>144</u> 31,6 | <u>76</u> 19,5 | <u>219 (±0%)</u> 51 (±0%) | <u>0,53</u> 0,62 | <u>157</u> 24 | <u>12</u> 1,8 | <u>169 (+0%)</u> 25,8 (+0%) | <u>0,08</u> 0,08 |
| 5. Кмд (N ₂₂₅) | 5 | <u>156</u> 34 | <u>122</u> 25 | <u>278 (+27%)</u> 59,3 (+16%) | <u>0,78</u> 0,74 | <u>160</u> 23 | <u>26</u> 3,8 | <u>186 (+10%)</u> 26,9 (+4%) | <u>0,16</u> 0,17 |
| 6. КФУ-0,15 (N ₁₅₀) | 3,6 | <u>140</u> 33 | <u>118</u> 27 | <u>258 (+18%)</u> 59,5 (+17%) | <u>0,84</u> 0,82 | <u>159</u> 23,7 | <u>19</u> 2,8 | <u>177 (+5%)</u> 26,5 (+3%) | <u>0,12</u> 0,12 |
| 7. КФУ-0,3 (N ₁₅₀) | 3,7 | <u>131</u> 32 | <u>105</u> 29 | <u>236 (+7%)</u> 61 (+19%) | <u>0,80</u> 0,91 | <u>190</u> 29 | <u>20</u> 2,9 | <u>210 (+24%)</u> 31,9 (+24%) | <u>0,11</u> 0,10 |
| 8. NPK (10:10:10) | 13,6 | <u>214</u> 48 | <u>107</u> 31 | <u>322(+47%)</u> 79(+55%) | <u>0,50</u> 0,64 | <u>202</u> 29 | <u>30</u> 4,3 | <u>232 (+37%)</u> 33,3 (+29%) | <u>0,15</u> 0,15 |

Известно, что при возделывании кормовых культур в первую очередь необходимы азот и калий (средний биологический вынос N:P₂O₅:K₂O = (25–30):(5–6):(13–22) кг/т = (5–6):1:(3–5) мас. [1]. Расчеты показывают, что при внесении 1 дозы NPK их соотношение меняется следующим образом:

$$\text{исходное} \quad 1 \text{ доза N} \quad 1 \text{ доза K}_2\text{O} \quad 1 \text{ доза P}_2\text{O}_5 \\ \text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 0,45:1:0,63 \rightarrow \mathbf{1,39:1:0,63} \rightarrow \mathbf{1,39:1:1,25} \rightarrow 0,85:1:0,77;$$

Видно, что внесение 1 дозы азота и 1 дозы K₂O лишь незначительно смещает соотношение N:P₂O₅:K₂O в оптимальную область (можно ожидать прибавки массы, в первую очередь, от внесения азотных и калийных удобрений).

Как и ожидалось, при возделывании кормовых культур использование аммиачной селитры, по сравнению с карбамидом, более эффективно (благодаря наличию N–NO₃ и N–NH₄-форм азота). Из таблицы 2 видно, что при внесении 1 дозы и 1,5 доз АС выход зеленой массы суданской травы (по сравнению с полевыми опытами [6]), значительно выше, на 34% и 38%, соответ-

ственно (вероятно, благодаря отсутствию вымывания азотных удобрений из сосудов).

При внесении 1 дозы КФУ выход зеленой массы суданской травы, по сравнению с карбамидом, значительно выше (максимум 18% при внесении КФУ-0,15), а относительно малый выход зеленой массы в случае КФУ-0,3 (прибавка 7%) можно объяснить малой величиной индекса усвояемости.

В опытах с рапсом при внесении 1 дозы и 1,5 доз АС выход зеленой массы увеличился на 6% и 40%, соответственно. Внесение 1 дозы образцов КФУ-0,15 и КФУ-0,3 способствовало увеличению выхода зеленой массы рапса на 5% и 24%, соответственно (это значительно выше прибавки зеленой массы от внесения 1,5 доз карбамида).

Следует подчеркнуть, что КФУ позволяет увеличить выход зеленой массы во 2 укосе. В случае суданской травы соотношение «2 укос:1 укос» при внесении карбамида и КФУ равно 0,08 и 0,12, соответственно, а при возделывании рапса эти величины равны 0,53 и 0,84.

Как и предполагали, внесение комплексного калийсодержащего удобрения (NPK = 10:10:10) способствовало еще более высокому выходу зеленой массы (в опытах с суданской травой – +47%, с рапсом – +37%), однако следует учесть, что расход удобрений при этом значительно возрастает (в 3,5 и 4 раза относительно КФУ и карбамида, соответственно).

На основе проведенных исследований можно делать следующие выводы.

1. Пролонгированные КФУ на серой лесной почве способствуют увеличению выхода зеленой массы суданской травы на 7–18% (относительно карбамида), рапса – на 5–24% (благодаря некоторой оптимизации соотношения $N:P_2O_5:K_2O = 1,39:1:0,63$ мас.).

2. Дополнительное внесение калия (в составе комплексного NPK-удобрения) способствует увеличению выхода зеленой массы суданской травы и рапса (на 47% и 37%, соответственно), однако расход удобрения при этом значительно возрастает (в 3,5–4 раза относительно КФУ и карбамида).

3. КФУ способствует увеличению зеленой массы во 2 укосе, что позволяет обеспечивать равномерность работы «зеленого конвейера» в осенний период.

Библиографический список

1. Кореньков Д. А. Агрохимические аспекты применения азотных удобрений. М. : Наука, 1999. 296 с.

2. Фадькин Г. Н. Коэффициент использования азота удобрений в зависимости от длительности их применения на серой лесной тяжелосуглинистой почве // Вестник Алтайского гос. аграрного университета. 2014. № 3. С. 10–13.

3. Пат. 2 776 275. РФ, МПК C05C02 9/02 (2006.01). Способ получения удобрений с замедленным и контролируемым высвобождением питательных веществ : № 2021126117: заявл. 202.09.2021: опубл. 15.07.2022 / Норов А. М., Пагалешкин Д. А., Федотов П. М. и др. 8 с.

4. Синолиций В. Г. Разработка безотходной технологии мочевиноформальдегидного удобрения : спец. 05.17.01 : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ташкент, 1985. 18 с.

5. Пат. 2 805 182. РФ, МПК C05C02 9/02 (2006.01). Способ получения комплексного азотного удобрения пролонгированного действия : № 2023101385: заявл. 23.01.2023: опубл. 11.10.2023 / Афанасьев С. В., Шабалинский А. А. 6 с.

6. Влияние весеннего подсева ярового рапса и азотных удобрений на продуктивность сорговых культур / А. М. Сабиров, Г. Г. Хабибуллин, М. М. Нафиков, Р. Х. Хузиахметов // Агрехимический вестник. 2007. № 4. С. 13–17.

7. Афанасьев С. В., Махлай С. В. Карбамидоформальдегидный концентрат. Технология. Переработка. Самара : СНЦ РАН, 2012. 298 с.

ОБОСНОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕИМУЩЕСТВ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ В КАРЬЕРАХ

С. Л. Кузьмин, Р. Ж. Искаков

*Рудненский индустриальный университет,
г. Рудный, Республика Казахстан, decan_2008@mail.ru*

В статье предлагается новая технология контейнерной перевозки горных пород в контейнерах без строительства в карьере транспортных коммуникаций и обладающей технологическими и энергосберегающими преимуществами. Главная особенность предлагаемой технологии заключается в том, что она не оказывает сильного экологического воздействия на природу региона.

Ключевые слова: контейнерная технология, глубокий карьер, экология, экономическая эффективность.

В современных условиях становится все более актуальной необходимость эффективного и экологически безопасного освоения и управления недропользованием. В результате научно-технической революции многократно увеличилось неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Ведущую роль в этом играют открытые горные работы – один из основных источников загрязнения окружающей среды [1].

Пылеобразование, загазованность атмосферы карьера, изъятие земель под внешние отвалы пустых пород зависят в большой степени от технологии транспортирования горной массы, являющейся фактором, определяющим эффективность и экономичность открытых горных работ. На доставку горной массы до отвалов или бункеров обогатительных фабрик приходится основная доля энергозатрат на разработку. Не имеет окончательного технологического решения проблема транспортного обеспечения нижних горизонтов глубоких карьеров, тогда как основная доля транспортных затрат приходится на цикл подъема горной массы.

Значительные транспортные проблемы имеются на предприятиях, обрабатывающих месторождения, залегающие в рыхлых и обводненных породах. Низкая несущая способность пород, сложные дорожные условия приводят к тому, что себестоимость транспортных работ при этом вдвое превышает средние значения на других карьерах. По совокупности обозначенных горно-технологических проблем в условиях критически возросшего техногенного прессинга на окружающую среду и острой конкуренции на внешнем рынке становится весьма актуальным создание энергосберегающей и экологически безопасной технологии открытых горных работ.

Основной проблемой глубоких карьеров является транспортная проблема. Современные тенденции развития традиционных технологий транспортировки приводят к сокращению запасов ископаемых руд, увеличению удельных затрат на 1 т-км автомобильных перевозок, росту загрязнения атмосферы и снижению производственных мощностей карьера.

Для внедрения на открытых горных работах предлагается контейнерная технология транспортировки горной массы, которая позволит повысить показатели открытых горных работ по экономии энергоресурсов и сохранению окружающей среды на качественно новом уровне.

Эта технология включает следующее [2].

1. Одноразовое разрыхление породы во время загрузки контейнера, которое снижает потребление энергии.

2. Доставка горной массы путем транспортировки сборного узла контейнера к месту подъема осуществляется на минимальные горизонтальные расстояния дороги, что приводит к уменьшению необходимого парка транспортных средств, удельного расхода топлива, шин и выброса вредных газов в атмосферу.

3. Коэффициент тары транспортного контейнера (0,25–0,30) значительно меньше коэффициента автомобильного кузова (0,70–0,80) или железнодорожного транспорта (0,80–0,82), поэтому удельная стоимость энергии для перемещения массы горных пород в контейнерном подъеме уменьшается в 1,4 раза.

4. Комплекс контейнерных подъемных машин является мобильным, что позволяет перейти на новое место при производстве взрывных работ или другой уступ в карьере с последовательной разработкой карьеров. Увеличиваются возможности регулирования и поддержания режима оптимальных горных работ.

5. Потребность в дополнительном энергоемком измельчении горной массы устраняется в отличие от технологических схем с использованием конвейерных лифтов.

6. Контейнерная доставка вскрышных пород при использовании карьерной подъемной машины во время ликвидации карьера сократит необходимый земельный участок и образует компактную высоту с минимальным подъемом горной породы.

Главная особенность предлагаемой технологии заключается в том, что все оборудование для контейнерных перевозок не сложно в изготовлении и может быть произведено на горнодобывающих предприятиях. В качестве подъемных машин могут быть использованы шагающие карьерные экскаваторы.

В соответствии с основной технологической схемой карьера подъемные контейнеры устанавливаются на уступах карьера для поднятия контейнеров с нижних уступов вверх (рис.). На промежуточных платформах осуществляется очистка загруженных и пустых контейнеров. После подъема на уступы, где работает железнодорожный транспорт, производится выгрузка контейнера непосредственно в вагоны.

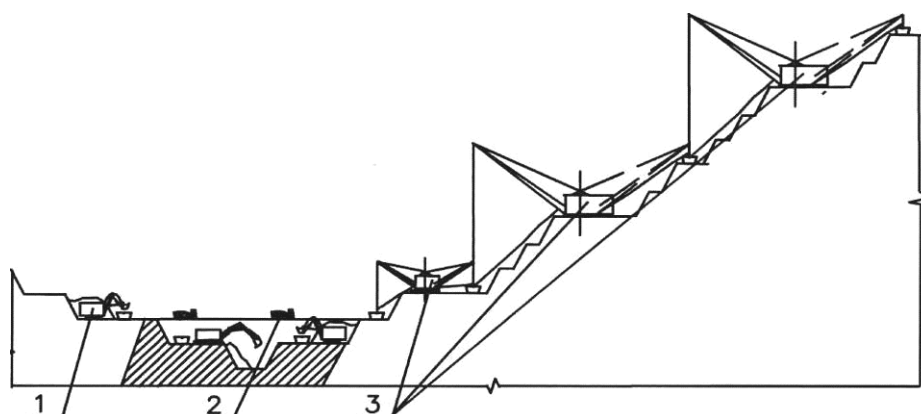


Рис. Схема энергосберегающей контейнерной технологии на открытых горных работах. 1 – загрузка горной массы экскаватором в контейнеры; 2 – доставка авто контейнерными носителями до места подъема на уступах; 3 – увеличение высоты подъема горных пород в контейнерах с помощью подъемных установок

Одна подъемная машина при подъеме обслуживает два уступа. Подъемная машина располагается на площадке нижнего уступа за пределами призмы возможного обрушения. Контейнер доставляется контейнеровозом к нижней бровке нижнего уступа, подъемная машина перемещает контейнер на площадку верхнего уступа, откуда через обменный пункт контейнер подается под следующую подъемную машину.

Контейнерный подъемный комплекс может стать альтернативным вариантом решения острой проблемы современных карьеров по вскрытию глубоких горизонтов, хотя он может быть применен на любой стадии разработки карьера.

Внедрение данной технологии на Сарбайском карьере АО ССГПО уменьшит количество самосвалов на 10 штук, и также на 2 штуки сократится количество бульдозеров.

Количество воздуха, которым осуществляется проветривание карьер при рециркуляционной схеме $Q_{в}$, m^3/c , рассчитывается по формуле 1:

$$Q = K \cdot h_c \cdot U_v \cdot L, \quad (1)$$

где K – коэффициент замедления воздушного потока при переходе к верхней бровке подветренного борта, $K = 0,9$, согласно [3]; L – размер карьера по поверхности по направлению перпендикулярному направлению ветра; h_c – толщина свободной воздушной струи над верхней бровкой подветренного борта карьера, м; U_v – скорость ветра, м/с.

Толщина свободной воздушной струи над верхней бровкой подветренного борта Сарбайского карьера рассчитывается по формуле 2:

$$h_c = H \left[\frac{4,6}{(\alpha - 20)^2 + 20} + 0,046 \right] \quad (2)$$

где H – глубина Сарбайского карьера, 500 м; α – угол наклона подветренного борта карьера, град $\alpha = 32^\circ$.

Результаты расчетов:

$$h_c = 500 \left[\frac{4,6}{(32 - 20)^2 + 20} + 0,046 \right] = 37,0 \text{ м}$$

$$Q = 0,9 \cdot 37 \cdot 4,4 \cdot 3800 = 556776 \text{ м}^3$$

Интенсивность выделения пыли и газов J , мг/с, определяется по формуле 3:

$$J = K_n \cdot K_r (1 - K_{эф}) \cdot F_i \cdot P_i \cdot m, \quad (3)$$

где K_n – коэффициент неучтенных источников, $K_n = 1,1$, [3]; K_r – коэффициент времени года, для теплого времени года $K_r = 1$ [4]; $K_{эф}$ – коэффициент эффективности подавления пыли и газов по видам оборудования; F_i – интенсивность выделения пыли и газов при работе одного источника, мг/с; P_i – коэффициент одновременности работы однотипных механизмов [4].

Результаты расчетов для других видов оборудования сводим в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты расчетов интенсивности выделения пыли

| Вид оборудования | m_i , шт | F_i , мг/с | J , мг/с |
|------------------|------------|--------------|------------|
| Экскаваторы | 3 | 400 | 1668 |
| Автосамосвалы | 12 | 12000 | 6336 |
| Бульдозеры | 1 | 2000 | 352 |
| Всего | | | 8356 |

Аналогичный расчет проводится по интенсивности выделения газов разными источниками, работающими в карьере при контейнерной технологии. Результаты расчета сводятся в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты расчетов интенсивности выделения газов в карьере

| Газ | Норма ПДК % | Вид оборудования | m _i , шт | F _i , мг/с | J, мг/с | Σ |
|-------------------------------|-------------|------------------|---------------------|-----------------------|---------|------|
| СО | 20 | Автосамосвалы | 12 | 1150 | 100 | 452 |
| | | Бульдозеры | 1 | 1000 | 352 | |
| N ₂ O ₅ | 5 | Автосамосвалы | 12 | 1305 | 116 | 503 |
| | | Бульдозеры | 1 | 1100 | 387 | |
| Акролеин | 0,7 | Автосамосвалы | 12 | 6 | 0,52 | 2,28 |
| | | Бульдозеры | 1 | 5 | 1,76 | |

Начальная концентрация пыли и газов в атмосфере карьера, С, мг/м³, определяется по формуле 4:

$$C = \frac{\sum J}{Q \cdot K_y}, \quad (4)$$

где K_y – коэффициент, учитывающий уменьшение концентрации пыли и газов в верхних слоях атмосферы карьера, принимается K_y = 0,5–0,8 [4].

Начальная концентрация пыли, С_п, мг/м³:

$$C_p = \frac{8356}{556776 \cdot 0,8} = 0,018$$

Начальная концентрация газа СО, С_{СО}, мг/м³

$$C_{CO} = \frac{452}{556776 \cdot 0,8} = 0,001$$

Начальная концентрация газа N₂O₅, С_N, мг/м³

$$C_N = \frac{503}{556776 \cdot 0,8} = 0,0011$$

Начальная концентрация акролеина, С_а, мг/м³

$$C_a = \frac{2,28}{556776 \cdot 0,8} = 0,000005$$

Полученные результаты показывают, что предельно допустимая концентрация пыли и газов в карьере значительно ниже, чем при обычной технологии транспортирования руды. Снижение произошло по всем показателям приблизительно на 45%.

Библиографический список

1. Репин Н. Я., Репин Л. Н. Процессы открытых горных работ. М. : Горная книга, 2015. 518 с.
2. Применение контейнерной технологии для открытых горных работ / М. Ж. Битимбаев, С. Л. Кузьмин, Т. И. Маулямбаев и др. Алматы : Aleshan, 2015. 96 с.
- 3 Ялтанец М. И. Практикум по открытым горным работам. М. : Горная книга, 2003. 512 с.
4. Ушаков А.М. Аэрология карьеров. М. : Недра, 1986. 326 с.

СИНТЕЗ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ТОБЕРМОРИТА ИЗ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ

*С. Б. Ярусова^{1,2}, А. С. Авраменко³, А. Е. Панасенко¹,
Д. В. Достовалов¹, П. В. Гриценко^{1,2}, М. В. Черепанова³,
П. С. Гордиенко¹, Ю. В. Сушков¹, Д. Х. Шлык¹*

¹ Институт химии ДВО РАН,

г. Владивосток, Россия, *yarusova_10@mail.ru*,

² Владивостокский государственный университет,

г. Владивосток, Россия,

³ ФНЦ Биоразнообразие ДВО РАН,

г. Владивосток, Россия, *avramenko@biosoil.ru*

Проведен автоклавный синтез материала на основе тоберморита из природного сырья: диатомита и морских раковин. Получена зависимость степени прохождения реакции от времени. Исследована кинетика сорбции метиленового синего полученным материалом при температурах 20, 40 и 60 °С.

Ключевые слова: тоберморит, диатомит, морские раковины, автоклавный синтез, сорбция, метиленовый синий.

Тоберморит $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$ представляет собой гидросиликат кальция, встречающийся в природе, где образовался в щелочной среде в гидротермальных условиях. Этот минерал может быть синтезирован путем гидротермальной реакции в системе $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ [1]. В качестве исходных соединений для его получения (преимущественно гидротермальным методом в интервале температур 90–230 °С и временных интервалах от 2 ч до 14 суток) используют широкий спектр природного сырья и отходов.

Примеры описываемых в литературе способов синтеза тоберморита из различного сырья приведены в таблице.

В данной работе проведен автоклавный синтез материала на основе тоберморита из диатомита и морских раковин. В качестве модельного органического красителя для исследования сорбционных свойств материала использовали метиленовый синий (МС).

Диатомит Пионерского месторождения (Приморский край) представляет собой высокодисперсный диоксид кремния природного происхождения с содержанием $\text{SiO}_2 > 80\%$. Морские раковины спизулы сахалинской (*Spisula sachalinensis*) состоят преимущественно из фазы карбоната кальция CaCO_3 в модификации арагонита.

Исходное сырье предварительно измельчали и сушили до постоянного веса. Морские раковины подвергались измельчению в шаровой мельнице. Мольное соотношение исходных компонентов $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 1 : 1$.

Способы синтеза тоберморита из различного сырья

| Исходное сырье | Методика синтеза | Ссылка |
|---|---|--------|
| Микрокремнезем (силикатная пыль), кварцевый песок, карбонат кальция CaCO_3 | Гидротермальная обработка при 170–190 °С, автогенном давлении (0,8–1,2 МПа), от 1 до 10 сут. | [1] |
| Высокоглиноземистая летучая зола (49,50% Al_2O_3 , 42,25% SiO_2); гидроксид натрия, гидроксид алюминия и гидроксид кальция | 1. Обработка золы в концентрированном щелочном растворе в присутствии гидроксида кальция для извлечения глинозема (концентрация NaOH 45%, при 280 °С, 60 мин). 2. Перемешивание деалюминированного шлака в разбавленном щелочном растворе и последующий нагрев при 90–230 °С в течение 2, 3, 4, 7 ч. | [2] |
| Каолинит (состав 46,44% SiO_2 , 38,80% Al_2O_3 , 0,03% TiO_2 , 0,52% Fe_2O_3 , 0,08% MgO , 0,33% Na_2O , 0,69% K_2O); метакаолинит (получен путем прокаливания каолинита при 600 °С в течение 2 ч); реагенты CaCO_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, осажденный SiO_2 | Химическая трансформация каолинита и метакаолинита в гидротермальных условиях при температуре 175 °С в течение 0,5–24 ч. | [3] |
| Кварцевая мука, портландит (99,9% чистоты) и два вида метакаолина – коммерческий образец и образец – побочный продукт при производстве пеностекла | Автоклавная обработка при 180 °С от 2 до 12 ч, давление автогенного давления пара 1,1–1,2 МПа. Сушка при 60 °С в течение 12 ч. | [4] |
| Раствор Na_2SiO_3 и эмульсия $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | Выдержка исходной смеси в течение 30 мин при магнитном перемешивании. Добавление 10 масс.% раствора цетилтриметиламмония бромида. Автоклавная обработка смеси при 220 °С в течение 3 ч. | [5] |
| Остатки от переработки газетной бумаги, 4 М гидроксид натрия | Измельчение остатков утилизации газетной бумаги, щелочная обработка при 100 °С в течение 48 ч. | [6] |
| Цементная пыль и отбракованная содово-кремнеземная стеклянная тара. | Обработка смеси при 100 °С в воде в герметичных сосудах из ПТФЭ под давлением в течение 2, 7 и 14 сут. | [7] |
| Доменный шлак, силикат натрия, гидроксид натрия. | Приготовление суспензии на основе порошка шлака, NaOH и силиката натрия в деионизированной воде. Обработка суспензии в автоклаве при 180 °С в течение 2–48 ч. | [8] |

Гидротермальную обработку измельченной реакционной смеси диатомиита и морских раковин проводили в лабораторном автоклаве в водной щелочной среде (гидроксид натрия) при температуре 200 °С в течение 6 ч. После окончания заданного временного интервала осадки отделяли от раствора фильтрованием, промывали дистиллированной водой и сушили при температуре 85–90 °С в течение нескольких часов. Степень прохождения реакции

контролировали по остаточной концентрации гидроксида натрия в растворе, которую определяли методом кислотно-основного титрования, используя в качестве титранта 0,1 н. раствор HCl, приготовленный из фиксаля.

Рентгенограммы образцов снимали на автоматическом дифрактометре D8 ADVANCE (Германия) с вращением образца в Cu K_{α} -излучении. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили с использованием программы поиска EVA с банком порошковых данных PDF-2. Морфологию тоберморита изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Merlin при увеличении до 15000.

Для изучения адсорбционных свойств тоберморита использовали метиленовый синий $C_{16}H_{18}N_3SCl$ («ч.д.а.», М 319,85 г·моль⁻¹). Исследование сорбции МС из водных растворов проводили в статических условиях при температурах 20, 40 и 60 °С. Для получения кинетических кривых адсорбции навески тоберморита массой 0,01 г вносили в пробирки, прибавляли 10 мл исходного водного раствора метиленового синего ($C_0(МС) = 2,7$ ммоль·л⁻¹) и перемешивали в течение 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60 мин. После перемешивания суспензию центрифугировали, оптическую плотность раствора измеряли на спектрофотометре ЗОМЗ КФК-3-01 (Россия) при длине волны 657 нм.

Сорбционную емкость (A_c , ммоль·г⁻¹) исследуемых образцов рассчитывали по формуле 1:

$$A_c = \frac{(C_{исх} - C_p)}{m} \cdot V, \quad (1)$$

где $C_{исх}$ – исходная концентрация МС в растворе, ммоль·л⁻¹; C_p – равновесная концентрация МС в растворе, ммоль·л⁻¹; V – объем раствора, л; m – масса сорбента, г.

Согласно данным РФА, в составе продукта гидротермальной обработки реакционной смеси присутствуют кристаллические фазы кальцита $CaCO_3$, кварца SiO_2 , анальцима $Na_{15.76}Al_{15.26}Si_{32.74}O_{96} \cdot 16H_2O$ и тоберморит орторомбической модификации $Ca_{2.25}Si_3O_{7.5}(OH)_{1.5} \cdot H_2O$. Морфология полученного продукта гидротермальной обработки представлена частицами преимущественно игольчатой формы длиной до 10 мкм и диаметром от 20 до 200 нм.

Как видно из представленной зависимости (рис. 1), через 12 ч степень прохождения реакции не превышает 35%.

Экспериментальные данные по кинетике анализировали в соответствии с уравнением Колмогорова–Ерофеева (формула 2) после двойного логарифмирования:

$$\ln(-\ln(1-\alpha)) = \ln k + n \ln \tau \quad (2)$$

где α – доля прореагировавшего вещества к моменту времени τ ; n и k – постоянные, определяемые графически и характеризующие порядок реакции и константу скорости реакции.

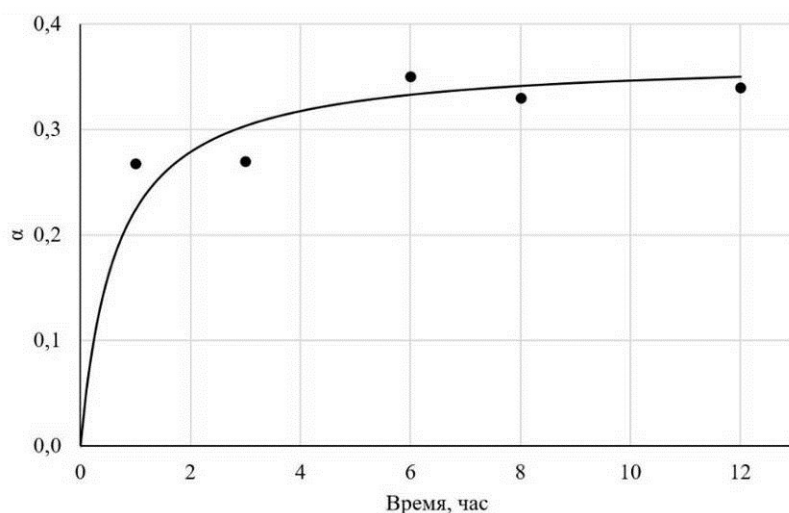


Рис. 1. Зависимости степени прохождения реакции (α) от времени при автоклавной обработке реагирующей смеси

При анализе линейной зависимости, наблюдаемой в логарифмических координатах, получены следующие параметры: $k = 0,298 \text{ мин}^{-n}$, $n = 0,1506$, $R^2 = 0,737$. Порядок реакции n меньше единицы, что характерно для реакций, сопровождающихся диффузионными процессами.

На рисунке 2 приведены кинетические кривые сорбции МС тоберморитом при температурах 20, 40 и 60 °С.

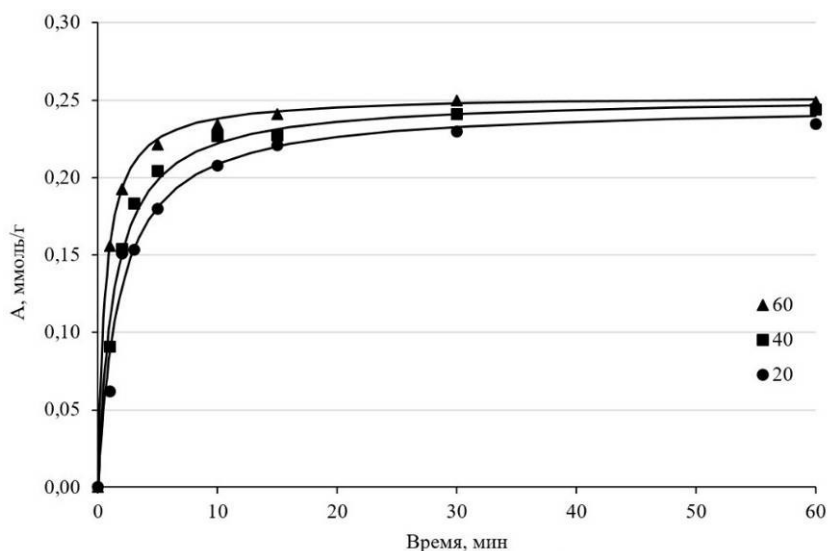


Рис. 2. Кинетические кривые сорбции МС (A , ммоль/г) тоберморитом при различных температурах (°С)

Как видно из представленных кинетических кривых, с повышением температуры от 20 до 60 °С сорбционная емкость незначительно увеличивается от $0,24 \text{ ммоль} \cdot \text{г}^{-1}$ до $0,25 \text{ ммоль} \cdot \text{г}^{-1}$.

Продолжаются дальнейшие исследования по оптимизации щелочной обработки природного сырья в гидротермальных условиях, повышению вы-

хода целевого продукта и исследованию функциональных свойств получаемого материала.

Исследование выполнено в рамках государственных заданий Института химии ДВО РАН (FWFN(0205)-2022-0002, тема 2, разделы 3, 5) и ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (тема № 124012200182-1).

Библиографический список

1. Tobermorite synthesis under hydrothermal conditions / L. Galvánková, J. Másilko, T. Solný, E. Štěpánková. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.394 // Procedia Engineering. 2016. Vol. 151. P. 100–107.
2. A novel process for synthesis of tobermorite fiber from high-alumina fly ash / J. Ding, Z. Tang, S. Ma et al. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2015.10.017 // Cem. Concr. Compos. 2016. Vol. 65. P. 11–18.
3. Ríos C. A., Williams C. D., Fullen M. A. Hydrothermal synthesis of hydrogarnet and tobermorite at 175 °C from kaolinite and metakaolinite in the CaO–Al₂O₃–SiO₂–H₂O system: A comparative study. DOI: 10.1016/j.clay.2008.09.014 // Appl. Clay Sci. 2009. Vol. 43. No. 2. P. 228–237.
4. Hydrothermal synthesis of 11 Å tobermorite – Effect of adding metakaolin to the basic compound / J. Schreiner, F. Goetz-Neunhoeffler, J. Neubauer, D. Jansen. DOI: 10.1016/j.clay.2019.105432 // Appl. Clay Sci. 2020. Vol. 185. Article No. 105432.
5. Facile one-pot hydrothermal synthesis of reticulated porous tobermorite for fast phosphorus recovery / M. Han, X. Shen, H. Shao et al. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2023.131349 // Colloids Surf., A. 2023. Vol. 666. Article No. 131349.
6. Sorption of Co²⁺ and Sr²⁺ by waste-derived 11 Å tobermorite / N. J. Coleman, D. S. Brassington, A. Raza, A. P. Mendham. DOI: 10.1016/j.wasman.2005.01.019 // Waste Manag. 2006. Vol. 26. No. 3. P. 260–267.
7. Coleman N. J., Trice C. J., Nicholson J. W. 11 Å tobermorite from cement bypass dust and waste container glass: A feasibility study. DOI: 10.1016/j.minpro.2009.06.002 // Int. J. Miner. Process. 2009. Vol. 93. P. 73–78.
8. Hydrothermal preparation of tobermorite from blast furnace slag for Cs⁺ and Sr²⁺ sorption / T. Tsutsumi, S. Nishimoto, Y. Kameshima, M. Miyake. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2013.12.024 // J. Hazard. Mater. 2014. Vol. 266. P. 174–181.

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ЧИСЛЕННОСТЬ КИШЕЧНОЙ ПАЛОЧКИ В СВИНЫХ НАВОЗНЫХ СТОКАХ

Н. В. Сырчина¹, Л. В. Пилип²

¹ *Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, nvms1956@mail.ru*

² *Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, pilip_larisa@mail.ru*

Изучено влияние различных типов поверхностно-активных веществ (ПАВ) на численность бактерий группы кишечной палочки в жидкой фракции (ЖФ) свиных навозных стоков. Установлено, что обработка ЖФ 10% раствором лауретсульфата натрия в норме 100 см³ раствора на 1 м³ ЖФ позволяет снизить численность *Escherichia coli* в бактериопланктоне на 3 порядка.

Ключевые слова: бактерии группы кишечной палочки, навозные стоки, свиноводство, эшерихиозы, поверхностно-активные вещества, ПАВ.

Навоз животных (НЖ) и навозные стоки (НС) животноводческих предприятий являются благоприятной средой для развития различных микроорганизмов (МО), включая патогенные. Основу микробиоты побочных продуктов животноводства (ППЖ) составляют МО, населяющие желудочно-кишечный тракт, слизистые оболочки различных органов и кожу животных. В составе ППЖ соответствующие МО переносятся во внешнюю среду, приводя к ухудшению санитарного состояния территорий, находящихся в сфере влияния животноводческих предприятий [1–3]. Одним из основных МО, используемых в качестве индикатора санитарного состояния почв, является кишечная палочка (*Escherichia coli*), обитающая в нижних отделах кишечника животных. Бактерии группы кишечной палочки (БГКП) относят к условно-патогенным МО, проявляющим высокую устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов и способным длительное время сохраняться в почве, воде или на различных предметах [4, 5]. Большинство представителей *E. coli* безопасны, однако существуют и патогенные типы (патотипы), вызывающие серьезные кишечные инфекции (эшерихиозы) человека и животных. Эшерихиозы протекают в виде различной тяжести энтеритов, энтероколитов в сочетании с синдромом общей интоксикации, обезвоживанием, поражением нервной системы. Особенно опасны соответствующие заболевания для новорожденных телят и поросят. Согласно опубликованным данным, эшерихиоз поросят подсосного возраста выявляется почти в половине случаев всей инфекционной патологии [6].

Основной механизм передачи эшерихиозов – фекально-оральный. В инфицировании новорожденных поросят большую роль играет загрязнение вымени и сосков свиноматок экскрементами больных животных. Одним из важных направлений профилактики развития инфекционных заболеваний являются гигиенические мероприятия, направленные на снижение количества возбудителей в помещениях и на теле животных. Хороший эффект в этом отношении обеспечивает применение разнообразных моющих средств, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ) [7–9].

Цель работы – изучить влияние различных типов ПАВ на численность бактерий группы кишечной палочки в побочных продуктах свиноводства.

Для проведения исследований использовали жидкую фракцию (ЖФ) свиных НС, получаемую методом сепарирования содержимого навозонакопительных ванн из цеха доращивания. Влажность ЖФ – $99,5 \pm 0,3\%$; рН – 6,8; зольность сухого вещества – 19,2%. Образцы ЖФ отбирали в стерильные емкости непосредственно после сепарирования НС и доставляли в лабораторию. Для обработки ЖФ использовали банзалкония хлорид (катионное ПАВ, КПАВ), лауретсульфат натрия (анионное ПАВ, АПАВ) и оксид лаурилдиметиламина (неионогенное ПАВ, НПАВ). Все ПАВ вносили в ЖФ в виде 10% водных растворов в норме 100 см^3 раствора ПАВ на 1 м^3 ЖФ и перемешивали.

Варианты эксперимента: 1) ЖФ без добавок – Контроль; 2) ЖФ + НПАВ; 3) ЖФ + КПАВ; 4) ЖФ + АПАВ.

Жидкую фракцию с добавками ПАВ помещали в стерильные пластиковые емкости объемом 5 дм³ (по 4 дм³ в каждую емкость), закрывали стерильными ватно-марлевыми пробками и оставляли в помещении при температуре 18±2 °С на 14 суток. Для проведения микробиологических исследований использовали пробы бактериопланктона и поверхностных биопленок. Отбор биоматериала для микробиологических исследований осуществляли в стерильные емкости с соблюдением правил асептики и сразу доставляли в специализированную лабораторию. Пробы отбирали 2 раза: до внесения и через 14 суток после внесения добавок.

Микробиологические исследования биоматериала включали посев на дифференциально-диагностическую питательную среду Эндо с последующим изучением колоний (микроскопия фиксированных препаратов, окрашенных методом Грама) и биохимической идентификацией (ЭНТЕРОтест 24, Чехия). Исследования выполняли в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов проводили стандартными методами с использованием встроенного пакета программ Microsoft Excel.

В таблице приведены данные о влиянии различных ПАВ на количество бактерий группы кишечной палочки в ЖФ свиных НС.

Таблица

Влияние различных поверхностно-активных веществ на количество бактерий группы кишечной палочки в жидкой фракции свиных навозных стоков

| Вариант | Количество <i>Escherichia coli</i> , КОЕ/см ³ | | |
|---------|--|---------------------------------------|---------------------------|
| | до внесения добавок | через 14 суток после внесения добавок | |
| | | бактериопланктон | биопленка |
| 1 | (5,4±0,6)·10 ⁷ | (3,6±0,4)·10 ⁶ | (2,6±0,3)·10 ³ |
| 2 | | (5,1±0,5)·10 ⁴ | (1,1±0,1)·10 ² |
| 3 | | (2,6±0,3)·10 ⁴ | (1,2±0,2)·10 ² |
| 4 | | (5,6±0,6)·10 ³ | (2,2±0,3)·10 ² |

Согласно полученным экспериментальным данным, внесение всех типов ПАВ привело к существенному (на 2–3 порядка) снижению численности БГКП в бактериопланктоне. Наиболее выраженный результат был получен при обработке ЖФ лауретсульфатом натрия. Лауретсульфат натрия (sodium laureth sulfate, SLES) относится к современным детергентам с низкой токсичностью. Широко применяется для производства жидких бытовых и технических чистящих средств. Используется в составе моющих и косметических препаратов в качестве стабилизатора, эмульгатора, солюбилизатора. Неограниченно растворим в воде, образует прозрачные растворы любой концентрации; отличается хорошими пенообразующими свойствами даже в жесткой воде; обладает высокими чистящими свойствами; хорошо совместим с анионоактивными, неионогенными и амфотерными ПАВ. pH 1% водного раствора: 7,5 ÷ 9,5. Согласно действующим нормам, SLES не является токсичным

веществом, не оказывает раздражающего воздействия на кожные покровы, отличается быстрой биodeградацией в окружающей среде.

Численность *E. coli* в составе биопленок под влиянием ПАВ также уменьшилась, однако в меньшей степени, чем в бактериопланктоне, что может быть обусловлено защитным действием полисахаридного матрикса.

Обработка навозных стоков растворами ПАВ позволяет существенно снизить численность бактерий группы кишечной палочки, что имеет значение для профилактики эшерихиозов животных и человека, а также для улучшения санитарной обстановки на территориях размещения животноводческих предприятий. Различные типы ПАВ проявляют различную бактериостатическую активность. Наиболее эффективное подавление численности *E. coli* было выявлено при обработке анионным ПАВ. Результаты исследований могут найти практическое применение при разработке составов моющих средств для животноводческих предприятий.

Библиографический список

1. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Промышленные свинокомплексы как источники загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2021. № 5 (51). С. 88–91.

2. Сырчина Н. В., Шубин А. С., Береснева Т. П. Дезодорация свиного навоза, предназначенного для производства удобрений // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 05–08 декабря 2016 г.) в 2 кн. Кн. 1. Киров : «Изд-во «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 394–397.

3. Производство биоорганоминеральных удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве / А. В. Сазанов, Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2017-3-085-090 // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 85–90.

4. Колиформные бактерии как компоненты биопленок навозных стоков / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Е. П. Колеватых. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-118-125 // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18, № 3 (68). С. 118–125.

5. Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние химических реагентов на численность кишечной палочки в жидкой фракции навозных стоков // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (Киров, 24–25 апреля 2023 г.). Кн. 2. Киров: Вятский государственный университет, 2023. С. 168–172.

6. Распространение эшерихиоза поросят и способ его специфической профилактики / А. С. Тищенко, Е. Н. Новикова, Д. П. Винокурова и др. DOI: 10.21515/1990-4665-137-036 // Научный журнал КубГАУ. 2018. № 137. С. 220–229.

7. Влияние различных типов поверхностно-активных веществ на эмиссию газов и микробиоту жидкой фракции навозных стоков / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, Е. П. Колеватых, В. В. Рутман. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-3-059-072 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 3. С. 59–72.

8. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Рутман В. В. Трансформация микробиоты свиных навозных стоков под влиянием бензалкония хлорида и нитрапирина // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. (Киров, 14–15 ноября 2023 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 141–145.

9. Влияние различных способов обработки на численность бактерий рода *Clostridium* (Clostridia, Bacteria) в побочных продуктах животноводства / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина. DOI: 10.35885/1684-7318-2023-4-466-480 // Поволжский экологический журнал. 2023. № 4. С. 466–480.

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ МЕЛИОРАНТОВ НА ОСНОВЕ СЕРО-ГРУНТОВОЙ СМЕСИ МЕТОДОМ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ

Н. В. Сырчина¹, В. В. Рутман¹, М. Л. Сазанова^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, nvms1956@mail.ru,*

² *Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия*

Серо-грунтовая смесь (СГС), образуемая при хранении техногенной серы открытым способом, может быть использована в качестве сырья для производства мелиорантов для щелочных засоленных почв. Оценка СГС методом фитотестирования показала, что внесение молотой СГС в почву в норме до 8 т/га оказывает положительное влияние на накопление биомассы растениями и способствует развитию корневой системы пшеницы.

Ключевые слова: серо-грунтовая смесь, техногенная сера, щелочные почвы, химические мелиоранты, фитотестирование.

Серо-грунтовая смесь (СГС) представляет собой отход, образующийся при хранении техногенной серы на открытых площадках – серных картах. Выделение серы из соответствующего отхода экономически нецелесообразно, поэтому огромные объемы накопленной СГС складываются на специальных полигонах, что приводит к существенным экономическим затратам и целому ряду экологических проблем [1]. В ряде исследований показано, что СГС может найти применение в качестве перспективного сырья для ремедиации щелочных засоленных почв [2]. Внесение тонкомолотой СГС в щелочную почву приводит к снижению рН, повышению подвижности фосфора и микроэлементов, оптимизации условий развития почвенной микробиоты [3, 4]. Повышению эффективности серосодержащих мелиорантов способствуют органические удобрения – побочные продукты животноводства, утилизация которых в настоящее время также сопряжена с определенными трудностями [5–7].

Эффективность серы (S^0), применяемой в качестве мелиоранта подкисляющего действия, в основном определяется почвенными микроорганизмами, способными достаточно быстро окислять S^0 до серной кислоты, благодаря чему снижается уровень щелочности засоленной почвы [8].

Цель настоящей работы – оценить безопасность молотой серо-грунтовой смеси для развития растений методом фитотестирования.

Метод фитотестирования основан на чувствительности растений к экзогенному химическому воздействию, отражающемуся на ростовых и морфологических характеристиках выращиваемых культур. Фитотестирование находит широкое применение для оценки плодородия почв сельхозугодий, а также для оценки токсичности или биоактивности различных материалов, химикатов, промышленных отходов. Лабораторные методы фитотестирования, как наиболее экспрессные, экономичные и чувствительные, по сравнению с микроделяночными и вегетационным, приобретают в настоящее время особую актуальность [9].

Для проведения исследований использовали образцы СГС, отобранные непосредственно с поверхности серных карт. В состав СГС входила техногенная сера, образующаяся при очистке углеводородного сырья от примеси сернистых соединений, и диабазовый грунт. Перед проведением исследований СГС высушивали в сушильном шкафу при температуре 55 ± 5 °С до постоянной массы и измельчали в фарфоровой ступке. В процессе измельчения СГС разделяли на 2 фракции: серу (легко растирается в ступке) и гальку (не поддается измельчению). Крупную гальку отделяли вручную, более мелкую – методом просеивания через металлическое сито с размером ячеек 1×1 мм. Для экспериментальных исследований применяли измельченную серу с включениями мелких частиц грунта (10–15% масс.), которые не отделяли при просеивании. Более тщательная очистка не имеет практического смысла, поскольку мелкие частицы грунта снижают пожаро- и взрывоопасность диспергированной серы и являются носителями уникальной сероокисляющей микробиоты, сформировавшейся в процессе хранения СГС на серных картах. Перед внесением в грунт в качестве мелиоранта выделенную из СГС серу дополнительно измельчали в фарфоровой ступке до пылевидного состояния (размер частиц – 0,03...0,16 мм).

В качестве тест-культур использовали пшеницу сорта Приокская (класс однодольные), горчицу белую сорта Волнушка (класс двудольные), вику посевную яровую сорта Никольская (класс двудольные).

В качестве субстрата для выращивания тест-культур применяли легкий супесчаный грунт: $pH_{\text{водн.}} 7,0 \pm 0,1$; подвижный фосфор – 110 мг/кг; подвижный калий – 115 мг/кг; органическое вещество – 4,5%. Использование незасоленного грунта для фитотестирования обусловлено необходимостью исключить фитотоксичное действие засоленной почвы на прорастание семян и развитие растений.

Добавки СГС вносили в воздушно-сухой грунт, согласно вариантам эксперимента, тщательно перемешивали, загружали в пластиковые контейнеры и увлажняли дистиллированной водой. Откалиброванные семена тест-культур высевали на глубину 4...6 мм. Для обеспечения оптимальной влажности контейнеры накрывали микроперфорированной полипропиленовой плёнкой. После появления ростков пленку убирали. Проращивание семян проводили в условиях естественного освещения при температуре 23 ± 2 °С. Длительность фитотестирования варьировала от 2-х до 4-х недель (в зависимости

от наблюдаемых реакций тест-культур). Влажность почвы при проращивании семян поддерживали на уровне $65 \pm 5\%$ от полной влагоемкости. Исследования выполняли в июне 2023 г.

Результаты фитотестирования оценивали по таким показателям, как длина корня, длина стебля, биомасса растений, энергия прорастания (за трое суток), скорость прорастания (сумма средних чисел семян, прорастающих ежедневно), дружность прорастания (доля семян, проросших за первые сутки прорастания).

Исследования проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов выполняли по общепринятым методикам в программе Microsoft Excel, статистическую значимость различий средних величин оценивали по t-критерию Стьюдента.

Варианты эксперимента: 1 – грунт без добавок СГС (контроль); 2) грунт + СГС 0,5 г/кг; 3) грунт + СГС 2,0 г/кг.

Результаты фитотестирования (средние значения показателей и средние квадратичные отклонения по трем повторностям) приведены в таблице.

Таблица

Влияние серы на развитие проростков тест-культур

| Вариант | Показатели | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|---------------------------|---|---|---------------------------|---|-------------------|--|---|
| | пшеница яровая | | | горчица белая | | | вика яровая | | |
| | длина корня, см | длина надземной части, см | масса 10 растений, г | длина корня, см | длина надземной части, см | масса 10 растений, г | длина корня, см | длина надземной части, см | масса 10 растений, г |
| 1) Контроль | 18,6 $\pm 0,3$ | 28,2 $\pm 0,4$ | 2,0 $\pm 0,1$ | 7,4 $\pm 0,1$ | 9,3 $\pm 0,2$ | 1,1 $\pm 0,1$ | 18,3 $\pm 1,0$ | 27,4 $\pm 0,4$ | 3,1 $\pm 0,1$ |
| 2) S ⁰ 0,5 г/кг | 20,7* $\pm 0,3$ | 27,8 $\pm 2,9$ | 3,2 $\pm 0,6$ | 7,7 $\pm 0,3$ | 9,6 $\pm 0,4$ | 1,3 $\pm 0,2$ | 17,5 $\pm 0,8$ | 29,8 $\pm 1,6$ | 3,8 $\pm 0,1$ |
| 3) S ⁰ 2,0 г/кг | 21,2 $\pm 0,1$ | 28,1 $\pm 1,1$ | 4,1 $\pm 0,3$ | 8,7 $\pm 1,1$ | 9,0 $\pm 1,0$ | 1,4 $\pm 0,5$ | 18,4 $\pm 0,5$ | 27,6 $\pm 1,5$ | 4,1 $\pm 0,3$ |

Примечание: жирным шрифтом выделены варианты, достоверно ($p < 0,05$) отличающиеся от контроля.

В результате фитотестирования отрицательного влияния молотой СГС при норме внесения 0,5...2,0 г/кг (ориентировочно 2...8 т/га) на прорастание семян и развитие проростков тест-культур выявлено не было.

Всхожесть, дружность прорастания, энергия прорастания семян пшеницы яровой и горчицы белой во всех вариантах эксперимента составила 100%. Скорость прорастания – не более 2 дней.

Всхожесть вики яровой – $96 \pm 2\%$; дружность прорастания – $84 \pm 3\%$; энергия прорастания – $85 \pm 4\%$, скорость прорастания – $3,5 \pm 0,8$ суток.

Статистически значимых различий между различными вариантами эксперимента по таким показателям, как всхожесть, дружность прорастания, энергия прорастания, скорость прорастания для тест-культур выявить не удалось.

Во всех вариантах эксперимента добавка СГС привела к увеличению средней массы тест-растений (различие с контролем статистически значимое)

и оказала положительное влияние на развитие корневой системы пшеницы (различие с контролем статистически значимое). Полученный эффект подтверждает возможность и эффективность использования СГС не только для производства мелиорантов, но и для производства минеральных и органоминеральных удобрений [10].

Выводы: 1) внесение молотой СГС в почву оказывает положительное влияние на накопление биомассы растениями и не угнетает процессы прорастания семян и развития проростков;

2) использование СГС в качестве почвенного мелиоранта для щелочных засоленных почв можно рассматривать в качестве важного шага в направлении рациональной утилизации отходов переработки углеводородного сырья;

3) разработка технологий и внедрение в производство серосодержащих агрохимикатов представляет особый интерес для регионов, располагающих значительными запасами техногенной серы. Переработка техногенной серы в товарные продукты позволит уменьшить количество накопленных техногенных отходов; улучшить экологическую обстановку в местах размещения серных отвалов; вывести на рынок новые высокоэффективные и экологически безопасные мелиоранты для щелочных засоленных почв; предотвратить деградацию и улучшить экологическое состояние засоленных земель; получить дополнительную экономическую прибыль при реализации серосодержащих агрохимикатов.

Библиографический список

1. Сырчина Н. В., Кутявина Т. И. Влияние серосодержащих отходов на подвижность фосфора в засоленных почвах // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 15 ноября 2023 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 164–167.

2. Сырчина Н. В., Скугорева С. Г., Кутявина Т. И. Рациональная утилизация серосодержащих отходов. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-4-151-156 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 4. С. 151–156.

3. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Кондакова И. А. Влияние молотой серы на альгоцианофлору щелочных засоленных почв. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-1-132-141 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 1. С. 132–141.

4. Перспективы использования фосфатмобилизирующих бактерий на щелочных засоленных почвах / Н. В. Сырчина, Т. И. Кутявина, Г. В. Комоско и др. // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 15 ноября 2023 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 186–190.

5. Маркина Е. О., Григорьев В. В., Сырчина Н. В. Влияние различных добавок на подвижность тяжелых металлов в почвах // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 2. Киров : Изд-во «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 87–90.

6. Производство биоорганоминеральных удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве / А. В. Сазанов, Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2017-3-085-090 // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 85–90.

7. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Промышленные свинокомплексы как источники загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. DOI: 10.19110/1994-5655-2021-5-88-91 // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2021. № 5 (51). С. 88–91.

8. Мартынова Е. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Оптимизация состава мелиорантов для снижения содового засоления почвы // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 24–25 апреля 2023 г). Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 339–344.

9. Лисовицкая О. В., Терехова В. А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. 2010. Т. 1. № 13. С. 1–18.

10. Комплексная переработка природных фосфоритов с использованием щелочных отходов нефтехимического синтеза и газовой серы / Р. Х. Хузиахметов, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Иванова. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-102-108 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 102–108.

DETERMINATION OF TRACE CYANIDE IN WATER BY ISONICOTINIC ACID-PYRAZOLONE-BISPYRAZOLONE POLAROGRAPHY

X. H. Li¹, J. J. Wu^{1,2}

*¹ Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China,
13050296981@163.com*

² Vyatka State University, Russia

Cyanide reacts with chloramine T, isonicotinic acid, and pyrazolone to produce a blue dye. The sensitivity of the polarographic wave generated by the blue dye is enhanced by the presence of bispyrazolone. An excellent linear relationship between cyanide concentrations (0.0004~0.060 mg/L) and peak current is achieved, with a detection limit of 0.0001 mg/L. The method has been successfully applied to the determination of trace cyanide in groundwater and surface water.

Keywords: cyanide, isonicotinic acid, pyrazolone, bispyrazolone, polarography, adsorption wave.

Cyanide is highly toxic to both human beings and ecosystems; therefore accurate determination of trace cyanide in environmental water is important. Currently, the main methods for cyanide determination include spectrophotometry [1], gas chromatography [2], ion chromatography [3], and polarography [4], etc.

Cyanide reacts with Chloramine T, isonicotinic acid, and pyrazolone to form a blue dye. The spectrophotometric method based on the measurement of this blue dye is currently one of the main detection methods for cyanide [5]. However, its lower detection limit falls short of the requirement for determining trace cyanide below 0.001 mg/L.

Studies have demonstrated that replacing spectroscopic analysis with polarographic analysis can significantly enhance the sensitivity of the method, thus lower-

ing the detection limit [6]. Building upon this, our experiment explored the method for determining trace cyanide in water using the isonicotinic acid-pyrazolone-bispyrazolone polarographic method.

An appropriate volume of water sample, 5 mL phosphate buffer solution (pH 7.0) and 0.2 mL Chloramine T solution (5 g/L) was sequentially pipetted to a 25-mL colorimetric tube and mixed. After standing for 3~5 minutes, 2.6 mL bispyrazolone(0.008 g/L)-pyrazolone(0.2 g/L)-isonicotinic acid(1.2 g/L) solution was added into the tube, then the solution was diluted to 25 mL and thoroughly mixed. After that, the tube was placed in a 35 °C water bath for 60 minutes and then at room temperature for 10 minutes. The test solution prepared as described above was measured by a JP-303 polarograph. The initial potential was -500 mV, scan rate was 700 mV/s, the peak current (i_p'') at -766 mV was recorded.

Within a pH range of 7.0~7.3, i_p'' achieved its peak stability. The pH was eventually controlled at 7.0 by adding 5.0 mL of phosphate buffer solution. When chloramine T concentration was 0.02~0.06 g/L and the reaction lasted 3~5 minutes, i_p'' was maximized and remained constant. As a result, 0.04 g/L of chloramine T (0.2 mL of chloramine T solution) and a reaction time of 3~5 minutes to convert CN^- to $CNCl$ were determined.

When the concentrations of bispyrazolone, pyrazolone, and isonicotinic acid are 0.008, 0.2, 1.2 g/L, respectively, i_p'' attained its maximum value. Therefore, the addition amounts of bispyrazolone solution, pyrazolone solution, and isonicotinic acid solution were 0.2, 0.4, 2.0 mL, respectively. To simplify the operation, the three solutions are mixed in a volume ratio of 1:2:10, resulting in the addition of 2.6 mL of the bispyrazolone-pyrazolone-isonicotinic acid solution.

The optimal water bath temperature for i_p'' to reach its maximum and remain stable was 30~45 °C, then the reaction temperature was set at 35 °C. Additionally, a scan rate of -700 mV/s was chosen as it yielded the maximum i_p'' value.

A good linear relationship ($R=0.9995$) was observed between the i_p'' and the cyanide concentration in the range of 0.4 to 60 $\mu\text{g/L}$. The linear regression equation was acquired as i_p'' (nA) = 20.96 ρ ($\mu\text{g/L}$) + 3.00. The method's detection limit (D.L.), calculated as $D.L. = 4.6S_b/K$, was approximately 0.1 $\mu\text{g/L}$, and the determination limit was 0.4 $\mu\text{g/L}$.

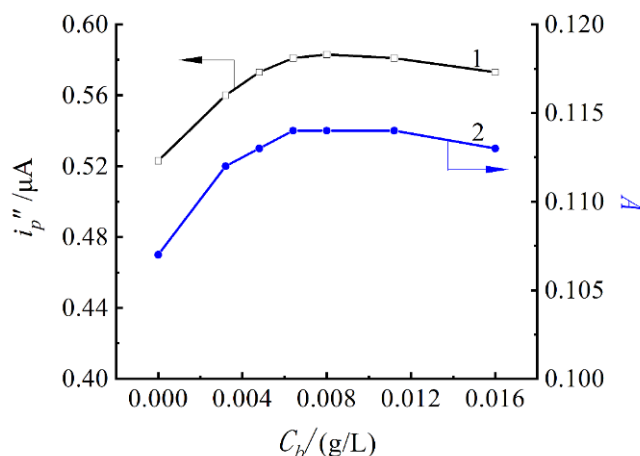


Fig. 1. Effects of the concentration of bispyrazolone (C_b) on A and i_p''

To investigate the effect of bispyrazolone, the absorbance (A) of the test solution was simultaneously measured. The change in A with bispyrazolone concentration (C_b) indirectly reflected the influence of bispyrazolone on the concentration of blue dye in the test solution. As shown in Fig. 1, the trend of $A \sim C_b$ was basically consistent with the trend of $i_p'' \sim C_b$, indicating that bispyrazolone enhanced the sensitivity of polarographic analysis by increasing the concentration of blue dye. Compared to the case when $C_b=0$, the i_p'' at $C_b=0.008$ g/L increased by 11.7%.

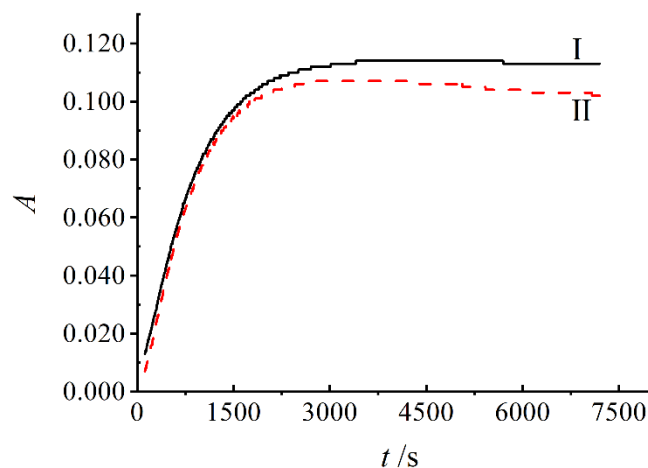


Fig. 2. $A \sim t$ curves of different systems

Using the time-scan function of the spectrophotometer [7], the reaction behavior and product stability of two systems, namely isonicotinic acid-pyrazolone - bispyrazolone (system I) and isonicotinic acid-pyrazolone (system II), were examined within 120 minutes. As shown in Fig. 2, the A_{\max} value of system I was significantly higher than that of system II, and the duration of its A_{\max} was also notably longer than system II. It can be seen that the introduction of bispyrazolone effectively inhibited the decomposition of the blue dye, resulting in a corresponding increase in the concentration of the blue dye in the test solution. Previous studies also shown that bispyrazolone exhibited an inhibitory effect on product decomposition in the pyridine-pyrazolone system [8].

The cyanide content in well water and river water was analyzed, and the results were shown in Table. The results showed that the measured values of this method were consistent with the standard method, with a recovery rate of 97.6–104.1% and a relative standard deviation (RSD) of less than 2.9%, indicating high accuracy.

Table

Analysis result of different samples (n = 5)

| Sample | This method ρ /(mg/L) | Isonicotinic acid-barbituric acid spectrophotometry (standard method) ρ /(mg/L) | RSD, % | Recovery, % |
|-------------|----------------------------|--|--------|-------------|
| well water | 0,002 | / | 2,9 | 104,1 |
| river water | 0,025 | 0,024 | 1,5 | 97,6 |

This method had successfully lowered the determination limit of cyanide by replacing spectroscopic analysis with polarographic analysis and adding bispyrazolone to inhibit product decomposition. Additionally, it boasted advantages such as simple operation and no requirement for expensive equipment.

References

1. Improved ninhydrin-based reagent for spectrophotometric determination of ppb levels of cyanide / A. Surleva, M. Zaharia, O. Pintilie, et al. DOI: 10.1080/15275922.2015.1091404 // Environ. Forensics. 2016. Vol. 17. No. 1. P. 48–58.
2. Evaluation of the disappearance of cyanogen and hydrogen cyanide in different soil types using gas chromatography-mass spectrometry / W. Zhou, J. Du, W. Li, et al. DOI: 10.1016/j.microc.2019.104253 // Microchem. J. 2019. Vol. 151. Article No. 104253.
3. Christison T. T., Rohrer J. S. Direct determination of free cyanide in drinking water by ion chromatography with pulsed amperometric detection. DOI: 10.1016/j.chroma.2007.02.083 // J. Chromatogr. A. 2007. Vol. 1155. No. 1. P. 31–39.
4. do Nascimento P. C., Bohrer D., de Carvalho L. M. Polarographic determination of cyanide as contaminant in pralidoxime mesylate formulations. DOI: 10.1016/S0039-9140(98)00252-5 // TALANTA. 1999. Vol. 48. No. 2. P. 341–346.
5. Sampling and determination of hydrogen cyanide in cigarette smoke / Y. Jiang, N. Lu, F. Yu, et al. DOI: 10.1007/s002160051435 // Fresenius J. Anal. Chem. 1999. Vol. 364. No. 8. P. 786–787.
6. Tian Y. S., Li X. H., Liu H. J. Determination of trace cyanide in water by isonicotinic acid- barbituric acid polarography // Chin. J. Anal. Lab. 2016. Vol. 35. No. 2. P. 201–203 (in Chinese).
7. Tian Y. S. The rapid measurement of cyanide in water using the real-time scanning function of the spectrophotometer // Chin. J. Anal. Lab. 2015. Vol. 34. No. 11. P. 1333–1335.
8. Epstein J. Estimation of microquantities of cyanide // Anal. Chem. 1947. Vol. 19. No. 4. P. 272–274.

CONSTRUCTION AND PRELIMINARY EVALUATION OF THE INTELLIGENT ORAL DRUG DELIVERY NANOCARRIER FOR THE TREATMENT OF COLON CANCER BASED ON CHEMO-PHOTOTHERMAL SYNERGISTIC THERAPY STRATEGY

Dandan Liu, Zhiyuan Yang

*School of Biomedical & Chemical Engineering,
Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi 117004, P.R. China;
Vyatka State University, Russia,
liudandan1124@126.com*

This study constructed a chemo-photothermal synergistic oral delivery nanocarrier. Nanodiamond (ND) was firstly coated with dopamine (PND) through self-oxidative polymerization under mild alkaline conditions. Sulfhydryl-polyethylene glycol-folate (SH-PEG-FA) was then coupled to the surface of PND to achieve colon tumor targeting effect. The pharmaceutical characterization of the nanocarrier, and the photothermal properties were preliminarily investigated.

Keywords: nanodiamond, polydopamine, colon cancer.

Colon cancer is one of the top three malignant tumors with the highest morbidity and mortality worldwide [1]. According to statistics, there are about 430 000 new cases of colon cancer in China every year, and about 280 000 deaths. With the rapid development of economy, the change of people's lifestyle and dietary structure, the incidence of colon cancer is growing at alarming speed.

The pathogenesis of colon cancer is complex, so it is difficult to achieve effective oral treatment effect with traditional chemotherapy [2]. Photothermal-chemo combined therapy (PTT-CT) is an emerging approach to break through this bottleneck [3]. However, the gastrointestinal environment is complex. How to precisely locate the drug and the photothermal carrier to the target in space, accompany microenvironment responsive release in time, and to reverse the multidrug resistance, are the key problems to be solved urgently for realize efficient and precise orally PTT-CT treatment of colon cancer. Therefore, this study intends to construct polydopamine coated nanodiamond (PNDs) multifunctional nanocarrier to ensure high drug loading capacity while endowing the tumor microenvironment/photothermal multiple responsive release characteristics of the system. PND is modified with sulfhydryl-polyethylene glycol-folate (SH-PEG-FA) for folate receptor targeting, and then loaded with antitumor drug, such as curcumin, paclitaxel, and so on.

To prepare nanodiamond (ND) dispersion, 10 mg ND powder was added in a mortar, add 700 mg sodium chloride crystals in batches and grind for 30 min, then disperse the powder in deionized water, and centrifuge at $8,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ for 10 min. Discard the supernatant, and wash the precipitation with deionized water three times to remove sodium chloride. Finally, ND precipitates were ultrasonically dispersed in deionized water for 45 min.

Dopamine hydrochloride (20 mg) was dissolved in 20 mL Tris-HCl buffer, 10 mL ND dispersion (0.1 mg/mL) was added and stirred at room temperature for 2 h, then centrifuge at $12000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ for 10 min. The precipitation was washed three times with deionized water. PDA membrane was coated on ND through oxidative polymerization of dopamine.

In order to couple of sulfhydryl-polyethylene glycol-folate (SH-PEG-FA) onto the surface of PND, 10 mg PND was dispersed in 10 mL Tris-HCl buffer (pH 8.5, 10 mM). 2 mg of (2-carboxyethyl) phosphine hydrochloride (TCEP) and 10 mg of SH-PEG-FA were then added. After stirred for 6 h at room temperature in the dark, and centrifuged at $12,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ for 10 min, the precipitate was washed thrice with deionized water to obtain PND-PEG-FA.

The uniform dispersion of ND is a prerequisite for the preparation of the final carrier, so we used the single factor investigation method to screen the dispersion process of ND. When other factors are fixed, the particle size of ND shows a downward trend with the increase of the ratio of ND to NaCl (Fig. 1). When the ratio is 1:30 and 1:50, ND cannot be completely and uniformly dispersed in NaCl due to the small amount of NaCl, resulting in the insufficient shear force to destroy the

interactions between the aggregated ND particles during milling. At a ratio of 1:70, the size was the smallest with a smaller PDI, indicating a more uniform distribution and better dispersibility. When other factors are fixed, the particle size of ND decreases with the extension of grinding time (Fig. 2). When the time was 15 min and 20 min, the grinding was not sufficient, and the shear force generated by the grinding was not enough to destroy the van der Waals force, hydrogen bond and other interactions between the aggregated ND particles, so the particle size was large. When the grinding time was 30 min, the PDI and the particle size was smaller, indicating that the size distribution was more uniform. Therefore, ND particle size was first reduced by mechanical grinding followed by ultrasonic crushing, and the ND surface was coated with PDA shell through the oxidative self-polymerization of dopamine, and the SH-PEG-FA was modified by Michael addition reaction to prepare PND-PEG-FA.

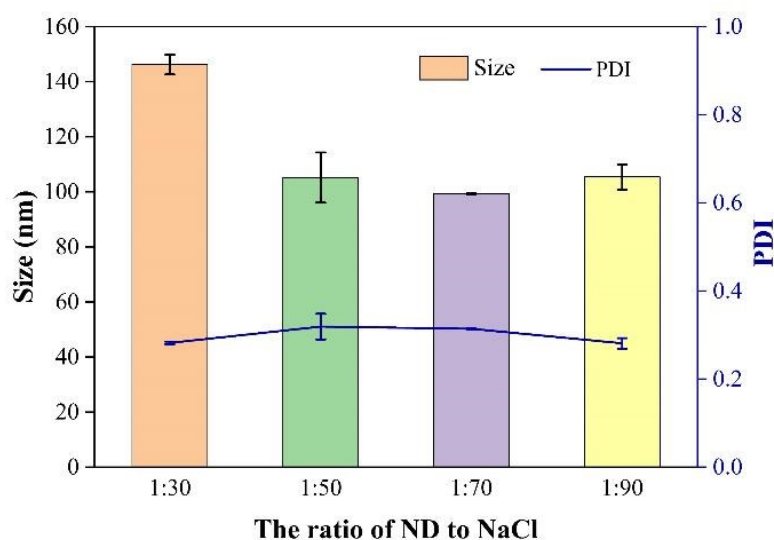


Fig. 1. The effect of the ratio of ND to NaCl on the particle size of ND. The data was presented as mean \pm SD (n = 3).

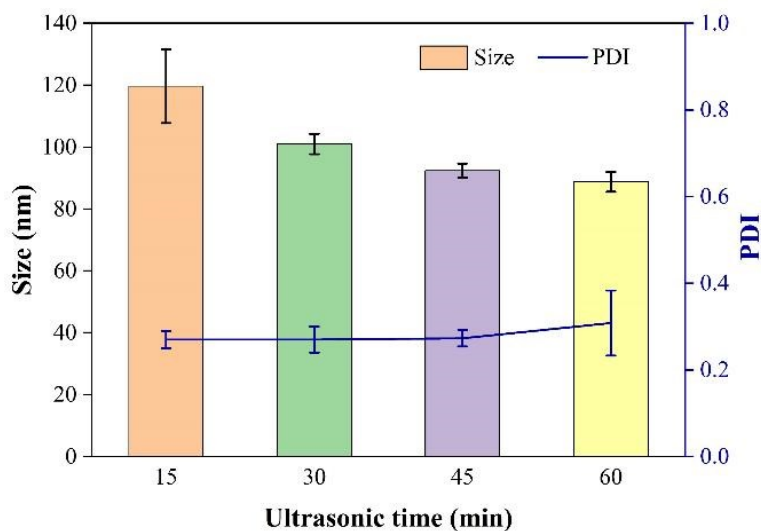


Fig. 2. The effect of ultrasonic time on the particle size of ND. The data was presented as mean \pm SD (n = 3)

The particle size and zeta potential of the sample was measured by dynamic light scattering (DLS) method (Zetasizer Nano ZS90, Malvern, U.K.). The particle size of ND, PND and PND-PEG-FA were 103.5 ± 1.2 nm, 143.2 ± 4.0 nm, and 163.0 ± 7.4 , respectively. The successful modification of nanocarriers was indirectly proved by the gradual increase of particle size. Compared with ND, the zeta potential of PND increased from -21.7 mV to -24.9 mV, which may be caused by the negative charge of the phenolic hydroxyl group of the PDA coating layer. After SH-PEG-FA modification, the zeta potential was reduced to -17.3 mV, which was due to the coating of PEG molecules on the PDA shell [4].

The morphology of the nanocarriers was observed by transmission electron microscopy (TEM) (Talos F200X, FEI, USA). According to Fig. 3, ND nanoparticles were composed of multiple monomers. ND-PEG-FA was also irregular shaped, and a coating layer could be observed on the surface, indicating the success of modification.

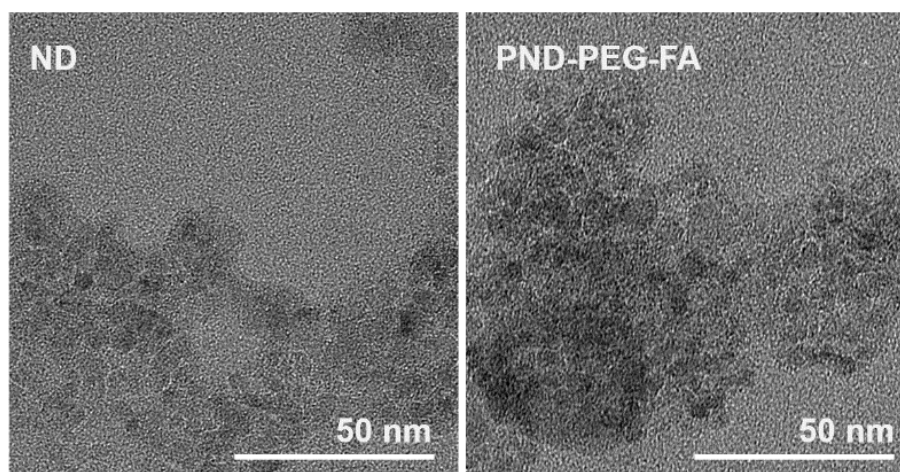


Fig. 3. TEM images of ND and PND-PEG-FA

The structure of ND-PEG-FA was further confirmed by FTIR method (Fig. 4). Each sample has a broad and strong absorption peak in the range of 3650 to 3000 cm^{-1} , which is attributed to the stretching vibration of $-\text{OH}$ on the ND surface and PDA. In the PND-PEG-FA infrared spectrum, a strong absorption peak can be seen at 1098 cm^{-1} , which is the stretching vibration peak of $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ in PEG molecules [5], and the absorption peak at 1605 cm^{-1} belongs to the $\text{N}-\text{H}$ bending vibration in FA [6].

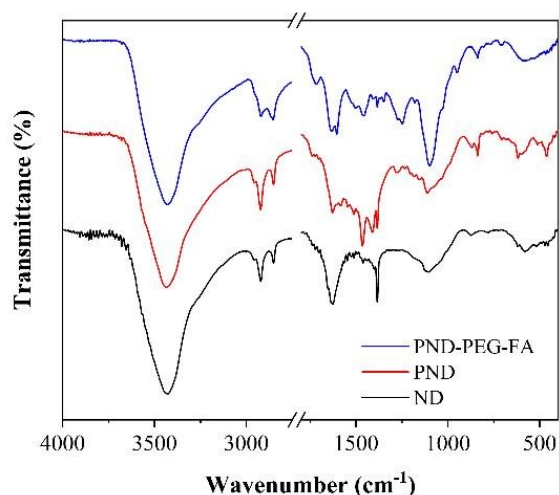


Fig. 4. FT-IR spectra of ND, PND, PND-PEG-FA

The dispersions of ND, PND and PND-PEG-FA (3 mL) were placed in a quartz cuvette, and irradiated with an 808 nm laser ($2 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$) for 10 min, respectively. Temperature changes were recorded by a thermometer. Deionized water was used as the control. In addition, the temperature variations of PND-PEG-FA dispersions with different concentrations were measured using the same method. The photothermal effects of ND, PND, and PND-PEG-FA were investigated (Fig. 5A). With the extension of laser irradiation time, the temperature of each sample increased. After 10 min of laser irradiation, the temperature of deionized water, ND, PND, and PND-PEG-FA increased by 4.0, 16.6, 29.2, and 27.9 °C, respectively. The heating effect of PND-PEG-FA was positively correlated with the concentration (Fig. 5B).

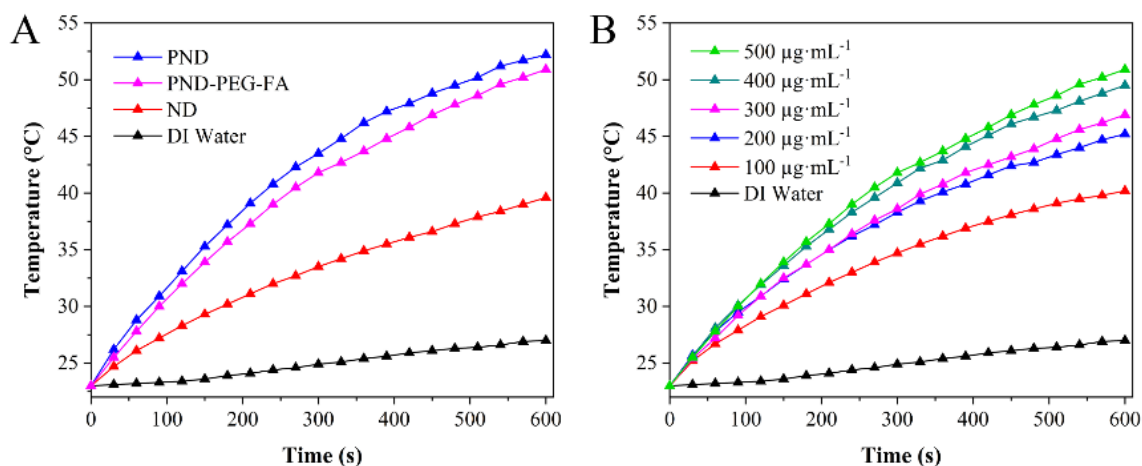


Fig. 5. Temperature variation of various nanoparticle dispersions (A) and different concentration of PND-PEG-FA (B) over time under laser irradiation (808 nm , $2 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$)

In this study, ND was depolymerized by mechanical grinding and ultrasonic method, and then modified by PDA and SH-PEG-FA. The particle size and zeta potential of PND-PEG-FA were $163.0 \pm 7.4 \text{ nm}$ and $-17.3 \pm 1.8 \text{ mV}$ measured by DLS method. The carrier was irregular shaped. The successful synthesis of the car-

rier was confirmed by FT-IR analysis. The results of photothermal performance showed that the carrier had good photothermal heating effect.

References

1. Strategies for targeted drug delivery in treatment of colon cancer: current trends and future perspectives / A. Banerjee, S. Pathak, D. S. Subramaniam, et al. DOI: 10.1016/j.drudis.2017.05.006 // Drug Discov. Today. 2017. Vol. 22. No. 8. P. 1224–1232.
2. Fabregas J. C., Ramnarain B., George T. J. Clinical updates for colon cancer care in 2022. DOI: 10.1016/j.clcc.2022.05.006 // Clin. Colorectal Cancer. 2022. Vol. 21. No. 3. P. 198–203.
3. Flower-like curcumin-loaded folic acid-conjugated ZnO-MPA- β -cyclodextrin nanostructures enhanced anticancer activity and cellular uptake of curcumin in breast cancer cells / S. B. Ghaffari, M. H. Sarrafzadeh, Z. Fakhroueian, M. R. Khorramizadeh. DOI: 10.1016/j.msec.2019.109827 // Mater. Sci. Eng. C. 2019. Vol. 103. Article No. 109827.
4. Polydopamine encapsulation of fluorescent nanodiamonds for biomedical applications / H. S. Jung, K. J. Cho, Y. Seol, et al. DOI: 10.1002/adfm.201801252 // Adv. Funct. Mater. 2018. Vol. 28. No. 33. Article No. 1801252.
5. A multifunctional platform for tumor angiogenesis-targeted chemo-thermal therapy using polydopamine-coated gold nanorods / L. Zhang, H. Su, J. Cai, et al. DOI: 10.1021/acsnano.6b06267 // ACS Nano. 2016. Vol. 10. No. 11. Article No. 10404.
6. Gold nanoparticles and gold nanorods in the landscape of cancer therapy / P. Kesharwani, R. Ma, L. Sang, et al. DOI: 10.1186/s12943-023-01798-8 // Mol. Cancer 2023. Vol. 22. No. 1. Article No. 98.

PREPARATION OF HETEROPOLY ACID QUATERNARY AMMONIUM SALT PHASE TRANSFER CATALYST AND ITS DEEP OXIDATIVE DESULFURIZATION OF FUEL

Jingsen Yan¹, Zeqing Wang¹, Tong Liu¹, Yang Chen^{1,2}

¹ *School of Biomedical & Chemical Engineering,
Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P.R. China,
Yanjs910@163.com,*
² *Vyatka State University, Russia*

A new type of polyoxometalates phase transfer catalyst, $[(C_{16}H_{33}(CH_3)_3N]_3-HPW_{11}VO_{40}$, was synthesized and applied to the catalytic oxidative desulfurization of model diesel oil using H_2O_2 as oxidant. The influencing factors of reaction were investigated in detail. The catalyst exhibits the dibenzothiophene conversion rate of 100% and excellent reusability and retrievability after five times reaction.

Keywords: oxidative desulfurization, vanadium-substituted phosphotungstic acid, phase transfer catalyst, dibenzothiophene.

After the combustion of sulfur-containing compounds in diesel oil, sulfur oxide compounds (SO_x) formed is an important reason of acid rain and haze. So ultra-low-sulfur diesel, with a sulfur content lower than 10 or 15 ppmw, is applicable in China, Europe and North America. Hydrodesulfurization (HDS) process has been

the most widely used method for fuel oil desulfurization, which can easily remove mercaptan, thiophene from diesel oil, but the removal rate of dibenzothiophene (DBT) and its alkylated derivatives is low. Compared with traditional HDS technology, oxidative desulfurization (ODS) technology has the advantages of less investment, mild reaction conditions, and high ODS activity for DBT and its derivatives [1, 2].

Several researchers have reported that the heteropoly acid /H₂O₂ system is highly efficient and environmentally friendly in ODS because the oxidation coproduct of H₂O₂ as oxidant is H₂O [1–4]. However, the heteropoly acid / H₂O₂ system is carried out in a two-phase system, and the aqueous H₂O₂ and sulfur-containing compounds in fuel have high interphase resistance and low mass transfer rate, which affects the oxidation reaction rate and desulfurization effect. The application of quaternary ammonium salt phase transfer catalyst can help transfer the reactants from one phase to another, increase the contact area of the two phases, reduce the reaction resistance, and accelerate the reaction rate of the hetero-phase system [2, 4]. Oxidative activity of heteropoly acid catalyst is related to the central atom or coordination atom. Similarly, different quaternary ammonium salts have different phase transfer abilities [4]. In this study, vanadium-substituted ternary heteropolyacid (H₄[PW₁₁VO₄₀]) was first synthesized and then reacted with different proportions of cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) by ion exchange method to obtain a series of phase transfer catalysts with different compositions. The ODS activity and reusability of catalysts, optimum catalyst composition and reaction conditions were investigated.

H₄[PW₁₁VO₄₀] was synthesized according to the literature [5]. The phase transfer catalysts with different composition were prepared by ion exchange method. Taking preparation of (CTAB)_nH_{4-n}[PW₁₁VO₄₀] for example. 0.8, 0.6, 0.4 and 0.2 mmol CTAB were dissolved in 20 mL distilled water to form solution A, respectively. 0.55g(0.2mmol) H₄[PW₁₁VO₄₀] was dissolved in 30 mL distilled water to form solution B, which was added dropwise to solution A and stirred at 50 °C for 5h, producing milky precipitate. After cooling at room temperature, it was filtered and washed with deionized water until Br⁻ was not present. The powder solids were dried at 110 °C to obtain different compositions catalysts, which were denoted as (CTAB)₄[PW₁₁VO₄₀], (CTAB)₃H-[PW₁₁VO₄₀], (CTAB)₂H₂[PW₁₁VO₄₀], (CTAB)H[PW₁₁VO₄₀], respectively.

In a typical DBT oxidation experiment, 40 mL of model fuel (1.0 wt.%DBT in n-octane) was added to a three-neck flask with a magnetic stirring device, and then a certain amount of catalyst and H₂O₂ added. The reaction was carried out in a constant temperature water bath at 50 °C for 1~3 h. Evaluation of catalyst activity was measured by DBT conversion. Both raw material and products were analyzed on Agilent 6890N gas chromatograph, equipped with HP-5 capillary column (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm), and FID detector. Infrared spectra of catalysts were measured by Beijing Beifen-Ruili WQF-510A FT/IR spectrometer during the wave-number range 400–4000 cm⁻¹ using KBr pellet.

Figure 1 shows FT-IR spectra of $H_4[PW_{11}VO_{40}]$, $(CTAB)_3H[PW_{11}VO_{40}]$ and CTAB. In the infrared spectra of $H_4[PW_{11}VO_{40}]$, there are four characteristic vibrational bands at 804, 893, 982 and 1080 cm^{-1} , which are assigned to $\nu_{as}(P-O_a)$, $\nu_{as}(M=O_d)$, $\nu_{as}(M-O_b-M)$ and $\nu_{as}(M-O_c-M)$ ($M=W, V$), respectively. Those four well-known characteristic bands prove the presence of Keggin-type heteropoly anion (HPA) [5]. In the infrared spectra of CTAB, the absorption peaks at 2920 cm^{-1} and 2849 cm^{-1} are attributed to the stretching vibration of $-CH_2$ and $-CH_3$, respectively, while 1475 cm^{-1} and 720 cm^{-1} are due to the deformation vibration peaks of $-CH$ [4]. More importantly, the characteristic peaks of Keggin-type heteropoly acid and alkyl can be seen from the infrared spectra of $(CTAB)_3H[PW_{11}VO_{40}]$, indicating that the existence of quaternary ammonium cation group and heteropoly anion groups in the obtained phase transfer catalyst.

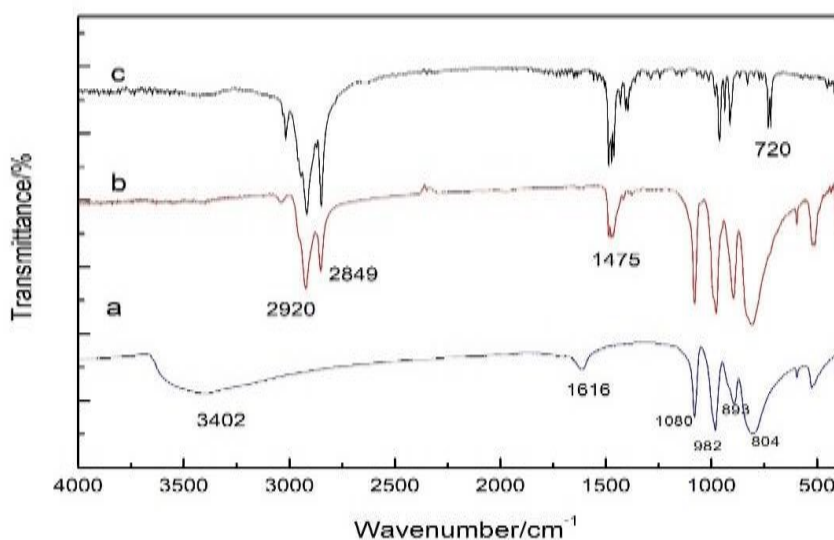


Fig. 1. FT-IR spectra of the samples: a – $H_4[PW_{11}VO_{40}]$, b – $(CTAB)_3H[PW_{11}VO_{40}]$, c – CTAB

The oxidative desulfurization performance of different catalysts was evaluated and shown in Table 1. It can be seen from Table 1 that the conversion rate of DBT in the absence of catalyst is 3.37%, indicating that the reaction rates was very slow. The DBT conversions of $H_3PW_{12}O_{40}$ and $H_4PW_{11}VO_{40}$ catalysts were 24.38% and 36.15%, respectively. The low conversions were mainly attributed to the high mass transfer resistance in the oil-water two-phase system, which affected the reaction rate and desulfurization efficiency. Under the same conditions, the DBT removal rates of $(CTAB)_3PW_{12}O_{40}$ and $(CTAB)_3HPW_{11}VO_{40}$ catalysts were 2.96 times and 2.39 times higher than those of $H_3PW_{12}O_{40}$ and $H_4PW_{11}VO_{40}$ catalysts, respectively, indicating that the phase transfer catalysts reduced the mass transfer resistance of oil-water two-phase system, and the desulfurization efficiency was significantly improved.

As can be seen from Table 1, different composition of catalysts also has an effect on the oxidative desulfurization activity of DBT, which is probably because different composition leads to different mass transfer rates. The appropriate $n(CTAB)/n(PW_{11}VO_{40}^-)$ ratio is conducive to the formation of stable emulsion

drops and full contact of reactants, reducing mass transfer resistance. (CTAB)₃HPW₁₁VO₄₀ has the best catalytic performance.

Table 1 also shows the influence of different oxygen-sulfur ratio (n(H₂O₂)/n(S)) on DBT conversion rate. When oxygen-sulfur ratio is 2, DBT conversion rate is 82.67%. When the ratio of oxygen to sulfur was 4:1, the conversion rate of DBT increased, but not significantly. When the ratio of oxygen to sulfur is 8:1, the desulfurization rate can reach 99.96% after 3 h, which is close to the complete reaction.

The influence of catalyst dosage (calculated by molar ratio of n(catalyst)/n(S)) on DBT conversion is shown in Table 1. In addition to the catalyst with a molar ratio of 1/100, the other catalysts can achieve more than 99% desulfurization after 3h, so the catalyst with a molar ratio of 1/80 is selected as the best dosage.

Table 1

Comparison of catalytic efficiency for ODS of DBT on different catalysts

| No. | Catalyst | T, °C | t, h | n(catalyst)/n(s) | n(H ₂ O ₂):n(S) | DBT conversion, % |
|-----|--|-------|------|------------------|--|-------------------|
| 1 | without catalyst | 50 | 3 | 0 | 4 : 1 | 3.37 |
| 2 | H ₃ PW ₁₂ O ₄₀ | 50 | 3 | 1/20 | 4 : 1 | 24.38 |
| 3 | H ₄ PW ₁₁ VO ₄₀ | 50 | 31 | 1/20 | 4 : 1 | 26.15 |
| 4 | (CTAB) ₃ PW ₁₂ O ₄₀ | 50 | 3 | 1/20 | 4 : 1 | 72.26 |
| 5 | (CTAB)H ₃ PW ₁₁ VO ₄₀ | 50 | 3 | 1/20 | 4 : 1 | 62.15 |
| 6 | (CTAB) ₂ H ₂ PW ₁₁ VO ₄₀ | 50 | 3 | 1/20 | 4 : 1 | 83.22 |
| 7 | (CTAB) ₃ HPW ₁₁ VO ₄₀ | 50 | 3 | 1/20 | 4 : 1 | 86.41 |
| 8 | (CTAB) ₄ PW ₁₁ VO ₄₀ | 50 | 3 | 1/20 | 4 : 1 | 77.68 |
| 9 | (CTAB) ₃ HPW ₁₁ VO ₄₀ | 50 | 3 | 1/20 | 2 : 1 | 82.67 |
| 10 | (CTAB) ₃ HPW ₁₁ VO ₄₀ | 50 | 3 | 1/20 | 8 : 1 | 99.96 |
| 11 | (CTAB) ₃ HPW ₁₁ VO ₄₀ | 50 | 3 | 1/40 | 8 : 1 | 100 |
| 12 | (CTAB) ₃ HPW ₁₁ VO ₄₀ | 50 | 3 | 1/80 | 8 : 1 | 100 |
| 13 | (CTAB) ₃ HPW ₁₁ VO ₄₀ | 50 | 3 | 1/100 | 8 : 1 | 96.63 |
| 14 | (CTAB) ₃ HPW ₁₁ VO ₄₀ | 50 | 2 | 1/80 | 8 : 1 | 97.86 |
| 15 | (CTAB) ₃ HPW ₁₁ VO ₄₀ | 40 | 2 | 1/80 | 8 : 1 | 91.12 |
| 16 | (CTAB) ₃ HPW ₁₁ VO ₄₀ | 30 | 2 | 1/80 | 8 : 1 | 45.66 |

As can be seen from Table 1, temperature is the key factor affecting the conversion rate of DBT. The conversion rate of DBT at 30 °C in 2h is 45.66%. When the reaction temperature was increased to 40 °C and 50 °C, the conversion rate of DBT increased significantly, reaching 91.12% and 97.86%, respectively. When the reaction time was increased from 2 to 3h, the conversion rate of DBT reached 100%, indicating that the thermodynamic equilibrium was reached after 3h. Therefore, 50 °C and 3h are the best reaction temperature and reaction time from the perspective of reaction equilibrium time and DBT conversion.

The mechanism of the phase transfer catalytic oxidative desulfurization reaction can be explained by Fig. 2. Heteropolyacid anion Y^- and quaternary ammonium cation Q^+ exist in the reaction system in the form of ion pairs. Heteropolyacid anion Y^- is a hydrophilic group, which is oxidized by H_2O_2 in the aqueous phase to become an active peroxy heteropolyacid anion $Y^-[O]$. Quaternary ammonium cation Q^+ is a lipophilic group, which can bring the oxidized heteropolyacid anion $Y^-[O]$ into the oil phase. The sulfur compound DBT in the oil was catalyzed to become the more polar dibenzothiophene sulfone, and the peroxy heteropoly anion was reduced to heteropoly anion and re-entered the water phase, finishing a catalytic cycle.

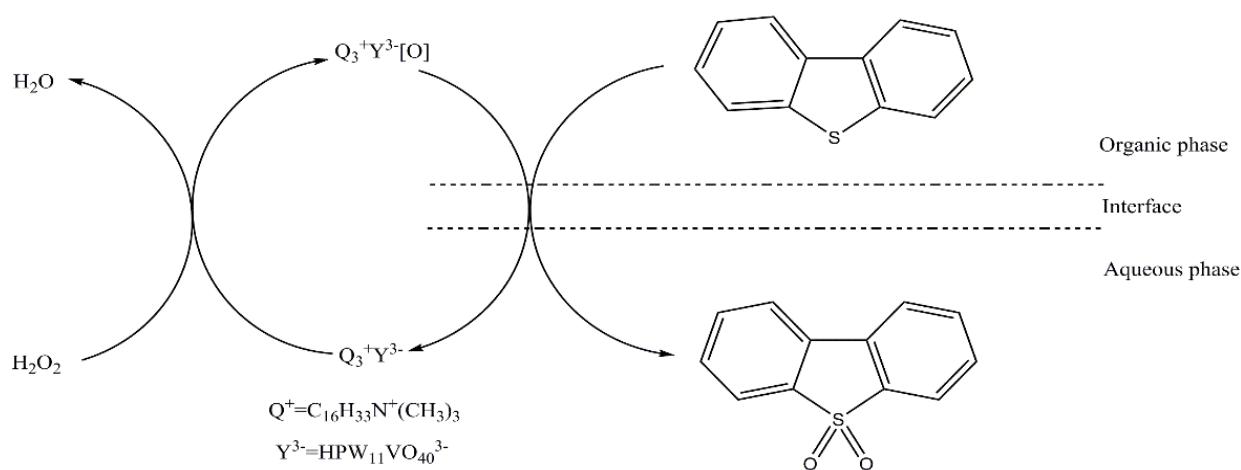


Fig. 2. ODS mechanism of DBT using $(C_{16}H_{33}N(CH_3)_3)_3HPW_{11}VO_{40}$ catalyst

It is assumed that heteropoly acid (HPA) anion provided catalytic activity, while quaternary ammonium cation provided phase transfer ability, which not only improved catalytic activity, but also facilitated the recovery of catalysts. At the beginning of the reaction, the catalyst is solid at the bottom of the reactor and forms a heterogeneous system. When the temperature rises to the reaction temperature of $50\text{ }^\circ\text{C}$ under stirring, the catalyst and reactants form a microemulsion system and behave like homogeneous mixture during reaction, but precipitates with biphasic separation after reaction. The catalyst could be quickly separated and recycled by centrifugation. It was proved that the conversion rate of DBT hardly changes after five runs, indicating that the catalyst has good reusability.

In summary, $[(C_{16}H_{33}(CH_3)_3)N]_3HPW_{11}VO_{40}$ with amphiphilic and oxidizing properties was synthesized through ion exchange method. It was proved to be efficient and reusable phase transfer catalyst for ODS of DBT. The catalyst exhibited DBT conversion rate of 100% and excellent reusability with 99.97% conversion after five times reaction under mild reaction conditions of $n_{\text{catalyst}}/n_{\text{DBT}}=1/80$, $n_{\text{H}_2\text{O}_2}/n_{\text{DBT}}=8/1$, $50\text{ }^\circ\text{C}$, and atmospheric pressure in 3 h. The catalyst could be quickly separated and recycled by centrifugation after reaction, promising in the low-sulfur fuel production.

References

1. Oxidative desulfurization strategies using Keggin-type polyoxometalate catalysts: Biphasic versus solvent-free systems / S. O. Ribeiro, C. M. Granadeiro, P. L. Almeida, et al. DOI: 10.1016/j.cattod.2018.10.046 // *Catal. Today*. 2019. Vol. 333. No. 1. P. 226–236.
2. Banisharif F., Dehghani M. R., Campos-Martin J. M. Oxidative desulfurization of diesel using vanadium-substituted Dawson-type emulsion catalysts. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b02791 // *Energy Fuels*. 2017. Vol. 31. No. 5. P. 5419–5427.
3. Deep oxidative desulfurization of refractory sulfur compounds with cesium salts of mono-substituted phosphomolybdate as efficient catalyst / Y. Zhang, Y. Gu, X. Dong, et al. DOI: 10.1007/s10562-017-2078-5 // *Catal. Lett.* 2017. Vol. 147. No. 7. P. 1811–1819.
4. Optimization of composition of a directly combined catalyst in dibenzothiophene oxidation for deep desulfurization / D. Huang, Z. Zhai, Y. C. Lu, et al. DOI: 10.1021/ie0611857 // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2007. Vol. 46. No. 5. P. 1447–1451.
5. Catalytic synthesis of chloroacetates with thermoregulated ionic liquids based on vanadium-substituted polyoxometalate / J. Yan, Z. Wang, E. Yongsheng, et al. DOI: 10.1039/c8ra10659b // *RSC Adv.* 2019. Vol. 9. No. 15. P. 8404–8410.

PHOTOCHROMIC PROPERTIES OF TiO₂-DOPED KEGGIN-TYPE SILICON-MOLYBDENUM-TUNGSTEN TERNARY HETEROPOLY ACID COMPOSITE FILM

*Danfeng Zhang*¹, *Limei Ai*¹, *Junyi Hui*^{1,2}, *Zijing Wang*¹

¹ *School of Biomedical & Chemical Engineering, Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China, smile02df@163.com,*
² *Vyatka State University, Russia*

TiO₂/SiMo₁₁W/polyvinyl alcohol composite films were prepared by TiO₂-doping as the third component into Keggin-type tungsten-molybdenumsilicic acid (H₄SiMo₁₁W)/ polyvinyl alcohol (PVA). TiO₂ doping enhanced the non-chemical bond interaction between the heteropoly acid and polymer, and the basic structures of H₄SiMo₁₁W and PVA were undecomposed. Under ultraviolet light (UV) irradiation, the TSP composite film changed from light yellow to blue.

Keywords: photochromic film, Keggin-type heteropolyacid, tungsten- molybdenumsilicic acid, polyvinyl alcohol, TiO₂

Heteropoly acid are a class of homogeneous inorganic polymers with M₃O₁₃ trimetallic oxygen cluster structure, which are widely used in many fields because of their strong acidity, strong oxidation and high electron transfer ability [1–5] Generally speaking, tungsten heteropoly acid is acidic, molybdenum heteropoly acid oxidation is strong, by changing its composition, can adjust the acidity and oxidation of heteropoly acid, which is conducive to the exploration of photochromic properties [6–8]. At present, there are few researches on the preparation of ternary substituted heteropoly acids by tungsten and molybdenum substitution and the modulation of photochromic properties of heteropoly acids [9, 10]. In this paper, an inorganic-organic composite film was prepared, which composed of nano-TiO₂

doping the ternary substituted heteropoly acid $H_4SiMo_{11}W$ and PVA. Photochromic properties and influencing factors of the film was researched.

Keggin type $H_4SiMo_{11}W$ was synthesized according to the reported literature. The $SiMo_{11}W$ was added to deionized water with stirred at $65\text{ }^\circ\text{C}$ and 10 mg/mL $SiMo_{11}W$ aqueous solution was obtained. The aqueous solution of $SiMo_{11}W$ was added to an equal volume of $1\text{wt}\%$ PVA solution with stirring under dark condition at $65\text{ }^\circ\text{C}$ for 2 hours. After cooling to room temperature, a $SiMo_{11}W/PVA$ yellow transparent composite liquid was obtained. The TiO_2 powder was added to deionized water under ultrasonic at room temperature for 30 min to prepare $1\text{wt}\%$ suspension. $5\mu\text{L}$, $10\mu\text{L}$, $20\mu\text{L}$ and $30\mu\text{L}$ of the TiO_2 suspension were added to 20 mL of the $SiMo_{11}W/PVA$ composite liquid under ultrasonic for 1 hour at dark condition to obtain $TiO_2/SiMo_{11}W/PVA$ composite liquid. Then $10\text{ }\mu\text{L}$ of $TiO_2/SiMo_{11}W/PVA$ composite liquid was coated on the glass substrate by spin coating method and dried at room temperature, and then a pale yellow transparent composite film having a film thickness of about $2\text{ }\mu\text{m}$ was obtained. The composite films were named as I- $TiO_2/SiMo_{11}W/PVA$, II- $TiO_2/SiMo_{11}W/PVA$, III- $TiO_2/SiMo_{11}W/PVA$ and IV- $TiO_2/SiMo_{11}W/PVA$, respectively.

As shown in Fig.1, the characteristic peaks of PVA were not damaged after recombination with heteropoly acids. Four characteristic peaks of the Keggin-type heteropoly acid $SiMo_{11}W$ displayed shift slightly when $SiMo_{11}W$ combine with TiO_2 and PVA. That can be attributed to hydrogen bonding interaction or electrostatic force between polyacid anion and polymer substrate. It can be found that the vibration peaks position of $\nu_{(M-Od)}$ and $\nu_{(Si-Oa)}$ if composite films were red shifted, inferring that the heteropoly acid $TiO_2/SiMo_{11}W/PVA$ composite film has undergone photoreduction.

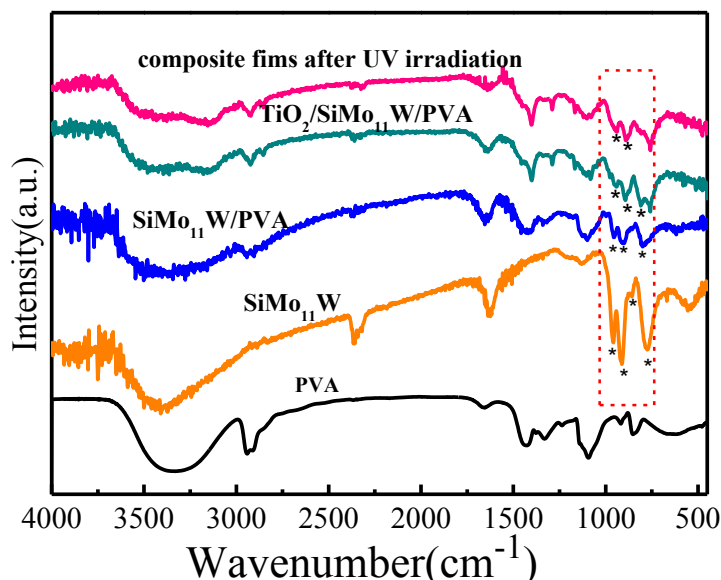


Fig. 1. FTIR spectra of different samples

Photographs of the $TiO_2/SiMo_{11}W/PVA$ composite film reversible Photochromism shows in Fig. 2. The composite film formed on the activated glass wafer by the drop film method. The film on the glass wafer was transparent light yellow

when unirradiated by ultraviolet light. However, the film changed from light yellow to blue after a few minutes by ultraviolet light.

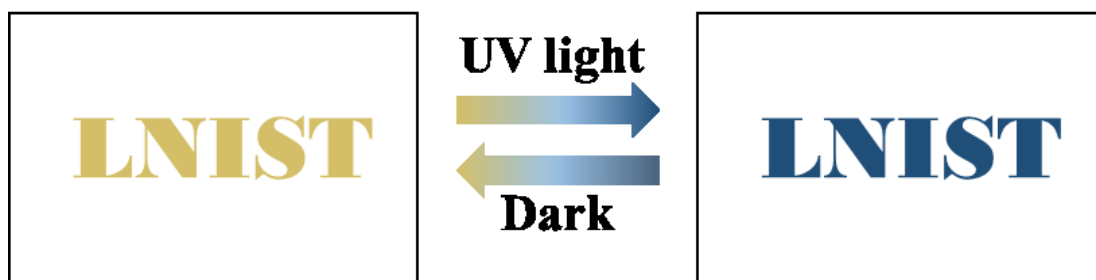


Fig. 2. Images of the $\text{TiO}_2/\text{SiMo}_{11}\text{W}/\text{PVA}$ composite film reversible Photochromism

It can be seen from Fig. 3 that the maximum absorbance of the $\text{TiO}_2 / \text{SiMo}_{11}\text{W} / \text{PVA}$ composite film tends to saturate with the extension of the UV light time. Moreover, the absorption peak strength of the composite film increases with increase of the amount of TiO_2 under the same conditions and the absorbance of the composite film reached 0.10, 0.176, 0.33, 0.50 and 0.553, respectively with increase of TiO_2 content at saturation. As a result, the light absorption efficiency of the composite film was improved, and the photochromic effect of the ternary composite film was enhanced with the addition of TiO_2 .

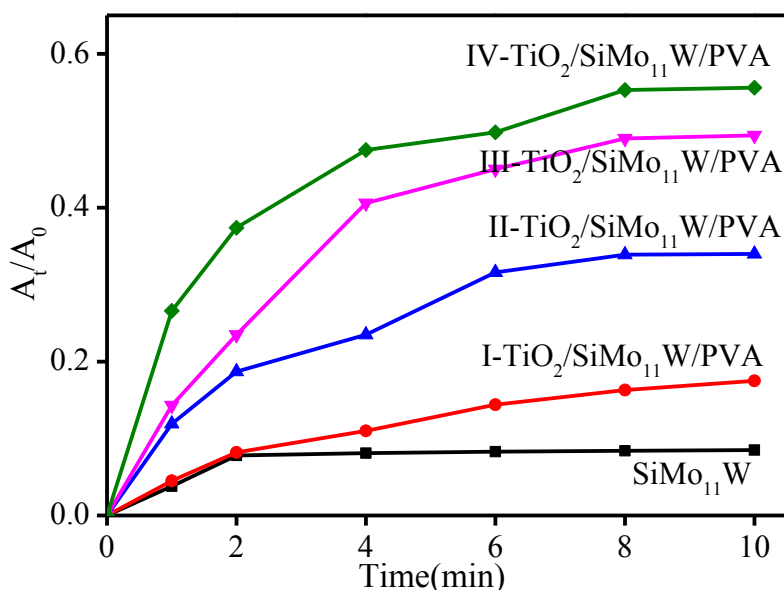


Fig. 3. The change of absorbency for the $\text{TiO}_2/\text{SiMo}_{11}\text{W}/\text{PVA}$ composite films containing different TiO_2 content vs UV irradiation time at 764 nm

A series of novel composite films were obtained by doping TiO_2 as into $\text{H}_4\text{SiMo}_{11}\text{W} / \text{PVA}$ composite films. Heteropoly acid and TiO_2 were well dispersed in the PVA organic network, and TiO_2 showed amorphous in composite film. Composite films exhibited reversible photochromism. The absorption peak strength of the composite film increases with increase of the amount of TiO_2 under the same conditions. The photochromic efficiency of the heteropolyacid composite film is significantly higher than the undoped composite film however the discoloration

speed of the composite film will decrease significantly as the doping amount increases. Thus, photochromic efficiency of the composite films effectively improved and discoloration speed slowed down by doping TiO₂.

This project was supported by Liaoning Natural Science Foundation Project of China (2022-MS-366), the Doctoral Start-up Foundation of Liaoning Provincial Natural Science Foundation of China (2022-BS-298). The authors also thank their colleagues and other students who participated in this work.

References

1. Instantaneous visible-light photochromic performance of composite powders based on PMoA and ZnO nanotubes / T. Yue, B. Han, X. Wang, et al. DOI: 10.1246/cl.190127 // Chem. Lett. 2019. Vol. 48. P. 851–854.
2. Ultrasonic-assisted organic–inorganic multilayer thin film synthesis and enhanced visible-light phototropy based on PVP /PMoA / Y. T. Huang, Y. B. Sun, Q. R. Zeng, W. Feng. DOI: 10.1007/s10853-021-06481-1 // J. Mater. Sci. 2021. Vol. 56. P. 19870–19883.
3. UV-light and visible-light photochromism of inorganic–organic multilayer films based on polyoxometalate and poly(acrylamide) / H. F. Bao, X. Y. Wang, G. Q. Yang, et al. DOI: 10.1007/s00396-014-3336-3 // Colloid Polym. Sci. 2014. Vol. 292. No. 11. P. 2883–2889
4. Application of a Keggin-type heteropoly acid on supporting nanoparticles in photocatalytic degradation of organic pollutants in aqueous solutions / M. Taghavi, M. H. Ehrampoush, M. T. Ghaneian, et al. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.280 // J Clean Prod. 2018. Vol. 197. No. 1. P. 1447–1453.
5. Liu Y. F., Hu C. W., Yang G. P. Recent advances in polyoxometalates acid-catalyzed organic reactions. DOI: 10.1016/j.ccllet.2022.108097 // Chinese Chem. Lett. 2023. Vol. 34. No. 5. Article No. 108097.
6. A heteropoly blue as environmental friendly material: An excellent heterogeneous Fenton-like catalyst and flocculent / B. L. Fei, N. P. Deng, J. H. Wang, et al. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.07.023 // J. Hazard Mater. 2017. Vol. 340. No. 15. P. 326–335.
7. Enferadi-Kerenkan A., Do T. O., Kaliaguine S. Heterogeneous catalysis by tungsten-based heteropoly compounds. DOI: 10.1039/C8CY00281A // Catal. Sci. Technol. 2018. Vol. 8. P. 2257–2284.
8. da Silva M. J., Rodrigues A. A., Lopes N. P. G. Keggin heteropolyacid salt catalysts in oxidation reactions: a review. DOI: 10.3390/inorganics11040162 // Inorganics. 2023. Vol. 11. No. 4. Article No. 162.
9. Preparation, characterization, photochromic properties, and mechanism of PMoA/ZnO/PVP composite film / T. Song, J. Li, Q. Deng, Y. Gao. DOI: 10.3390/molecules28227605 // Molecules. 2023. Vol. 28. No. 22. Article No. 7605.
10. Tungsten-substituted molybdophosphoric acid impregnated with kaolin: effective catalysts for the synthesis of 3,4-dihydropyrimidin-2(1*H*)-ones *via* Biginelli reaction / D. S. Aher, K. R. Khillare, L. D. Chavan, S. G. Shankarwar. DOI: 10.1039/d0ra09811f // RSC Adv. 2021. Vol. 11. No. 5. Article No. 2783.

ECO-FRIENDLY PEST CONTROL METHODS: PHARMACEUTICAL INNOVATION FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN INDIA. HARNESSING SCIENCE FOR GREENER FARMS AND HEALTHIER ECOSYSTEMS

Sandesh Kumar Daftari

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

This abstract provides an overview of eco –friendly pest control method in india, focusing on pharmaceutical innovation. It discusses the importance of sustainable agriculture and the need to transition away from chemical pesticides. The abstract highlight the role of pharmaceutical companies in developing biopesticides, pheromone – based traps, botanical extract, genetically modified organism (GMOs) and microbial agents as alternative to conventional pest control strategies. The abstract underscores the importance of investment, research, and collaboration for advancing eco-friendly pest control strategies in India.

Keywords: eco-friendly pest control, sustainable agriculture, pharmaceutical innovation, biopesticide, pheromone-based traps, botanical extracts, genetically modified organism (GMOs), microbial agents.

In recent years, the quest for sustainable agricultural practices has become increasingly urgent, driven by the need to mitigate environmental degradation and ensure food security for a growing global population. In India, where agriculture is a cornerstone of the economy and livelihoods, the push for eco-friendly pest control methods has gained significant momentum. One promising avenue for achieving this goal lies in pharmaceutical innovation, where advancements in science and technology are paving the way for safer, more sustainable approaches to pest management.

Despite efforts to promote sustainable agriculture, chemical pesticides remain widely used in India. However , concerns over pesticide residue , environmental pollution, and health risk have spurred the search for alternative pest control strategies integrated pest management (IPM) approaches, combining biological, culture and chemical control methods , have gained traction. Additionally, there is growing interest in eco-friendly alterative, including botanical extract, microbial agents and biopesticides.

Pharmaceutical innovation for sustainable agriculture in India has seen significant advancements, with a focus on developing eco-friendly solutions to pest control, improving crop resilience, and promoting environmental sustainability, pharmaceutical companies in India are stepping up to the challenge of developing eco-friendly pest control methods. By harnessing the power of biotechnology, genetics, and organic chemistry, researchers are pioneering innovative solutions that minimize harm to the environment while effectively targeting agricultural pests.

These advancements encompass a wide range of approaches, from biopesticides derived from natural sources to genetically modified crops engineered for pest resistance.

Biopesticides, derived from naturally occurring substances such as plants, bacteria, and fungi, represent a promising alternative to chemical pesticides. These eco-friendly formulations offer targeted pest control with minimal impact on non-target organisms and the surrounding ecosystem. In India, biopesticides such as neem-based formulations have gained traction for their effectiveness against a variety of pests, including insects and nematodes. Moreover, the production and use of biopesticides contribute to sustainable agriculture by promoting biodiversity and reducing chemical residues in food crops.

Pheromone-based traps are tools used in pest management that utilize chemicals called pheromones to attract and capture insects. Pheromones are natural chemicals produced by insects to communicate with each other. By mimicking these chemicals, scientists can lure pests into traps, disrupting their mating cycles and controlling their populations without the use of harmful chemicals.

Pharmaceutical companies invest in research to develop synthetic pheromones that mimic those naturally produced by insects. This involves studying insect behavior, chemical synthesis, and field testing to create effective lure formulations.

Pharma companies play a crucial role in the large-scale production of pheromone lures and traps. Their expertise in chemical synthesis and manufacturing ensures the quality and consistency of these products.

Zero Budget Natural Farming (ZBNF) is an agricultural practice that promotes sustainable farming without the use of external inputs like chemical fertilizers and pesticides. In relation to pharmacognosy, ZBNF emphasizes the cultivation of medicinal plants for pest control and soil fertility, leveraging their natural properties to enhance crop health and yield (tables 1–4).

Table 1

Basic Pillars of ZBNF

| No. | Methods | Preparation | Benefits |
|-----|--------------------|---|--|
| 1. | Jivamrita | For 1 acre It is made from cow-dung (10 kg), urine (5–10 L), jaggery (1 kg) and flour (1 kg) and is applied to crops with each irrigation cycle. | It provides nutrients and promotes activity of microorganisms in soil, as well as increases earthworm activity. It also helps to prevent from fungal and bacterial diseases. |
| 2. | Bijamrita | For 10 kg seed It is basically made up of water (2 L), cow dung (500 g), urine (500 ml), lime (5 g) and a little quantity of soil. | It is used for seed treatment, protecting young roots from fungus as well as from soil and seed-borne diseases. |
| 3. | Acchadana Mulching | It can be done by soil mulch, straw mulch. | It conserves soil moisture, by reducing evaporation. |
| 4. | Whapasa moisture | The irrigation should be reduced and irrigation should be practiced at noon in alternate furrows | It is appropriate proportion of air and water molecules present in soil. |

Table 2

Fungicides in ZBNF

| No. | Name of fungicide | Compsition | Benefits |
|-----|---------------------------------|---|------------------------|
| 1 | Sour Butter Milk (Khatti Lassi) | For 1acre It is made from sour butter milk (Khatti Lassi) (5 L), water (200 L), then mixed and applied to crops by irrigation. | It acts as a fungicide |
| 2 | Sonthastar | Dry sonth 200 g, desi cow milk (5 L), wa- ter (200 L) | It acts as a fungicide |

Table 3

Pest Management in ZBNF

| No. | Name of Pest | Management Formulae | Benefits |
|-----|--------------|--|---|
| 1. | Agniastra | It composed of 20 L local cow urine, 500 g Tobacco, 500 g of Green Chilli, 500 g of Local Garlic, 5 kg Neem leaves pulp (crushed in urine). For 1 acre spraying, 6–8 L Agniastra left after boiling is taken in 200 L water. | It is effective against the pests like leaf roller, stem-borer, fruit borer, and pod-borer. |
| 2. | Brahmastra | For 10 kg seed It is basically made up of water (2 L), cow dung (500 g), urine (500 ml), lime (5 g) and a little quantity of soil. | It is used for seed treatment, protecting young roots from fungus as well as from soil and seed-borne diseases. |
| 3. | Neemastra | It is made up of local cow urine (5 L), cow dung (5 kg) and neem leaves (5 kg) water (100 L). It is prepared by mixing all materials and use after 48–72 hours for 1 acre. | It is used for sucking pests and mealy bug. |
| 4. | Dashpani ark | It composed of 200 L water, 20 L local cow urine, 2 kg cow dung, 500 g turmeric powder, 500 g ginger paste, 200 g asafoetida (heeng) powder, 1 kg tobacco powder, 1 kg of green chilli paste, 1 kg garlic paste, 2 kg leaves of 10 plants castor (eranda), neem karang, custard apple, bael, aak, datura, mango, guava, marigold, turmeric. Then mix all material then use this solution for 1 acre after 28 days. | It is used to control all of sucking pests and borers. |

Other formulations in ZBNF

| No. | Name of formulae | Composition | Benefits |
|-----|---------------------------|--|---|
| 1. | <i>Jungle ki Kandi</i> | One year old cow dung cake 15 kg and 50 L of water. Mix well in drum and place in shade for 4 days and spray the solution for 1 acre after four days in 200 L of water. | It acts as growth promoter (gibberellic acid). |
| . | <i>apt dhanyankur ark</i> | 100 g of each sesame, green gram, black gram, lobia, coffee, mash, wheat seeds. Soaked and sprouted seeds of these are crushed in 200 L of water & place it for 2 hrs. After 2 days drain out solution out of it and spray within 48 hrs in 1 acre area in 200 L of water. | It develops shining in fruits, vegetables and seed crops. |

These formulations, inspired by pharmaceutical drug delivery systems, are designed to release their active ingredients slowly and steadily over time, ensuring optimal uptake by plants while minimizing waste and environmental impact. This technology allows for precise control over the timing and dosage of inputs, resulting in improved crop health, yield, and resource efficiency.

Controlled-release formulations rely on various mechanisms to regulate the release of nutrients and agrochemicals to crops. These mechanisms include diffusion, osmosis, chemical reactions, and microbial degradation.

Integrated Pest Management (IPM) approaches integrate multiple pest control strategies, including biological, cultural, and chemical methods, to manage pest populations effectively while minimizing environmental impact. Pharmaceutical companies are developing IPM solutions tailored to the diverse agro-climatic regions of India, promoting sustainable pest management practices.

Pharmaceutical companies are exploring sustainable packaging materials derived from renewable sources such as plant-based bioplastics and recycled materials. By reducing the environmental footprint of agricultural inputs and products, these innovative packaging solutions contribute to overall sustainability in the agricultural value chain.

Nano-pesticides, formulated using nanotechnology, offer precise and targeted delivery of active ingredients to pests while minimizing environmental contamination. These innovative formulations improve the efficacy of pest control measures while reducing the quantity of pesticides required, thus enhancing sustainability.

Microbial-based solutions harness the power of beneficial microorganisms to combat pests and diseases in agriculture. Products containing beneficial bacteria, fungi, or viruses are being developed to enhance soil health, suppress pathogens, and promote plant growth, contributing to sustainable agricultural practices.

Pharmaceutical companies are investing in the development of climate-resilient crop varieties that can withstand environmental stresses such as drought, heat, and salinity. These resilient varieties help farmers adapt to changing climatic conditions while ensuring food security and agricultural sustainability.

Plant biostimulants are natural or synthetic substances that enhance plant growth, resilience, and nutrient uptake. By stimulating physiological processes in plants, these innovative products improve crop productivity and reduce reliance on chemical fertilizers and pesticides, thus promoting sustainable agriculture.

These are sprayers equipped with advanced sensors and actuators that adjust the spray output based on real-time data, ensuring precise application of pesticides or fertilizers while minimizing waste.

Nanotechnology-based carriers designed to deliver nutrients, pesticides, or other agricultural inputs directly to plant cells, enhancing their uptake efficiency and reducing environmental impact.

Biodegradable planting pots made from sustainable materials such as bioplastics or coconut coir decompose naturally in the soil, eliminating the need for plastic pots and reducing plastic pollution. These gadgets promote sustainable nursery practices, support seedling growth, and minimize environmental impact in horticulture.

Pharmaceutical companies often engage in corporate social responsibility (CSR) initiatives and environmental sustainability efforts. These initiatives may include promoting sustainable agricultural practices, supporting research on soil health and conservation, and advocating for policies that align with VRT objectives, such as reducing chemical runoff and minimizing environmental impact.

Variable Rate Technology (VRT) in agriculture refers to a suite of tools and techniques used to apply inputs, such as fertilizers, pesticides, and water, at variable rates across a field according to spatial variability in soil properties, crop characteristics, and other factors. Instead of applying a uniform rate of inputs across the entire field, VRT systems allow farmers to tailor application rates precisely to the specific needs of different areas within the field.

VRT relies on advanced technologies such as global positioning systems (GPS), geographic information systems (GIS), sensors, and variable rate application equipment. These technologies enable farmers to create detailed field maps that identify variations in soil fertility, moisture levels, crop health, and other factors. Based on these maps, VRT systems automatically adjust the application rates of inputs as agricultural machinery moves through the field, ensuring optimal use of resources while maximizing crop yields and minimizing environmental impact.

In conclusion, the pursuit of eco-friendly pest control methods in India is imperative for the sustainability of agriculture and the preservation of environmental and human health. While chemical pesticides have long been the conventional approach, their adverse effects have underscored the urgency of transitioning to safer alternatives. Pharmaceutical innovation plays a pivotal role in this transition, offering a diverse range of solutions such as biopesticides, pheromone-based traps, botanical extracts, genetically modified organisms (GMOs), and microbial agents.

References

1. Synergizing biotechnology and natural farming: pioneering agricultural sustainability through innovative interventions / A. Badiyal, R. Mahajan, R. S. Rana et al. DOI: 10.3389/fpls.2024.1280846 // Front. Plant Sci. 2024. Vol. 15. Article No. 1280846.

2. Natural farming improves crop yield in SE India when compared to conventional or organic systems by enhancing soil quality / S. Duddigan, L. J. Shaw, T. Sizmur et al. DOI: 10.1007/s13593-023-00884-x // *Agron. Sustain. Dev.* 2023. Vol. 43. No. 2. Article No. 31.

3. Amendola V., Meneghetti M. Laser ablation synthesis in solution and size manipulation of noble metal nanoparticles. DOI: 10.1039/B900654K // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2009. Vol. 11. No. 20. P. 3805–3821.

ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS OF POLYSULFIDES PRODUCTION AND CONSUMPTION WASTE: A COMPREHENSIVE REVIEW

Anupama Gour

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

Polysulfides, a class of chemical compounds characterized by sulfur chains, have found extensive applications across industries, from rubber manufacturing to construction and biomedical fields. However, the production and consumption of polysulfides generate significant waste, raising concerns about their environmental implications. This comprehensive review explores the environmental impacts associated with polysulfides production and consumption waste, focusing on pollution, toxicity, and sustainable management strategies. It examines the sources of polysulfide waste, its chemical properties, and the potential risks it poses to ecosystems and human health. Furthermore, the review discusses current waste management practices, regulatory frameworks, and emerging technologies aimed at mitigating the environmental footprint of polysulfides. By synthesizing existing knowledge and identifying knowledge gaps, this review aims to provide insights for researchers and industries to foster sustainable practices in polysulfides production and consumption.

Keywords: polysulfides, environmental implications, waste management, pollution, toxicity, sustainability.

Polysulfides are chemical compounds characterized by chains of sulfur atoms. They can vary widely in structure, ranging from linear to branched chains, and can be classified into categories such as aliphatic, aromatic, organic, inorganic, and biological polysulfides. These compounds find applications across diverse fields, including industry, chemistry, biology, and medicine. They are used as chemical intermediates, lubricants, antioxidants, electrolytes in batteries, and even in medicinal applications due to their unique properties and versatile nature.

Structure of Polysulfide. Polysulfide polymers have the general structure $(-R-S_x-)_n$ where x is referred to as the 'rank' and represents the average number of sulfur atoms in the polysulfide unit.

Properties of polysulfide. Polysulfides are compounds containing chains of sulfur atoms. They can exhibit a wide range of properties depending on their molecular structure, chain length, and functional groups.

Physical State. Polysulfides can exist in various physical states, including solids, liquids, and even gases, depending on their molecular weight and composition. Solid polysulfides may range from waxy solids to rubbery materials, while liquid polysulfides can have a viscosity ranging from low to high.

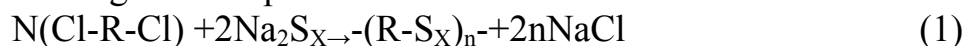
Chemical Reactivity. Polysulfides are chemically reactive compounds. They can undergo Soxidation-reduction reactions, participate in sulfur transfer reactions, and form complexes with metal ions. The reactivity of polysulfides can influence their applications in fields such as chemical synthesis, materials science, and environmental remediation.

Odor. Some polysulfides exhibit characteristic odor, which can vary depending on the specific polysulfide compound. For example, low molecular weight polysulfide may have a strong, unpleasant odor resembling rotten eggs due to the presence of hydrogen sulphide.

Solubility. The solubility of polysulfides in water and organic solvents varies depending on their molecular weight and functional groups. Lower molecular weight polysulfides are generally more soluble in both water and organic solvents compared to higher molecular weight polysulfides.

Thermal Stability. Polysulfide can exhibit varying degrees of thermal stability depending on their structure and composition. Some polysulfides may decompose upon heating, while others may exhibit high thermal stability under certain conditions.

Synthesis of Polysulfide. Polysulfide polymers are generally produced via polymerization reaction of aqueous disodium polysulfides (Na_2S_x : $x \frac{1}{4}$ 2.0–2.3) with dihalo or multihalo organic compounds as follows in reaction 1:



Effect of polysulfides in Aquatic system. Polysulfides have significant technological importance, and their environmental role is gradually being unraveled. But despite their importance, there is still no method for quantification of the individual members of the polysulfide family in nonsynthetic samples. The method is based on fast, single-phase derivatization with methyl trifluoromethanesulfonate followed by one of three modes of sample treatment depending on polysulfide concentration. Under the most aggressive preconcentration treatment involving liquid-liquid extraction, solvent evaporation to dryness, dissolution in n-dodecane, and finally HPLC-UV analysis of the dimethylpolysulfane distribution, the minimum detection limits of the individual polysulfides are in the range 15–70 nM. The method was demonstrated for the analysis of synthetic solutions, natural groundwater, polysulfide fortified seawater, and surface water and for time tracing of the distribution of the individual polysulfides during the oxidation of hydrogen sulfide by hydrogen peroxide. The observed speciation was evaluated by comparison with the theoretical distribution of polysulfides at equilibrium with sulfur precipitate showing that the dominant polysulfides' (i.e., tetrato hexasulfide) concentrations agree well with the predicted distribution (90% of the results fall within less than 30% deviation from the predicted values), whereas up to 3-fold deviation was observed for the less abundant trisulfide and octasulfide species.

Microbial impact of Polysulfides dynamics in environment. Microbial communities exert a profound influence on the dynamics of polysulfides in the environment through their involvement in sulfur cycling processes. Anaerobic bacteria, particularly sulfate-reducing microorganisms, play a pivotal role in polysulfide formation by reducing sulfate to sulfide, which can then react with elemental sulfur to generate polysulfides. These microbial activities are prominent in anoxic environments such as sediments and anaerobic soils, where polysulfides can accumulate and influence sulfur speciation. Conversely, microbial polysulfide reduction mechanisms, mediated by enzymes like polysulfide reductase, contribute to the degradation and turnover of polysulfides back into sulfide or other sulfur species. This microbial-driven polysulfide dynamics not only affects sulfur availability and speciation but also has implications for nutrient cycling and environmental quality. Furthermore, microbial communities exhibit diverse metabolic capabilities, with certain bacteria capable of detoxifying or metabolizing polysulfides, thus offering potential avenues for bioremediation of polysulfide-contaminated environments. The intricate interactions between microbial communities and polysulfides underscore the importance of microbial ecology in understanding sulfur biogeochemistry and environmental processes.

Impact of polysulfides on urban ecosystem. The impact of polysulfides on urban ecosystems encompasses various environmental aspects, ranging from air and water quality to soil health and vegetation dynamics. In urban environments, polysulfides can originate from industrial processes, vehicular emissions, and wastewater discharge, contributing to pollution and environmental degradation. Airborne polysulfides, along with other pollutants, can adversely affect human health and exacerbate respiratory problems, particularly in densely populated urban areas where air quality is already compromised. Furthermore, polysulfide contamination in urban water bodies, originating from industrial effluents and stormwater runoff, can disrupt aquatic ecosystems and impair water quality, posing risks to aquatic organisms and ecosystem integrity.

In urban soils, the presence of polysulfides can influence soil microbial communities and nutrient cycling processes, affecting soil fertility and overall ecosystem health. Soil contamination with polysulfides may hinder microbial activity and impair soil functions such as nutrient mineralization and organic matter decomposition, thereby impacting the productivity and resilience of urban green spaces and urban agriculture initiatives. Additionally, polysulfide-induced soil pollution can hinder the establishment and growth of vegetation in urban environments, leading to reduced biodiversity, diminished aesthetic value, and decreased ecosystem services such as carbon sequestration and urban heat island mitigation.

Addressing the impact of polysulfides on urban ecosystems requires integrated management approaches that encompass pollution prevention, mitigation, and remediation strategies. These may include stricter regulations on industrial emissions and wastewater discharge, implementation of green infrastructure to improve stormwater management and reduce runoff pollution, and promotion of sustainable urban practices such as phytoremediation and soil amendment techniques to miti-

gate soil pollution and enhance ecosystem resilience. Furthermore, public awareness and community engagement are crucial in fostering sustainable urban development and fostering a culture of environmental stewardship to safeguard urban ecosystems against the detrimental effects of polysulfide contamination.

Impact of Polysulfide on terrestrial ecosystem. Polysulfides can have several impacts on terrestrial ecosystems, affecting soil health, plant growth, and microbial communities. Here's a detailed overview along with a reference:

Polysulfides in soil can influence microbial communities, nutrient cycling, and overall soil health. In agricultural ecosystems, the application of polysulfide-containing fertilizers may impact soil microbial diversity and activity, potentially altering nutrient availability and soil fertility. High concentrations of polysulfides in soil can hinder microbial processes such as nutrient mineralization and organic matter decomposition, leading to reduced soil productivity and resilience. Furthermore, polysulfide contamination in terrestrial environments may affect plant growth and development, either directly through phytotoxic effects or indirectly by altering soil properties and nutrient availability. Polysulfide-induced soil pollution can also lead to ecosystem degradation, loss of biodiversity, and impaired ecosystem services such as carbon sequestration and water regulation.

To mitigate the impact of polysulfides on terrestrial ecosystems, integrated management approaches are needed. These may include optimizing fertilizer application practices to minimize polysulfide runoff and soil contamination, promoting soil remediation techniques such as phytoremediation and bioremediation to restore polluted soils, and enhancing soil health through organic farming practices and sustainable land management strategies. Additionally, research efforts focused on understanding the fate and behavior of polysulfides in terrestrial environments are essential for developing effective mitigation and remediation strategies to safeguard terrestrial ecosystems against polysulfide pollution.

In conclusion, the multifaceted impact of polysulfides on aquatic, microbial, urban, and terrestrial ecosystems underscores the pressing need for proactive measures to mitigate their adverse effects. To address polysulfide pollution effectively, a holistic approach integrating scientific research, technological innovation, and policy interventions is imperative.

Firstly, advancing analytical methods for precise quantification of polysulfides in diverse environmental matrices is crucial. This enables accurate assessment of pollution levels and facilitates targeted remediation efforts. Additionally, promoting microbial-driven bioremediation strategies can leverage the natural capabilities of microbial communities to detoxify and degrade polysulfides, thereby restoring environmental quality.

Furthermore, implementing stringent regulations on industrial emissions and wastewater discharge is essential to prevent excessive polysulfide contamination in urban and aquatic ecosystems. Investing in green infrastructure and sustainable urban practices can mitigate the impact of polysulfides on air and water quality, while enhancing the resilience of urban environments.

Moreover, promoting soil remediation techniques such as phytoremediation and organic farming can mitigate polysulfide-induced soil pollution and preserve soil health and fertility in terrestrial ecosystems. Overall, a concerted effort involving stakeholders from government, industry, academia, and civil society is necessary to mitigate the ecological impact of polysulfides and safeguard environmental health for present and future generations.

References

1. Effects of sulfur on microbial activity and community structure in a lead-polluted paddy soil / H. R. Lin, J. Y. Shi, X. P. Fu et al. // *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. 2010. Vol. 21. No. 7. P. 1829–1834. (in Chinese).
2. Sharma S., Kumar S., Singh A. Assessment of Green Infrastructure for sustainable urban water management. DOI: 10.1007/s10668-023-03411-w // *Environ. Dev. Sustain.* 2023. [Internet resource]. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03411-w> (accessed: 16.03.2024).
3. Concentrations, health risks, and sources of hazardous air pollutants in Seoul-Incheon, a megacity area in Korea / M. J. Kim, K. M. Baek, J. B. Heo et al. DOI: 10.1007/s11869-021-00986-z // *Air Qual. Atmos. Health.* 2021. Vol. 14. P. 873–893.
4. Wang Z., Shao D., Westerhoff P. Wastewater discharge impact on drinking water sources along the Yangtze River (China). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.078 // *Sci. Total Environ.* 2017. Vol. 599–600. P. 1399–1407.
5. A review of heavy metal pollution levels and health risk assessment of urban soils in Chinese cities / L. Pan, Y. Wang, J. Ma et al. DOI: 10.1007/s11356-017-0513-1 // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2018. Vol. 25. P. 1055–1069.
6. Polysulfide polymers: synthesis, blending, nanocomposites, and applications / A. Pirayesh, M. Salami-Kalajahi, H. Roghani-Mamaqani, F. Najafi DOI: 10.1080/15583724.2018.1492616 // *Polymer Reviews.* 2019. Vol. 59. No. 1. P. 124–148.
7. Tolstikov G. A., Shults E. E., Tolstikov A. G. Natural polysulfides. DOI: 10.1070/RC1997v066n09ABEH000281 // *Russ. Chem. Rev.* 1997. Vol. 66. No. 9. P. 813–826.
8. Sangalov Yu. A., Karchevsky S. G., Ionov V. I. Polysulfides as important representatives of sulfur-rich compounds // *The Herald of the ASRB.* 2013. Vol. 18. No. 1. P. 15–24.

Научное издание

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Материалы Международной научно-практической конференции
23–24 апреля 2024 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 10.06.2024. Формат 60 x 84/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Усл. п. л. 17,71. Тираж 30 экз. Заказ 30.

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