



ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ: проблемы и пути их решения

КНИГА 2

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 2

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 2. (г. Киров, 23–24 апреля 2024 г.). – Киров : Вятский государственный университет, 2024. – 380 с.

ISBN 978-5-98228-278-1 (Книга 2)

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 изучения биологии и экологии растений, животных и микроорганизмов в изменяющихся условиях окружающей среды. Представлены работы по химии и экологии почв. Рассмотрены вопросы социальной экологии, экологического образования, воспитания и просвещения. Сборник материалов конференции предназначен для научных работников, преподавателей, специалистов природоохранных служб и ведомств, аспирантов, студентов высших учебных заведений.

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

Благодарим руководство 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 978-5-98228-278-1 (Книга 2)
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 2

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 2. (Kirov, April 23–24, 2024). – Kirov : Vyatka State University, 2024. – 380 c.

ISBN 978-5-98228-278-1 (Chapter 2)

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 studying the biology and ecology of plants, animals and microorganisms in changing environmental conditions. The research results on soils chemistry and ecology are presented. The issues of social ecology, environmental education, upbringing and enlightenment 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 978-5-98228-278-1 (Chapter 2)
ISBN 978-5-98228-279-8

© Vyatka State University (VyatSU), 2024

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 5 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

Прокашев А. М., Соболева Е. С., Матушкин А. С., Пупышева С. А., Вартан И. А., Бородатый И. Л. Серые почвы зоны широколиственно-хвойных лесов Уржумского и Мари-Турекского плато.....	11
Лиханова И. А., Денева С. В., Холопов Ю. В., Рудь А. А., Скребенков Е. А., Бондаренко Н. Н., Лаптева Е. М. Особенности лесных подстилок в разных типах леса средней подзоны тайги	17
Пышкин В. Б., Кобечинская В. Г., Галкина Т. А. Разнообразие почв долины реки Альма внешнего межгорного понижения Предгорного Крыма	20
Бадикова А. Д., Баженова А. С., Вартан И. А. Особенности почвенного покрова пуговых холмов территории Вятско-Камского Предуралья	23
Смотрина Ю. А., Лаптева Е. М., Далькэ И. В., Захожий И. Г., Скребенков Е. А., Боброва Ю. И. Биологическая активность постагрогенных почв Республики Коми (на примере средней тайги)	26
Стахурлова Л. Д., Свистова И. Д. Биологические свойства черноземов выщелоченных в длительном опыте с удобрениями	31
Ручкина К. В., Мерзляков О. Э. Влияние микропластика на почву	34
Дабах Е. В. Литий в почвах на техногенной территории	38
Утягулов Д. И., Ильбулова Г. Р. Содержание тяжелых металлов в почвах в зоне воздействия карьера «Япраклы»	42
Карпенко А. Ф. Мониторинг радиоактивного загрязнения в Беларуси	44
Холкин В. Е., Фокина А. И., Скугорева С. Г. Некоторые свойства почв вблизи ТЭЦ-5 (г. Киров)	49
Пименов А. Ю., Соловьёва Е. С. Исследование состояния почв микрорайона Радужный города Кирова	51
Рачкова Н. Г., Кочева Л. С., Шапошникова Л. М., Карманов А. П., Раскоша О. В. Анализ эффективности технологий дезактивации почв реагентными и безреагентными методами с применением сорбентов на основе лигнина	54
Князев И. В., Зайнулгабидинов Э. Р., Утомбаева А. А., Игнатъев Ю. А., Петров А. М. Изменение токсикологических характеристик загрязненной нефтью серой лесной почвы в ходе ее рекультивации	59
Каримуллин Л. К., Утомбаева А. А., Кузнецова Т. В., Князев И. В., Петров А. М. Влияние подходов к рекультивации на ферментативную активность загрязненной нефтью серой лесной почвы	63
Утомбаева А. А., Кузнецова Т. В., Вершинин А. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Осадок городских сточных вод и рекультивация загрязненной нефтью почвы	67

Вершинин А. А., Утомбаева А. А., Каримуллин Л. К., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Биологическая активность и эффективность деструкции углеводов нефтезагрязненной почвы при разных способах рекультивации.....	71
Сазанов А. В., Сазанова М. Л., Тугаринов Л. В. Оценка содержания гуминовых веществ в сапропелях различного происхождения.....	76

СЕКЦИЯ 6 ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

Боков Н. А., Широких И. Г. Филогенетическое и функциональное разнообразие прокариот аллювиальной дерновой почвы заповедника «Нургуш».....	81
Мокрушина С. Э., Абубакирова Р. И., Широких И. Г. Влияние инокуляции штаммом <i>Streptomyces</i> sp. КР-10 на морфометрические показатели микрорастений картофеля.....	86
Широких И. Г., Назарова Я. И. Рост и антифунгальная активность бактерий рода <i>Streptomyces</i> на среде с терпенофенолом.....	90
Боков Н. А., Широких И. Г. Потенциал гриба <i>Shizopillium commune</i> в переработке пожнивных остатков.....	93
Широких А. А. Аэробные метиловобактерии как компоненты микробно-растительных симбиозов	97
Дормидонтова С. М., Широких И. Г. Структура комплекса актиномицетов в ризосфере эспарцета песчаного	103
Бакулина А. В., Бессолицина Е. А., Лундовских И. А., Товстик Е. В. Выявление генов целлюлаз и генов лигнолитического комплекса у штаммов рода <i>Streptomyces</i>	106
Стариков П. А., Бажанова Д. А., Домрачева Л. И. Оптимизация условий культивирования штамма-антагониста фитопатогенов <i>Trichoderma</i> sp.	110
Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я., Комоско Г. В. Применение штамма <i>Bacillus megatherium</i> var. <i>Phosphaticum</i> РСАМ03190 для повышения агрохимической эффективности фосфоритной муки	114
Кузнецова Т. В., Утомбаева А. А., Князев И. В., Каримуллин Л. К., Игнатьев Ю. А., Петров А. М. Структура микробного сообщества серой лесной почвы под посевами культурных растений в условиях нефтяного загрязнения	119
Гаевский Е. Е., Габриялович В. А. Особенности почвенной микробиоты в условиях городской среды	123
Бердычева (Агалакова) И. С. Разработка тест-системы для видовой идентификации возбудителей септориоза пшеницы, характерных для территории Кировской области.....	126
Симакова В. С., Стариков П. А., Домрачева Л. И. Микробиологическая оценка токсичности синтетических поверхностно-активных веществ	131

Кондакова Л. В., Сырчина Н. В. Альгоцианофлора щелочных засоленных почв.....	136
Косаренина М. М., Алферов С. В. Бактерии <i>Lactobacillus acidophilus</i> как основа биосенсора для определения интегральной токсичности	140
Воропина Д. С., Пучкина Е. А., Ажогина Т. Н., Сазыкин И. С. Структура микробного сообщества и антибиотикорезистентность культивируемых микроорганизмов соленого озера Маныч-Гудило	144
Кондакова Л. В., Кислицына А. П. Влияние ростостимулирующего препарата Милефунг™ +Mo+В на развитие фототрофных микроорганизмов в посевах люпина узколистного	146
Лановая О. Д., Ажогина Т. Н., Сазыкина М. А., Сазыкин И. С. Оксидативные повреждения днк бактериальной клетки под влиянием антибиотиков.....	150
Миндубаев А. З., Бабынин Э. В., Гоголашвили Э. Л., Галимова А. Р. Окисление красного фосфора грибами аспергиллами.....	154

СЕКЦИЯ 7 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Канев В. А. Флора высших сосудистых растений в бассейне реки М. Кожва – новой перспективной территории для включения в сеть ООПТ Республики Коми (подзона северной тайги)	158
Гудовских Ю. В., Бушуева Ю. О., Сорокина А. А., Егوشيца Т. Л., Оботнин С. И. Материалы к биоте для возможного создания особо охраняемой природной территории в Кирово-Чепецком районе	163
Бешко Н. Ю., Даминова Н. Э., Косимов З. З., Абулфайзов Х. Ш. Проблемы охраны растительного мира Сырдарьинской области (Узбекистан).....	168
Соловьев А. Н. Коллизии в заповедной охране вятской природы	172
Любарский Д. С. <i>Nitella mucronata</i> (Charophyta) в Республике Татарстан	179
Пронина С. С., Соколова Л. А., Васильева В. А. Биометрические особенности золотарника канадского на залежном лугу в Калужской области.....	182
Абрамова К. И., Токинова Р. П. Оценка экологического состояния дренажной протоки озера Средний Кабан (Республика Татарстан) по показателям фитопланктона.....	186
Туйчиев К. С., Гинатуллина Е. Н., Атабаева Н. К., Каримов Р. А., Хужамов Ш. А. Выращивание спирулины в Узбекистане с целью ее использования в рыбководстве	191
Хохрякова Л. В., Адамович Т. А. Получение хлорофилло-каротинового концентрата с ценными свойствами на основе хвои ели обыкновенной	195

Тюлькина А. А., Адамович Т. А., Зайцев М. А. Содержание биологически активных веществ в плодах, листьях жимолости и калины	198
Товстик Е. В., Шуплецова О. Н., Злобина Ю. А., Попыванов Д. В. Содержание полифенолов в растениях пшеницы в условиях обработки экзометаболитами базидиальных грибов	200
Макаров Д. К., Соловьёва Е. С. Исследование содержания антиоксидантов и полифенолов в экстрактах перги	205
Пономарева Д. А., Сазанова М. Л. Изучение суммарного содержания антиоксидантов в лекарственном сырье.....	208
Пакичев А. С., Адамович Т. А. Изучение содержания тяжелых металлов в почве и содержания полифенолов в лекарственных растениях, произрастающих на территории Кировской области	213
Головьев М. Д., Зяблицева Я. И., Адамович Т. А. Определение биологически значимых макро- и микроэлементов в плодах и листьях брусники обыкновенной, произрастающей в Кировской области	217
Гильфанова Р. А., Соловьёва Е. С. Свойства сухих экстрактов из растений Кировской области	220
Вотинцева С. А., Товстик Е. В. Растительные экстракты как модификаторы функциональных свойств парафармацевтических фитопленок	223
Артемов Д. Ю., Ворончихин Г. К., Белослудцева П. К., Ефремова А. С., Адамович Т. А. Изучение содержания биологически активных веществ в экстрактах листьев и плодов дуба.....	226
Галимова А. Р., Архипова Н. С. Содержание нитратов в плодоовощной продукции Республики Татарстан	228
Лукина Н. В., Глазырина М. А., Филимонова Е. И. <i>Melilotus albus</i> в опытных посевах на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС.....	232
Шеромов А. М., Товстик Е. В., Олькова А. С., Шуплецова О. Н. Реакция ячменя на осмотический стресс в модельной системе с полиэтиленгликолем.....	237
Сивков А. А., Рябова Е. В. Эколого-географические особенности чистеца болотного (<i>Stachys palustris</i> L.)	241
Демин М. В., Рябова Е. В. Особенности жизненного состояния некоторых древесно-кустарниковых насаждений города Кирово-Чепецка...	246

СЕКЦИЯ 8 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Avtaeva T. A., Khomitskiy E. E., Zamotajlov A. S., Sukhodolskaya R. A. Body size variation in ground beetle <i>Carabus exaratus</i> Quensel, 1806 (Coleoptera, Carabidae) in different parts of its area	248
Агасой В. В., Прокофьев В. В. Биотопическое распределение личинок слепней (Diptera, Tabanidae) в Псковской области	251

Букина Л. А., Майструк А. А., Халбаева Л. Б. Шакал (<i>Canis aureus</i>) – индикатор паразитарного загрязнения трихинеллами территории Краснодарского края	256
Гинатуллина Е. Н., Урманов Д. Р. Факторы, влияющие на изменение структуры ихтиоценоза озера Айдаркуль	260
Егорова А. В., Гатиятуллина А. Ф., Калининкова Т. Б. Изучение биологической активности фитопрепаратов в экспериментах с почвенной нематодой <i>Caenorhabditis elegans</i>	264
Егорова А. В., Гатиятуллина А. Ф., Калининкова Т. Б., Фролов М. Д., Шульга Е. Ю., Исламов Б. Р., Валидов Ш. З. Изучение биологической активности супернатантов бактерий в экспериментах с почвенной нематодой <i>Caenorhabditis elegans</i>	269
Герасимов Ю. Л. Ракообразные нижнего пруда парка Победы г. Новокуйбышевска	272
Греков О. А., Манаенков А. А., Сатарин С. А. О достоверности учетных данных по зайцу-беляку, обитающему в Рязанской области	276
Жданова О. Б., Рассохин Д. В., Русских А. И., Часовских О. В., Андреянов О. Н., Мартусевич А. К., Редькин Д. И., Дунаева Е. Б. Изучение эффективности применения иммунотропных препаратов и фитотерапии при экспериментальных и спонтанных нематодозах	280
Климова А. С., Сиротина М. В. Особенности системы крови рыжей полевки на сопредельных территориях Костромской области	283
Кондрухова С. В., Бакка С. В. Новые сведения о редких видах птиц заповедника «Нургуш»	288
Крестоношина К. С., Мельничук А. Д. Экспрессия гена <i>CYP6D1</i> у имаго трех линий <i>Musca domestica</i> L. (Muscidae) при инсектицидном воздействии на личиночную стадию	293
Малышева Д. Д., Мурадова Л. В. Паразитофауна рыб в реке Сехе на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Синицина	297
Низамова А. С., Турмухаметова Н. В. Некоторые аспекты жизнедеятельности <i>Formica rufa</i> L. в условиях лесных биотопов Зеленодольского района Республики Татарстан	301
Петрова П. И., Прокофьев В. В. Фауна и экология слепней (Diptera, Tabanidae) Порховского района Псковской области	304
Пичугина С. А., Пичугина Э. М., Рябов В. М. О встречаемости садовой сони <i>Eliotus quercinus</i> на юго-востоке Кировской области	309
Родина Е. И., Соколова Т. Л. Оценка состояния сообществ макрозообентоса озера Святого Костромского района Костромской области	311
Романова А. А., Турмухаметова Н. В. Энтомогенные повреждения листьев древесных растений	316
Семенов И. С., Шабалкина С. В. О находках новых местообитаний <i>Mantis religiosa</i> (Linnaeus, 1758) в Чувашской Республике	318

Сиротин А. Л., Сиротина М. В. Сообщества зоопланктона зарослей макрофитов реки Лондушки на территории Кологривского заповедника.....	321
Урекин Е. А., Соколова Т. Л., Мурадова Л. В., Ильин Я. В. Видовое разнообразие и пространственное распределение макрозообентоса реки Понги на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Синицына.....	326
Халиуллин М. Р., Шевчук К. А., Степанова Н. Ю. Сезонное распределение микропластика в жабрах и кишечном тракте леща <i>Abramis brama</i> в Мёшинском заливе Куйбышевского водохранилища	331
Шевчук К. А., Шаронова В. А., Миннегулова Л. М., Степанова Н. Ю. Оценка содержания и характеристика микропластика в моллюсках Куйбышевского водохранилища в районе Камского устья	337
Шихова Т. Г. Адвентивные виды моллюсков Вятского Прикамья	342
Юдинцева М. В., Масленникова О. В. Биологическое загрязнение парков и скверов г. Кирова	346

СЕКЦИЯ 9
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ВОСПИТАНИЕ.
СОЦИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Кобилев Э. Э., Тухтаев М. К., Ашурмахматов С. И., Кобилова И. У. Влияние факторов окружающей среды на качество жизни и здоровье студенческой молодежи.....	351
Sizova E. N., Chastoedova I. A., Zhukova E. A. Educational environment in teaching normal physiology	355
Sizova E. N., Shmakova L. N. Knowledge quality and estimation in testing medical university students on ecology	359
Даровских Л. В., Долгушина Н. Л., Коцегубова М. Д. Развитие познавательного интереса к химии через экологический компонент с использованием информационно-коммуникационных технологий.....	362
Грибанова Е. С., Даровских Л. В., Береснева Е. В., Алексеева В. Е. Формирование естественно-научной грамотности обучающихся на уроках химии через решение кейсов с химико-экологическим содержанием	368
Лютин С. А., Береснева Е. В. Использование химико-экологических игр для повышения познавательного интереса обучающихся.....	373
Пантелеева А. В., Зимонина Н. М. Развитие специальных компетенций в разделе «воздух города и здоровье» в рамках внеклассной кружковой работы	377

СЕКЦИЯ 5 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

СЕРЫЕ ПОЧВЫ ЗОНЫ ШИРОКОЛИСТВЕННО-ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ УРЖУМСКОГО И МАРИ-ТУРЕКСКОГО ПЛАТО

*А. М. Прокашев^{1,2}, Е. С. Соболева¹, А. С. Матушкин¹,
С. А. Пупышева¹, И. А. Варман¹, И. Л. Бородатый¹*

*¹ Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, amprokashev@gmail.com,*

*² Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия*

Представлены данные о минеральной, органической части, физико-химических свойствах и генезисе серых почв с бинарным гумусовым профилем, развитых на покровных карбонатных суглинках. Обоснован бореально-атлантический возраст и палео-лесостепная природа органического вещества с тенденцией деградации реликтового гумуса и почв в позднем голоцене.

Ключевые слова: смешанные леса, почвы-реликты, субстантивные свойства, возраст гумуса, генезис и эволюция почв.

Серые почвы – объект длительных дискуссий эволюционно-генетического содержания, начиная с конца XIX в. вплоть до настоящего времени. В. В. Докучаев [1] считал их соответствующими условиям лесостепи, С. И. Коржинский [2] и Г. И. Танфильев [3] связывали генезис данных почв с деградацией черноземов вследствие наступления леса на степь и подкисляющего влияния лесной растительности. И. В. Тюрин [4] усматривал родство этих почв с дерново-глеевым типом в случае дренирования территории и перехода от полугидроморфных к автоморфным условиям почвогенеза. В. И. Талиев и другие, напротив, считали их продуктом проградации подзолистых почв [5]. С внедрением в практику методов исследования фракционно-группового состава гумуса предметом дискуссий стали гумусово-оподзоленные горизонты A_1A_2 . Впоследствии они получили обозначение $A_{E1}[hh]$ или ВГГ – вторые гумусовые горизонты. Характерный для них гуматно-кальциевый состав гумуса одними учёными интерпретировался в качестве подтверждения «степного» раннеголоценового прошлого и деградации почв в современных условиях [6, 7]. Другие авторы обосновывали ещё более древнее – доголоценовое – происхождение ВГГ как результат надмерзлотного инфильтрационно-аккумулятивного процесса [8]. Третья группа исследователей, напротив, трактовала гуматно-кальциевый состав гумуса как аргумент в

пользу современной инфильтрационно-иллювиальной природы ВГГ серых (и других типов) почв с бинарным профилем [9]. Ряд учёных склонялись к идее образования ВГГ за счёт механического погребения бывших («нормальных») поверхностных дерновых горизонтов почв при участии эоловых и т. п. явлений [10].

Подытоживая далеко не полный перечень генетических концепций можно констатировать, что основные причины дискуссий объясняются, во-первых, пограничным положением серых почв между лесом и степью и, во-вторых, разнообразием условий их формирования в зависимости от конкретных физико-географических ситуаций в пределах европейской и азиатской частей страны. Независимо от точки зрения на происхождение, никем из авторов не оспаривалась мысль о связи этих почв с лесостепными ландшафтами. Вместе с тем, рассматриваемые нами объекты находятся в зоне смешанных широколиственно-хвойных лесов, что и стало побудительным мотивом настоящего обсуждения.

Объекты исследования – почвы на покровных бескарбонатных и карбонатных суглинках Уржумского и Мари-Турекского плато (УМТП), относящиеся к роду с ВГГ или АЕI[hh] в составе серого подтипа. Они формируются под липовыми и орешниковыми раменями, вторичными берёзовыми и хвойно-мелколиственными лесами и агроценозами при сумме $T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2000–2150 $^{\circ}\text{C}$, с годовым количеством осадков 480–500 мм, КУ по Иванову – 0,95 при периодически промывном водном режиме.

Предмет исследования: морфология, минеральная, органическая часть, физико-химические свойства и генезис почв. Почвы изучены с привлечением комплекса стандартных гранулометрических (по Качинскому), валовых химических и физико-химических методов, а также анализа фракционно-группового состава гумуса (с пиррофосфатом) и возраста гумуса по ^{14}C .

Морфология профиля представлена на примере разреза В-18 агросерой тяжелосуглинистой почвы на покровном карбонатном суглинке. Разрез заложен в пределах Мари-Турекского плато на вершине обширного платообразного междуречья Вятки и её правого притока р. Бурец в 800 м восточнее д. Челны (Республика Татарстан). Увлажнение атмосферное, умеренное. Угодые – поле под пшеницей в стадии созревания; засорённость слабая осотом полевым.

Горизонт, глубина, см	Свойства горизонта
РУ, 0–25	влажный, коричневато-серый, тяжелосуглинистый, комковатый, рыхлый, корней много, переход резкий.
АЕI[hh], 25–32	влажный, пепельно-серый, с белесоватым оттенком, тяжелосуглинистый, зернисто-плитчатый, рыхлый, слабая присыпка скелетаны на поверхности агрегатов, корней меньше, чем в гор. РУ, переход постепенный, языковато-волнистый.

Bt1, 32–60	влажный, бурый, с тёмным глянцем, глинистый, зернисто-мелкоореховатый, плотный, в верхней части на поверхности агрегатов незначительная присыпка скелетаны и тёмные гумусовые кутаны, корней меньше, чем в гор. AEL[hh], переход постепенный.
Bt2, 60–80	влажный, бурый, с тёмным гумусовым глянцем, глинистый, призмовидно-ореховатый, плотный, в верхней части на поверхности агрегатов заметные сплошные тёмные гумусовые кутаны в дополнении с сетчатой гумусовой пропиткой вдоль корневых пор, корней меньше, чем в гор. Bt1, переход постепенный.
BCca, 80–98	влажный, светло-бурый, с беловатыми вкраплениями рыхлой карбонатной крошки, глинистый, комковато-ореховатый, с менее чётко оформленной структурой, чем гор. Bt2, плотный, слегка вязкий, со слабо заметной, преимущественно сетчатой гумусовой пропиткой по корневым порам, реагирует с 10% HCl, корни редкие, переход постепенный.

Гранулометрический состав почв представлен в таблице 1. Основная доля в составе минеральной матрицы принадлежит двум фракциям – крупной пыли и илу. Показательно существенное элювиально-иллювиальное перераспределение ила и его ведущая роль в дифференциации профиля, что типично для серых почв с ВГГ УМТП и для данного подтипа в целом. Коэффициент глинистой дифференциации (КД) профиля без учёта объемной массы (ОМ) составляет 2,34, а с её учётом – 2,43, т. е. соответствует сильной степени контрастности по критериям Б. Г. Розанова.

Таблица 1

**Гранулометрический состав серых почв с ВГГ
Уржумского и Мари-Турекского плато**

Горизонт, глубина, см	ОМ, г/см ³	Содержание фракций в мм, %							Накопле- ние ила ±, %
		1– 0,25	0,25 –0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	< 0,001	< 0,01	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Разрез В-18									
РУ, 0–25	не оп.	сл.	10,4	44,7	14,6	20,9	9,4	44,9	не оп.*
AEL[hh], 25–32	не оп.	сл.	10,6	40,6	14,6	19,6	14,6	48,8	не оп.
Bt1, 40–50	не оп.	сл.	7,0	32,5	12,2	21,5	26,8	60,5	не оп.
Bt2, 67–75	не оп.	сл.	7,4	30,8	13,3	21,9	26,6	61,8	не оп.
BCca, 85–95	не оп.	сл.	7,3	16,3	23,6	22,0	30,8	76,4	не оп.
Cca, 100–110	не оп.	сл.	6,4	24,2	14,3	25,0	30,1	69,4	не оп.
Разрез У-27									
РУ, 0–30	1,44	0,1	10,6	43,3	9,7	15,0	21,3	46,1	–41
AEL[hh], 30–35	1,54	0,2	3,3	46,1	15,5	15,7	19,2	50,4	–47
AEL[hh], 40–50	1,54	0,2	9,0	43,9	12,3	17,9	16,7	46,8	–54
BEI, 52–65	1,56	0,1	10,8	41,9	9,4	11,8	26,0	47,2	–28

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bt1, 75–85	1,63	0,1	7,9	40,2	5,6	12,6	33,6	51,8	–7
Bt2ca, 95–105	1,60	0,2	5,0	40,0	7,4	8,3	39,1	54,8	+8
BC, 115–125	1,52	0,6	6,4	37,1	8,3	9,3	38,3	55,9	+6
C, 135–145	не оп.	5,8	11,5	29,5	6,0	10,9	36,3	53,2	0

Примечание: * – расчёт накопления ила не произведен ввиду наличия признаков неоднородности породы.

Валовой химический состав соответствует гранулометрическому, подтверждая факт элювиально-иллювиальной неоднородности профилей (табл. 2). Это объясняется в первую очередь соответствующим распределением ряда оксидов: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO . В разрезе В-18 обращает на себя внимание пониженное содержание оксида Si и повышенное оксида Ca в средней и нижней частях профиля, имеющее педогенно- и, отчасти, литогенно обусловленную природу.

Таблица 2

**Валовой химический состав серых почв с ВГГ
Уржумского и Мари-Турекского плато**

Горизонт, глубина, см	Процент от прокаленной массы									
	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Na ₂ O	K ₂ O
Разрез В-18										
РУ, 0–25	67,57	1,31	1,23	4,18	11,18	0,85	0,19	0,24	1,43	2,23
АЕI[hh], 25–32	69,65	1,05	1,32	4,31	11,60	0,87	0,07	0,12	1,49	2,32
Bt1, 40–50	61,07	1,05	2,00	6,65	14,02	0,77	0,08	0,09	0,94	2,18
Bt2, 67–75	61,26	1,38	2,26	6,43	13,61	0,77	0,12	0,11	1,10	2,12
BCca, 85–95	56,89	4,35	2,34	6,36	12,94	0,71	0,12	0,10	1,20	2,00
Cca, 100–110	50,41	6,38	2,79	7,46	13,80	0,70	0,13	0,10	1,11	1,92
Разрез У-27										
РУ, 0–30	76,68	1,31	1,23	4,13	11,40	0,86	0,14	0,20	1,59	2,44
АЕI[hh], 30–35	77,66	1,26	1,10	3,85	10,87	0,87	0,16	0,24	1,58	2,42
АЕI[hh], 40–50	78,03	1,28	0,98	3,73	10,69	0,89	0,16	0,25	1,56	2,43
ВЕI, 52–65	74,74	1,17	1,62	5,14	12,67	0,82	0,10	0,10	1,28	2,35
Bt1, 75–85	73,16	1,20	1,85	5,78	13,36	0,84	0,11	0,08	1,31	2,29
Bt2ca, 95–105	72,44	1,18	1,84	5,99	13,97	0,84	0,10	0,08	1,25	2,30
BC, 115–125	71,22	1,23	2,01	6,35	14,47	0,85	0,11	0,11	1,31	2,34
C, 135–145	72,35	1,23	1,98	6,12	13,84	0,79	0,11	0,10	1,23	2,24

Фракционно-групповой состав органического вещества (ОВ) серых почв с ВГГ в целом типичен для этой генетической группы (табл. 3). Гумусово-аккумулятивная толща имеет фульватно-гуматный и гуматный состав ОВ, иллювиальная часть профиля – фульватный. В ВГГ, несмотря на оподзоленность, показатель гуматности приближается к величине около 2–2,5. В составе гуминовых кислот (ГК) отмечено преобладание фракции, связанной с кальцием, доля которой возрастает в нижней части ВГГ.

**Состав гумуса серых почв с ВГГ
Уржумского и Мари-Турекского плато (% от общего углерода)**

Горизонт, глубина, см	Гумус	С общ.	ГК1	ГК2	Сумма СГК	ФК1а	ФК1	ФК2	Сумма СФК	Гумины	СГК:СФК
	%										
Разрез У-27											
РУ, 0–30	3,74	2,18	8,3	19,3	27,6	7,2	8,3	3,2	18,7	53,7	1,5
АЕI[hh], 30–40	3,44	2,00	14,5	13,5	28,0	5,1	11,5	4,0	20,6	51,4	1,4
АЕI[hh], 40–50	3,20	1,86	13,4	27,4	40,8	6,1	9,1	0,5	15,7	43,5	2,6
ВЕI, 52–62	0,67	0,39	7,7	33,3	41,0	21,8	5,1	5,1	32,0	27,0	1,3
Вt1, 75–85	0,62	0,36	0	0	0	23,9	0	0	0	0	0
Вt2ca, 95–105	0,52	0,30	0	0	0	30,5	0	0	0	0	0
Разрез В-18											
РУ, 0–25	3,49	2,03	5,4	21,2	26,6	6,6	10,8	6,9	24,3	49,1	1,1
АЕI[hh], 25–32	2,30	1,34	4,5	26,1	30,6	7,8	3,0	6,0	16,8	52,6	1,8
Вt1, 40–50	0,62	0,36	8,3	19,4	27,7	30,3	13,9	2,8	47,0	25,3	0,6
Вt2, 67–75	0,65	0,38	0	0	0	15,8	0	0	0	0	0
ВСca, 85–95	0,64	0,37	0	0	0	15,9	0	0	0	0	0

Результаты радиоуглеродного датирования ГК указывают на формирование ОВ гор. АЕI[hh] около 7,5–6,5 тыс. лет назад – в атлантическую стадию голоцена (табл. 4). Изложенные данные свидетельствуют о гетерохронности гумусового профиля и полигенезе данной почвы.

Таблица 4

**Возраст гуминовых кислот серых почв с ВГГ
Уржумского и Мари-Турекского плато**

Разрез №	Горизонт, глубина, см	Фракция ГК	Возраст, лет	
			по С-14	календарный, до н. э.
В-18	АЕI[hh], 25–32	3	6950±100	не опр.
У-27	АЕI[hh], 40–50	2	5510±60	4449±4257
		3	6440±120	5515±5295

Физико-химические показатели отражают актуальные свойства серых почв с ВГГ как наиболее адекватные современным условиям УМТП и соответствуют гранулометрическому составу и валовым химическим данным (табл. 5). В агроландшафтах существенные коррективы может вносить различный уровень культуры земледелия. Почвы характеризуются слабокислой реакцией среды и невысоким содержанием обменных оснований в верхних горизонтах вследствие элювирования в современных условиях. Количество последних, как и ёмкость катионного обмена, заметно возрастают в нижней половине профиля за счёт ослабления степени выщелоченности материнских пород, с одной стороны, и иллювиально-карбонатного процесса, с другой.

При этом степень насыщенности основаниями в целом сохраняется в диапазоне около 80–90%.

Таблица 5

**Физико-химические свойства серых почв с ВГГ
Уржумского и Мари-Турекского плато**

Горизонт, глубина, см	рН		Нг	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ca ²⁺	Е	V	Ca ²⁺ +Mg ²⁺
	H ₂ O	KCl						
РазрезУ-27								
РУ, 0–30	6,8	5,5	2,5	14,9	13,1	17,4	86	–35
AEI[hh], 30–35	6,3	5,1	3,6	12,1	10,6	15,7	77	–47
AEI[hh], 45–50	6,4	5,2	3,2	11,6	10,0	14,8	78	–40
BEI, 55–65	7,1	5,4	1,6	15,3	13,5	16,9	91	–33
Bt1, 75–85	7,2	5,4	1,7	17,5	15,0	19,2	91	–23
Bt2ca, 95–105	7,1	5,2	1,9	22,5	20,1	24,4	92	–1
C, 115–125	6,7	4,8	2,3	22,4	20,1	24,7	91	–2
C, 135–145	6,4	4,6	2,5	22,8	20,3	25,3	90	0

В заключение следует напомнить о нахождении рассматриваемых серых почв с бинарным гумусовым профилем в зоне смешанных лесов УМТП, что диссонирует с представлениями об их приуроченности к зоне лесостепи. Это может быть объяснено особой полигенетической природой гумусового профиля данных почв. Они являются памятью палео-лесостепных ландшафтов, существовавших на территории Вятского Прикамья в атлантическую стадию раннего голоцена. Начиная с позднего голоцена бывшие темноцветные почвы развиваются в ином – деградационном – тренде, вызванном «наступлением леса на степь» – по Коржинскому. Этим объясняется современное нахождение почв не под широколиственными, а под широколиственно-хвойными лесами востока ЕТР. При сохранении деградационного тренда следует ожидать их постепенной трансформации в дерново-подзолистые почвы с ВГГ, а затем и в обычные дерново-подзолистые почвы, утратившие свидетельства былого темноцветного прошлого. В агроландшафтах большие площади серых почв ныне уже почти не сохранили реликтовых феноменов в результате припахивания ВГГ или сопутствующей водной эрозии.

Библиографический список

1. Докучаев В. В. Методы исследования вопроса: были ли леса в южной степной России? // Труды Вольного экономического общества. Отдельное издание. СПб. : типография В. Демакова, 1889. С. 1–38.
2. Коржинский С. И. Северная граница черноземно-степной области восточной полосы Европейской России в ботаническом и почвенном отношении // Труды Общества естествоиспытателей при Казанском университете. Т. 22. Вып. 6. Казань, 1891. 204 с.
3. Танфильев Г. И. О владимирском черноземе // Труды Вольного экономического общества. 1896. С. 47–53.
4. Тюрин И. В. К вопросу о генезисе и классификации лесостепных и лесных почв // Ученые записки Казанского университета. 1930. Т. 90. Кн. 3–4. С. 429–462.

5. Валева А. А. Серые лесные почвы Волжско-Камской лесостепи: количественный подход к классификации : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань : Казанский госуниверситет, 2014. 20 с.

6. Александровский А. Л., Чендев Ю. Г., Юртаев А. А. Почвы со вторым гумусовым горизонтом и палеочерноземы как свидетельства эволюции педогенеза в голоцене на периферии лесной зоны и в лесостепи (обзор) // Почвоведение. 2022. № 2. С. 147–167.

7. Прокашев А. М. Серые полигенетические почвы Вятского Прикамья. Киров : Изд-во ВятГГУ, 2006. 187 с.

8. Алифанов В. М. Палеогеографические аспекты формирования серых лесных почв // Генезис, плодородие и мелиорация почв. Пушкино, 1980. С. 44–58.

9. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Л. : Наука, 1980. 222 с.

10. Макеев А. О. Поверхностные палеопочвы лёссовых водоразделов Русской равнины. М. : Молнет, 2012. 260 с.

ОСОБЕННОСТИ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК В РАЗНЫХ ТИПАХ ЛЕСА СРЕДНЕЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ

***И. А. Лиханова, С. В. Денева, Ю. В. Холопов, А. А. Рудь,
Е. А. Скребенков, Н. Н. Бондаренко, Е. М. Лаптева***

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия, likhanova@ib.komisc.ru*

В статье представлены особенности лесных подстилок еловых, сосновых и осиновых лесов подзоны средней тайги европейского северо-востока России. Определены мощность, плотность, масса подстилок и запасы углерода в подстилках в разных типах леса. Выявлена зависимость между запасами подстилок и условиями увлажнения биотопов.

Ключевые слова: лесная подстилка, парцелла, тип леса, мощность подстилки, плотность подстилки, масса подстилки, запасы углерода в подстилках.

Лесная подстилка – важнейший компонент лесного биогеоценоза, представляющий слой органического материала на поверхности почвы, сформированный преимущественно из растительного опада. В зависимости от конкретных условий и времени поступления на поверхность почвы органический материал находится на разных стадиях разложения, характеризуется постепенной и последовательной гомогенизацией с глубиной и расчлененностью на подгоризонты. При изучении подстилок информативными показателями являются их масса, мощность, плотность сложения и содержание в них органического углерода. Разные структура и состав подстилок связаны с условиями почвообразования, строением и продуктивностью фитоценозов, особенно древесного и напочвенного ярусов, определяющих основную массу опада. Существенным образом масса подстилки связана с горизонтальным строением фитоценоза, с его парцеллами.

Цель исследования – изучение влияния типа леса и парцеллярной структуры живого растительного покрова на мощность, плотность слоения и запасы лесной подстилки в лесных сообществах средней тайги северо-востока европейской части России.

Работа выполнена в Республике Коми на территории заказника «Ляльский» (62°15' с. ш., 50°40' в. д.). Исследования лесных подстилок проводили в четырех типах леса: ельниках черничных (4 пробные площади), сосняках черничных (4 пробные площади), сосняках чернично-сфагновых (4 пробные площади) и осинниках черничных (2 пробные площади). Все пробные площади послепожарного происхождения.

Отбор подстилок проводили в пределах каждой пробной площади в соответствии с выделенными парцеллами. Для отбора использовали шаблон размером 0,25 x 0,25 м, в свежем состоянии подстилки разделяли на подгоризонты. Определяли мощность подгоризонтов, их запасы и плотность. Содержание углерода органического (Сорг.) в образцах подстилок определяли в экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS–O) (фирма SE Instruments, Италия) в соответствии с аттестованной методикой методом газовой хроматографии.

В ельниках чернично-зеленомошных рыхлая слаборазложившаяся часть подстилки (O1) плавно переходит в буровато-коричневатый, войлокообразный уплотненный слой (O2), переплетенный белым и желтым мицелием и многочисленными корнями. Нижняя часть подстилки (O3) характеризуется темно-бурой окраской, хорошо разложена. Плотность слоев подстилки с глубиной возрастает от 0,05 до 0,16 г/см³. Подстилки относятся к елово-хвоевым-черничным мало- и среднемощным. Мощность подстилок составляет в среднем 5–8 см, запас 39–64 т/га, увеличиваясь от ельников черничных свежих к ельникам черничным влажным. Запасы углерода в подстилке колеблются от 14 до 21 тС/га. В долгомошно-сфагновых и сфагновых парцеллах, приуроченных к микропонижениям, в подстилке появляются подгоризонты сфагнового очеса, торфяного слоя (Т) и нижнего перегнойного слоя (Н). Мощность подстилки увеличивается до 10–12 см, запас – до 73–80 т/га.

В сосняках чернично-зеленомошных рыхлая светло-бурая слаборазложившаяся часть (O1) подстилки состоит из отмершей части зеленых мхов с включениями хвои сосны, шишек, веточек. Ферментативный подгоризонт (O2) бурый, войлокообразный, переплетен корнями и гифами мицелия, отмечено значительное количество трухлявой древесины. Плотность подстилки – около 0,09 г/см³, мощность – 4–5 см. Запас подстилок колеблется в пределах 42–49 т/га. Подстилка классифицируется как сосново-хвоево-моховая типичная. Запасы углерода в подстилке составляют около 25 тС/га. При увеличении поверхностного гидроморфизма в сосняках чернично-зеленомошных появляются сфагново-зеленомошные, зеленомошно-долгомошные и сфагновые парцеллы. В них запас подстилок увеличивается до 65–109 т/га при мощности 8–14 см. В зеленомошно-долгомошных и сфагново-зеленомошных парцеллах зафиксированы торфянистые подстилки. В сфагновых парцеллах формируют-

ся торфянисто-перегнойные подстилки, где появляется уплотненный перегнойный горизонт, темно-бурой, почти черной окраски.

В сосняках кустарничково-сфагновых формируются подстилки с хорошо выраженным перегнойным горизонтом – торфянисто-перегнойные (с мощностью 9–15 см) и перегнойно-торфянистые (мощностью 16–25 см). Для данных подстилок характерны подгоризонты сфагнового очеса, торфяной (Т) и перегнойный (Н). Торфяной слой разделяется по окраске торфа и его плотности. С глубиной он становится более темным и плотным. Перегнойный слой темно окрашен. По сравнению с остальными слоями он менее мощный. Граница между торфяным слоем и перегнойным достаточно резкая. Плотность подстилок с глубиной увеличивается от 0,03 до 0,17 г/см³. Запасы подстилок по парцеллам колеблются от 76 до 146 т/га при мощности от 9 до 21 см. Запасы углерода достигают 51–75 тС/га.

В осинниках верхний подгоризонт (L) подстилки представлен слоем спрессованных прошлогодних листьев осины с включениями отмерших частей политриховых (редко зеленых) мхов и веточек. Ниже расположен войлокообразный темно-бурый почти черный слой ферментации (F), переходящий в темно-бурый, почти черный уплотненный мелкодисперсный слой гумификации (H). Подстилка мощностью в среднем около 6 см классифицируется как листовенно-осиновая, мощная влажномуллевая. Плотность подстилок с глубиной увеличивается от 0,06 до 0,16 г/см³. Запасы подстилки, как правило, колеблются от 59 до 64 т/га, достигая максимальных значений (71 т/га) в долгомошных парцеллах. Запасы углерода в подстилках осинников составляют около 24 тС/га. Сравнительно значимое накопление в осиновых лесах запасов подстилок, по-видимому, связано с составом опада, содержащего много дубильных веществ.

Таким образом, проведенные исследования выявили неоднородность мощности и запасов подстилок в таежных лесах, даже в пределах одного типа леса. Это может быть обусловлено неоднородностью рельефа местности, разнообразием почвообразующих пород и особенностями почвенного покрова. Микрорельеф и двучленный характер почвообразующих пород определяют существенную разницу в условиях увлажнения верхних горизонтов почв даже на небольших по площади территориях, что определяет пестроту горизонтальной структуры растительного покрова и характеристик подстилок.

Нами показана взаимосвязь полевой влажности подстилок с их запасами на рассмотренных пробных площадях. Эта взаимосвязь выражена уравнением: $y = 5,3588 \ln(x) - 20,56$ ($R^2 = 0,7537$), где x – полевая влажность в середине вегетационного периода, %, y – запас подстилки, кг/м². Увеличение влажности почв способствует увеличению мощности и запасов подстилок, поскольку повышенная влажность почв в большинстве типов среднетаежных лесов обуславливает слабую минерализацию растительного опада.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на

территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6)» и темы госзадания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (рег. № 122040600023-8).

РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВ ДОЛИНЫ РЕКИ АЛЬМА ВНЕШНЕГО МЕЖГРЯДОВОГО ПониЖЕНИЯ ПРЕДГОРНОГО КРЫМА

В. Б. Пышкин, В. Г. Кобечинская, Т. А. Галкина
Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского,
г. Симферополь, Россия, vpbiscri@mail.ru

В статье приводятся некоторые данные о разнообразии почв долины реки Альма в Предгорном Крыму, их морфологии, хорологии и экологии, полученные в ходе реализации программы *CrimSoil*. Они призваны помочь в поиске новых путей организации агропочвенных заповедников, в создании особо охраняемых природных территорий региональной экологической сети Крыма.

Ключевые слова: Крым, почвы, ландшафт, экосистема, разнообразие.

Река Альма (Алма) – самая длинная река Юго-Западного Крыма (79 км). Её истоки расположены на склонах Главной гряды Крымских гор, где сливаются притоки рек Бабуганка и Сары-Су. После пересечения Внутренней гряды Крымских гор долина реки Альмы значительно расширяется, формируя волнисто-холмистую обширную равнину, почвы которой многие века используются человеком в сельском хозяйстве.

Сложное геологическое и морфологическое строение долины, разнообразие рельефа и почвообразующих пород, климата и растительности, а также антропогенное воздействие оказали влияние на формирование здесь большого разнообразия черноземов предгорных, дерново-карбонатных, коричневых, аллювиально-луговых и луговых почв.

Изучение разнообразия почв долины реки Альма в Предгорье проводилось по программе *CrimSoil*. Её основой является информационная система, предназначенной для сбора, хранения и объединения авторских разработок по таксономическому составу, морфологии, экологии и хорологии почв Крыма, их физико-химических и агрономических свойств, для которых достоверно известны пространственные координаты проведения исследований [1–4].

Наиболее распространены в долине черноземы предгорные карбонатные на древнем щебнисто-суглинистом делювии известняков и мергелистых суглинках. Они формируются на повышенных элементах рельефа, в основном слабопологих и пологих склонах различной экспозиции. Почвы автоморфные, грунтовые воды залегают глубже 8 м. Мощность гумусовых горизонтов (Нк+Нрк) составляет 42–53 см. Вскипание отмечается с поверхности и по

всему профилю. Механический состав почв неоднороден: от пылевато-легкоглинистого до песчанисто – тяжелосуглинистого. Наличие свободных карбонатов отмечается с поверхности и по всему профилю 1,24–48,15%. Реакция почвенного раствора средне-щелочная, рН от 7,8 до 8,3. Содержание гумуса в слое 0–20 см колеблется в пределах 3,2–4,8%. Все почвы плантажированные, используются под пашню, сады, виноградники.

На узких эрозионно-опасных плато и пологих склонах залегают черноземы предгорные остаточно-солонцеватые бескарбонатные суглинистые на тяжелых третичных глинах. Грунтовые воды залегают глубже 8 м и влияния на почвообразовательный процесс не оказывают. Солевой горизонт залегает на глубине 80–150 см. Мощность гумусовых горизонтов почв составляет 52–67 см. Гумуса в слое 0–20 см содержится 3,5–3,7%. Сумма поглощенных оснований составляет 34,17–46,35 мг-экв. на 100 г почвы. Поглощающий комплекс почв насыщен в основном кальцием – 64,2–89,2% от суммы поглощенных оснований. На долю поглощенного магния приходится 10,0–32,7%. Количество поглощенного натрия в слое 30–40 см колеблется от 2,1 до 3,1%, что указывает на остаточную солонцеватость. Реакция почвенного раствора средне-щелочная, рН 7,7–8,2. Плотный остаток (сумма легкорастворимых солей) составляет 1,9%. Сумма токсичных солей составляет 0,9%. Тип засоления сульфатный, степень засоления сильная.

По днищам ложбин, куда с примыкающих склонов происходит намыв мелкозема, сформировались черноземы предгорные карбонатные намывные песчанисто-тяжелосуглинистые почвы на мергелистых суглинках, грунтовые воды залегают глубже 8 м. Мощность гумусовых горизонтов (Нк+Нрк) составляет 60–90 см. Вскипание от 10% соляной кислоты отмечается с поверхности и по всему профилю. Гумуса в слое 0–20 см содержится 2,9–4,0%, ниже – 2,3–3,8%. Содержание свободных карбонатов (CaCO_3) по профилю колеблется в пределах 16,37–31,86%. Реакция почвенной среды средне-щелочная, рН 8,0. Используются только под пашню.

На пологих склонах различной крутизны и экспозиции сформировались дерново-карбонатные слаборазвитые среднесмытые суглинисто-щебнисто-каменистые почвы на делювии-элювии известняка и мергеля. Мощность гумусовых горизонтов колеблется от 7 до 20 см. Содержание гумуса в верхнем горизонте 2,1–4,9%, рН 7,9–8,2. Содержание CaCO_3 – от 2,18 до 58,90%. Используются под пастбища.

На узких водораздельных плато и на пологих склонах гряд под покровом древесной и кустарниковой растительности на разнообразных почвообразующих породах (известняках, мергелях, конгломератах, песчаниках и глинисто-щебнистом элювии и смешанном делювии) формируются коричнево-бурые и коричневые почвы. Наиболее распространены – коричневые карбонатные маломощные тяжелосуглинистые слабо-щебнистые почвы на суглинисто-щебнисто-каменистом элювии известняков. Мощность гумусовых горизонтов (Нк+Нрк) у полнопрофильных почв 52–70 см. Гумуса в слое 0–20 см содержится 2,9–5,8%, на глубине 54–64 см его содержится 2,1%. Наличие

свободных карбонатов отмечается с поверхности и по всему профилю – 7,84–29,49%. Реакция почвенного раствора среднещелочная рН 8,0–8,2. Используются эти почвы под пашню и виноградники.

В пойме реки и по днищам балок в гидроморфных условиях, где уровень грунтовых вод залегает на глубине 1–1,5 м, формируются луговые почвы. Часто грунтовые воды подтапливают нижнюю часть профиля, вызывая оглеение, о чем свидетельствует наличие охристых и сизых пятен. Наиболее распространены аллювиальные луговые карбонатные тяжелосуглинистые глеевые почвы на древнем суглинистом аллювии. Приурочены к центральной части поймы реки. Мощность гумусовых горизонтов 40–60 см, содержание гумуса – 1,4–2,6%, количество CaCO_3 по профилю колеблется от 1,25 до 6,50%. Реакция почвенной среды среднещелочная (рН 7,7–8,2). Горизонт накопления солей отсутствует. Плотный остаток равен 0,048–0,113%. Используются в основном под сады и сенокосы.

В лоцинообразных понижениях долины развиваются лугово-болотные карбонатные легкоглинистые глеевые среднесолонцеватые почвы на третичных глинах, грунтовые воды залегают выше 0,5 м. Восходящие потоки почвенных растворов оказывают влияние на аккумуляцию солей в поверхностных горизонтах почв. Солевой горизонт залегает на глубине 0–30 см. Оглеение отмечается с поверхности. Мощность гумусовых горизонтов составляет 45–120 см. Содержание гумуса в слое 0–20 см составляет 2,2–4,4%, ниже по профилю его содержание падает до 2,2%. Сумма поглощенных оснований – 44,56–45,26 мг-экв. на 100 г почвы, преобладает поглощенный кальций – 84,5–87,6%. Поглощенным магнием коллоидный комплекс насыщен на 9,2–11,6%, поглощенным натрием, обуславливающим остаточную солонцеватость, – на 3,2–3,9% от суммы поглощенных оснований. Почвы карбонатные, содержание CaCO_3 по профилю варьирует в пределах 2,59–42,05%. Реакция почвенного раствора среднещелочная, рН 7,7–7,8. Анализ водной вытяжки указывает, что почвы засолены с поверхности. Плотный остаток на глубине 8–18 см составляет 0,26%. Сумма токсичных солей – 0,28%. Тип засоления – хлоридный, степень засоления средняя. Почвы в сельском хозяйстве не используются.

В создаваемую базу *CrimSoil* вошли данные по 60 почвенным разностям основных типов и подтипов почв долины реки Альма. Она призвана помочь в выявлении эталонных почвенных профилей, наиболее полно характеризующих различные систематические категории почв. Это должно помочь в создании Красной книги почв Крыма, выделении перспективных участков для создания особо охраняемых природных территорий, агропочвенных заказников и заповедников на полуострове.

Библиографический список

1. Пышкин В. Б., Прыгунова И. Л. Почвы Крыма: программа *CrimSoil* // Ломоносовские чтения : сб. материалов науч. конф. Севастополь : Филиал МГУ имени М. В. Ломоносова, 2007 С. 37–39.

2. Пышкин В. Б., Прыгунова И. Л. К созданию Красной книги почв Крымского полуострова: программа *CrimSoil* // Заповедники Крыма. Симферополь : Эльбико, 2007. Ч. 1. С. 371–377.

3. Пышкин В. Б., Кобечинская В. Г. Рациональное использование почвенного разнообразия агроценозов Большого Сухоречья Крыма // Теоретические и прикладные аспекты организации, проведения и использования мониторинговых наблюдений. Минск : ИВЦ Минфина, 2023. С. 357–359.

4. Пышкин В. Б., Прыгунова И. Л., Кобечинская В. Г. К изучению разнообразия почв долины реки Альма в Предгорном Крыму // Ломоносовские чтения : сб. материалов науч. конф. Севастополь : Филиал МГУ имени М. В. Ломоносова, 2022. С. 27.

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПУГОВЫХ ХОЛМОВ ТЕРРИТОРИИ ВЯТСКО-КАМСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

А. Д. Бадикова, А. С. Баженова, И. А. Вартан
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, badikovaarina@yandex.ru

Проведены исследования пуговых холмов – уникальных объектов, характерных для восточной части Русской равнины. Рассматривается их геологическое строение, местоположение и гипотезы происхождения. Авторы подчеркивают нехватку комплексных исследований и представляют результаты анализа флоры и почвенного покрова пуговых холмов.

Ключевые слова: почвенный покров, пуговые холмы, песчано-гравийные холмы, природно-техногенные памятники.

На территории Русской равнины, а именно, восточной её части, распространены уникальные песчано-гравийные образования с характерной округлой или вытянутой формой – пуговые холмы или пуги.

Чаще всего они представлены в виде наносов караваеобразной формы, иногда конусовидных холмов и гряд, расположенных одиночно или группами. Сконцентрированы они на территории водоразделов в пределах бассейна реки Вятка и обычно являются наиболее возвышенной формой рельефа. Пуговые холмы – элементы мезорельефа, имеющие среднюю высоту, не превышающую 30 м, асимметричного строения. Площадь холмов может быть достаточно вариативной и составлять 1–3,5 км² [1, 2].

Данные образования сложены песчано-гравийным материалом, чаще с рыхлым внутренним наполнением, однако встречаются и суглинистые. В основном пуги представлены песчаниками и конгломератами, спаянными углекислой известью. Внутри них присутствует слоистость в пределах от 2 до 20 м, которая представляет собой чередование слоёв песчано-гравийного и гравийно-галечного материала с уклоном в 2–20°. При этом важно отметить, что текстура слоистости сходна с речными отложениями [1, 2].

Пуговые холмы встречаются в пределах Вятско-Камского и Вятско-Чепецкого физико-географических округов, входящих в состав Восточно-Европейской (Русской) равнины. Вятско-Камский физико-географический округ охватывает северо-восточную часть Кировской области и включает верховья рек Вятки и Камы, а также правобережье Чепцы. Вятско-Чепецкий округ граничит с Вятско-Камским и включает центральную часть Вятского Увала и Чепецко-Кильмезское междуречье. Каждый из округов выделяется на основе относительной однородности развития, включая геологическое прошлое, рельеф, почвы и растительный покров [3, 4].

Существуют две основные гипотезы о генезисе и возрасте пуговых холмов: первая предполагает, что этих образования сложены элювием галечных конгломератов палеоречных наносов перми и триаса, в то время как вторая гипотеза связывает образование пуговых холмов с флювиогляциальными процессами четвертичного периода. Предполагается, что холмы северной части Кировской области сложены флювиогляциальными отложениями четвертичного времени, тогда как на территории к югу от реки Чепца вероятнее палеоречное происхождение этих формаций [5].

Основная проблема заключается в односторонней изученности данных объектов. Ранее пуги были изучены преимущественно с минералогическими позициями с целью дальнейшего промыслового использования этих уникальных природных объектов в качестве источника дорожно-строительного материала. Встречаются и немногочисленные публикации, посвященные их палеоботаническому обследованию. Именно недостаточность комплексных исследований почвенного покрова и геосистемной структуры пуговых холмов определяет актуальность настоящей статьи.

В большинстве случаев флора пуговых холмов совпадает с типичной для данных широт растительностью. Зачастую холмы лишены естественного растительного покрова, который замещен пашнями, вырубками, залежами. Распространены разнотравно-луговые формации, реже разнотравно-злаковые. Лесные формации чаще всего представлены пихтово-еловыми, берёзово-еловыми, реже сосновыми лесами [2, 5, 6].

Почвенный покров пуговых холмов в целом сходен с типичными зональными почвами территорий, на которых они расположены. Наиболее распространены дерново-подзолистые почвы и дерново-подзолы. В верхней части холмов почвы подстилаются песчано-гравелисто-галечными отложениями, в некоторых случаях на моренных или на покровных суглинках. Нижние части склонов покрыты типичными дерново-подзолами разной степени оподзоленности на водно-ледниковых песках и супесях в северных районах и на покровных суглинках в районах, расположенных к югу от р. Чепца [2, 5, 6].

Физико-химические свойства почв пуговых холмов, в целом, можно назвать типичными для территории нашего региона. Значения рН солевой вытяжки почв изученных пуг находятся в диапазоне кислой и сильнокислой среды, независимо от местонахождения пугового холма. Также почвы имеют малую насыщенность органическим веществом, что является причиной низ-

кой ёмкости катионного обмена. Согласно результатам химического анализа образцов из горизонтов профиля можно сделать вывод, что почвы в основном имеют незакономерное вертикальное распределение физико-химических показателей, что объясняется воздействием различных мелиоративных мероприятий, проводимых на изучаемых территориях в прошлом [1, 6–8].

Таким образом, ввиду особенностей распространения, строения и генезиса пуговые холмы являются уникальными объектами, требующими тщательного комплексного изучения. В то же время, по результатам предварительного анализа данных о структуре почвенно-растительного покрова изученных объектов можно сделать вывод о том, что они активно вовлечены в хозяйственную деятельность. Это в значительной степени способствовало преобразованию геосистем пуговых холмов, в частности, повлияло на физические и химические свойства почв.

Библиографический список

1. Ландшафтная структура и почвенный покров пугового урочища Вострово / И. А. Вартан, М. А. Кельдышев, А. А. Крысов и др. // Почвы России: вчера, сегодня, завтра : материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Киров, 2017. С. 37–43.
2. Структура пуговых ландшафтов Вятско-Камского Предуралья / И. А. Вартан, А. М. Прокашев, Р. Р. Чепурнов и др. // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров, 2016. С. 81–86.
3. География Кировской области / Е. А. Колеватых, А. М. Прокашева, Г. А. Русских // Атлас-книга. Киров : Кировская областная типография, 2015. 80 с.
4. Природа Кировской области. Часть 2. Физико-географические районы / С. Л. Щеклеин, Д. Д. Лавров, Ф. Г. Красноянский и др. Киров, 1966. 367 с.
5. Фациальная структура пуговых холмов Вятского Прикамья / И. А. Вартан, А. М. Прокашев, М. А. Кельдышев и др. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2017. С. 8–13.
6. Почвы пуговых урочищ Вятско-Камского Предуралья / И. А. Вартан, А. М. Прокашев, М. А. Кельдышев и др. // Общество. Наука. Инновации : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. : в 3 томах. Киров : Вятский государственный университет, 2018. С. 1079–1086.
7. Почвы пуговых холмов палеоледниковой зоны Вятско-Камского Предуралья / У. А. Стародумова, И. А. Вартан, А. М. Прокашев, А. А. Крысов // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2019. С. 151–154.
8. Свойства почв пуговых холмов палеоледниковой зоны Вятско-Камского Предуралья / И. А. Вартан, У. А. Стародумова, А. А. Крысов, А. М. Прокашев // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров, 2020. С. 224–227.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ (НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ)

Ю. А. Смотрина^{1,2}, Е. М. Лаптева¹, И. В. Далькэ^{1,2},
И. Г. Захожий¹, Е. А. Скребенков^{1,2}, Ю. И. Боброва¹

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

² Сыктывкарский государственный университет имени Путьирима Сорокина,
г. Сыктывкар, Россия, smotrina-juliya@yandex.ru

Определены пределы варьирования углерода микробной биомассы и фермента каталазы в постагрогенных почвах под разными типами растительности. Показано, что инвазия *H. sosnowskyi* в постагрогенных экосистемах средней тайги способствует активизации жизнедеятельности микробных сообществ, что находит свое отражение в возрастании величины микробной биомассы и активности фермента каталаза в почвах по сравнению с залежными землями, занятыми злаково-разнотравными лугами и древесными сообществами. При благоприятных погодных условиях (теплый вегетационный период с сохранением теплообеспеченности почв в позднеосенний период на уровне положительных температур) жизнедеятельность микробных сообществ сохраняется в почвах до глубины 20 см даже при наличии устойчивого снежного покрова.

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

Биологическая активность почв – один из важнейших показателей, позволяющих оценить экологическое состояние и функционирование почв в наземных экосистемах – как природных, так и антропогенно преобразованных [1]. При характеристике биологической активности почв обращают внимание на такие параметры как содержание, состав и распределение почвенных микроорганизмов [2], содержание и динамика углерода микробной биомассы [3], активность ферментов в почвах [4]. Ранее проведенными исследованиями показано [5], что внедрение борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на залежные земли в условиях таежной зоны способствует формированию уникальных мало видовых растительных сообществ, сохраняющихся и самоподдерживающихся в течение длительного времени. Включение в состав растительного сообщества растений *H. sosnowskyi*, богатых биофильными элементами и легко минерализуемыми органическими соединениями, обуславливает сохранение и поддержание на высоком уровне плодородия почв постагрогенных экосистем [6].

Цель данной работы заключалась в выявлении основных закономерностей изменения биологической активности бывших пахотных почв в поста-

гrogenных экосистемах средней тайги под влиянием различных типов растительных сообществ.

Исследования проводили в окрестностях г. Сыктывкар (Республика Коми, средняя тайга). Климат района исследования умеренно-континентальный умеренно-холодный, характеризуется длительной холодной зимой с устойчивым снежным покровом и коротким прохладным летом. Среднегодовая температура воздуха около +1 °С. Среднесуточная температура самого теплого месяца (июль) около +17 °С, самого холодного (январь) – около –16 °С. Годовое количество осадков – 600–700 мм, осадки выпадают преимущественно в теплый период года (апрель-октябрь). Годовой коэффициент увлажнения по Н. И. Иванову – 1,15. Длительность безморозного периода – 180–190 дней.

Для проведения исследований выбран модельный участок (МУ) площадью около 1 га, ранее осушенный системой открытого дренажа (координаты: 61.645851° с. ш., 50.731263° в. д.). Участок выведен из агрорежима в 2012–2013 гг., в настоящее время он активно зарастает *H. sosnowskyi*. Соответственно в пределах МУ выделены три зоны (ключевые участки – КУ), различающиеся по характеру растительности: в центральной части МУ – участок, занятый маловидовыми сообществами *H. Sosnowskyi* (КУ-1); в периферической части МУ – два участка, на одном из них сохранена злаково-разнотравная луговая растительность без внедрения особей *H. sosnowskyi*; (КУ-2), на втором формируется мелколиственный молодняк из осины, березы, ивы (КУ-3). Почвенный покров МУ представлен постагрогенной дерново-подзолистой почвой суглинистого гранулометрического состава.

В летний период 2022 г. на каждом КУ проведен отбор проб почв в динамике (с июня по ноябрь). Пробы почв отбирали послойно из бывшего пахотного горизонта (глубина 0–10 и 10–20 см) в 5-кратной повторности. Для характеристики условий функционирования микробного комплекса в почвах измеряли температуру с помощью термолоттеров ТР-1 (Россия), установленных на глубине 5 и 15 см.

В свежих образцах почв определяли скорость субстрат-индуцированного дыхания (СИД) [7], повторность определения 5-кратная. Продукцию CO₂ измеряли инфракрасным газоанализатором Li-7000 (Licor.Inc., США). По полученным данным рассчитывали величину углерода микробной биомассы (С_{мик}) по формуле:

$$C_{\text{мик}} = \text{СИД} \times 40,04 + 0,37,$$

где: С_{мик} – углерод микробной биомассы, мкг С/г почвы; СИД – скорость субстрат-индуцированного дыхания, мкл СО₂/ч/г почвы.

В воздушно-сухих образцах почв, подготовленных в соответствии с общепринятыми методами, оценивали каталитическую активность газометрическим методом (повторность определения 5 кратная) [1]. Этот метод позволяет оценить не только вклад фермента каталазы (КАф) в каталитическую активность почв (ΣКА), но и катализаторов абиотической природы (КАнф) [8]. Для статистической обработки результатов использовали пакет приклад-

ных программ Microsoft Office Excel 2010, для характеристики погодных условий – данные электронных ресурсов [9, 10].

Известно, что временная динамика трансформации наземных экосистем на постагрогенном этапе их развития может носить достаточно сложный характер, обусловленный соотношением процессов поступления, минерализации и аккумуляции органического вещества в ходе сукцессионной смены растительности на залежных почвах [11]. Общей тенденцией является возрастание биологической активности почв в процессе постагрогенной трансформации [4]. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что в границах МУ величина углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) варьирует в очень широких пределах, изменяясь в зависимости от срока отбора, слоя почвы и типа растительного сообщества практически на два порядка – от 77 ± 30 до 1318 ± 150 мкг С/г почвы (табл.). При этом в среднем за сезон максимальными показателями $C_{\text{мик}}$ (844 мкг С/г почвы) характеризовались верхние слои (0–10 см) бывшего пахотного горизонта почвы под зарослями *H. sosnowskyi*. В почвах под луговой растительностью и на участках зарастания древесными породами этот параметр находился примерно на одном уровне (соответственно 600 и 591 мкг С/г почвы).

Во все сроки отбора для образцов почв верхнего слоя бывшего пахотного горизонта (0–10 см) наблюдали четко выраженную тенденцию снижения величины $C_{\text{мик}}$ в ряду борщевик → злаково-разнотравный луг → мелколистственный древесный молодняк. Исключением явились результаты отбора, полученные в позднеосенний период (01.11.2022 г.). В этот период минимальными показателями углерода микробной биомассы характеризовалась почва луга (табл.). На глубине 10–20 см эта зависимость не выражена. В зависимости от срока отбора на первое место по содержанию $C_{\text{мик}}$ могли выходить почвы как участка КУ-1, так и КУ-2 и КУ-3.

Таблица

Динамика углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) и суммарной каталитической активности ($\Sigma\text{КА}$) в постагрогенных дерново-подзолистых почвах модельного участка под разными типами растительности (по данным 2022 г.)

Дата отбора	Глубина, см	Борщевик Сосновского (КУ-1)		Злаково-разнотравный луг (КУ-2)		Мелколистственный древесный молодняк (КУ-3)	
		$C_{\text{мик}}$	$\Sigma\text{КА}$	$C_{\text{мик}}$	$\Sigma\text{КА}$	$C_{\text{мик}}$	$\Sigma\text{КА}$
		мкг С/г почвы	$1 \text{ см}^3 \text{ O}_2/\text{г}$ почвы · мин.	мкг С/г почвы	$1 \text{ см}^3 \text{ O}_2/\text{г}$ почвы · мин.	мкг С/г почвы	$1 \text{ см}^3 \text{ O}_2/\text{г}$ почвы · мин.
1	2	3	4	5	6	7	8
01.06.22	0–10	$912 \pm 75^*$	$1,76 \pm 0,05$	721 ± 137	$0,96 \pm 0,08$	641 ± 128	$1,16 \pm 0,10$
	10–20	274 ± 95	$1,14 \pm 0,40$	228 ± 43	$0,58 \pm 0,20$	431 ± 45	$1,0 \pm 0,6$
30.06.22	0–10	583 ± 91	$0,84 \pm 0,05$	571 ± 50	$0,78 \pm 0,20$	507 ± 72	$1,02 \pm 0,08$
	10–20	526 ± 55	$0,8 \pm 0,2$	261 ± 35	$0,24 \pm 0,05$	292 ± 60	$0,80 \pm 0,07$

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
01.08.22	0–10	746±48	1,34±0,20	565±155	1,02±0,04	430±78	1,12±0,20
	10–20	341±36	0,62±0,04	365±91	0,60±0,07	251±78	0,64±0,02
02.09.22	0–10	404±50	1,5±0,5	243±29	0,78±0,10	230±67	1,06±0,09
	10–20	174±25	0,84±0,05	110±39	0,26±0,10	226±75	0,48±0,10
30.09.22	0–10	661±112	1,4±0,4	338±146	1,10±0,10	544±265	1,0±0,07
	10–20	220±29	0,86±0,05	77±30	0,44±0,09	275±112	0,48±0,04
01.11.22	0–10	1318±150	1,2±0,4	805±75	2,38±0,10	834±94	1,04±0,20
	10–20	467±59	0,36±0,05	563±84	0,8±0,5	328±54	0,54±0,05

Примечание: *среднее арифметическое ± стандартное квадратичное отклонение (n = 5).

Каталаза считается наиболее универсальным биоиндикатором состояния почвенных экосистем, поскольку адекватно отражает специфический ответ (усиление, либо снижение показателей) почвенной биоты на влияние условий среды [1, 4, 8]. Исследование биохимических свойств почв на постагроенных участках показало (табл.), что в целом уровень их ферментативной активности соответствует биоклиматическим условиям средней тайги. Во всех проанализированных образцах активность каталазы была ниже $1 \text{ см}^3 \text{ O}_2^1 \text{ г мин}^1$, что по шкале Д. Г. Звягинцева [12] соответствует очень низкой степени обогащенности почвы ферментом – почвы очень бедные. Такие параметры каталазной активности соответствуют минеральным горизонтам почв средней тайги [8].

В отличие от $S_{\text{мик}}$, в ряду: луг → борщевик → осинник отмечено статистически достоверное возрастание суммарной каталитической активности (табл.) и тенденция возрастания величин Каф и КАНф (рис.). Причем в почвах под борщевиком и в осиннике наблюдается возрастание вклада в каталитическую активность катализаторов абиогенной природы (до 27–28%), в сравнении с участком, занятым луговой растительностью (15%).

Наиболее четко прослеживается влияние характера растительного сообщества при оценке сезонной динамики показателей каталитической активности. Установлено, что наиболее стабильны эти параметры в почве под борщевиком (коэффициент варьирования $V = 20,4\%$), особенно, в верхней части бывшего пахотного горизонта (0–10 см). На лугу и в осиннике пул ферментов максимален либо в конце вегетации, либо в начале. При этом в почве участка КУ3 (мелколиственный молодняк) в меньшей степени варьируют параметры неферментативной каталитической активности ($V = 34,3\%$), а на участке КУ-2 (злаково-разнотравный луг) – ферментативная (каталазная) активность ($V = 22,2\%$).

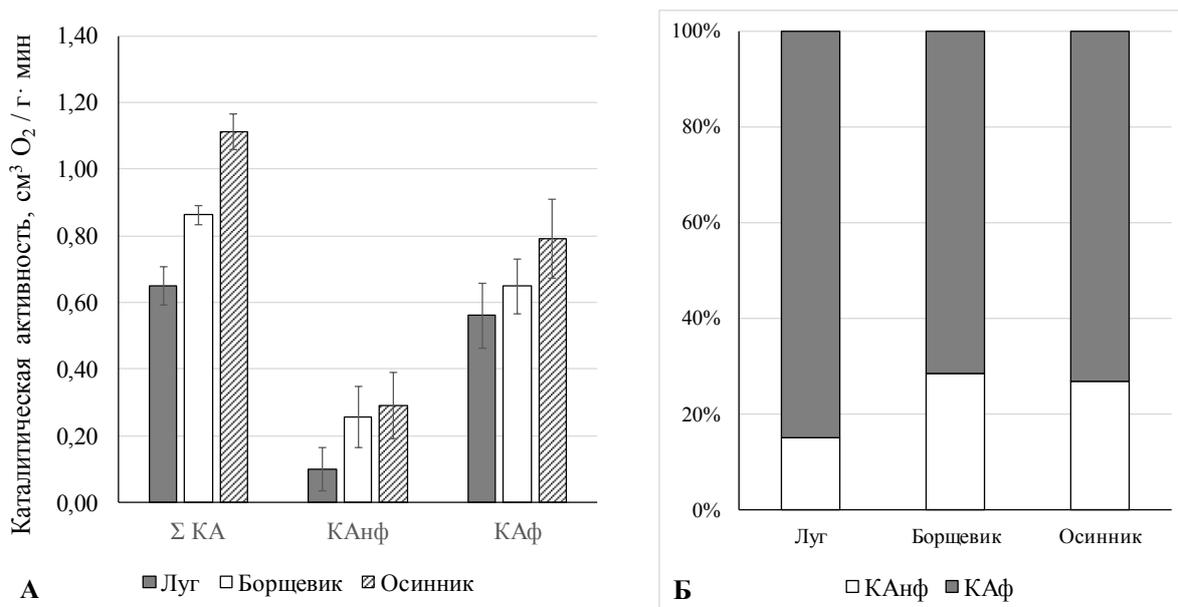


Рис. Средние значения (А) и соотношение показателей (Б) каталитической активности в бывшем пахотном горизонте почв постагрогенного участка (июнь – ноябрь 2022 г., глубина 0–20 см, n = 30):

Σ КА – суммарная каталитическая активность;

КАф – активность фермента каталазы;

КАнф – активность катализаторов абиотической природы

Таким образом, проведенные исследования показали, что внедрение на залежные земли в биоклиматических условиях средней тайги одного из агрессивных инвазионных видов – *Heracleum sosnowskyi* Manden оказывает соответствующее влияние на изменение биологических свойств постагрогенных почв. Оно проявляется в первую очередь при оценке параметров углерода микробной биомассы, значения которых во все сроки отбора, как правило, выше на участках с маловидовыми сообществами *H. sosnowskyi* по сравнению с почвами злаково-разнотравного луга и мелколиственного древесного молодняка. Формирование сообществ *H. sosnowskyi* не повлияло на уровень содержания в почвах каталазы – на всех участках постагрогенные почвы характеризуются низкой степенью обогащенности данным ферментом. Однако в ряду: злаково-разнотравный луг → заросли борщевика → мелколиственный молодняк отмечена тенденция возрастания суммарной каталитической, неферментативной и каталазной активности.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (номера госрегистрации: 122040600023-8 и 122040600021-4).

Библиографический список

1. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону : Изд-во ЦВВР, 2003. 350 с.

2. Медведева М. В., Федорец Н. Г., Ильинов А. А. Биологическая активность почв еловых генетических резерватов Северного Приладожья // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 6. С. 27–33.
3. Чимитдоржиева Э. О., Корсунова Ц. Д.-Ц., Чимитдоржиева Г. Д. Биологическая активность мерзлотных почв. DOI: 10.17513/use.37972 // Успехи современного естествознания. 2022. № 12. С. 206–211.
4. Постагрогенное изменение ферментативной активности и содержания органического углерода чернозема в первые 3 года залежного режима / К. Ш. Казеев, А. В. Трушков, М. Ю. Одабашян, С. И. Колесников. DOI: 10.31857/S0032180X20070059 // Почвоведение. 2020. № 7. С. 901–910.
5. Эколого-географический анализ распространения *Heracleum persicum*, *H. mantegazzianum* и *H. sosnowskyi* на северной границе вторичного ареала видов в Европе / И. Г. Захожий, И. В. Далькэ, И. Ф. Чадин, В. А. Канев. DOI: 10.35885/1996-1499-15-1-55-70 // Российский журнал биологических инвазий. 2022. Т. 15. № 1. С. 55–70.
6. Влияние инвазии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на плодородие постагрогенных почв Европейского Северо-Востока (на примере средней тайги Республики Коми) / Е. М. Лаптева, И. Г. Захожий, И. В. Далькэ и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-066-07 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 36–43.
7. Ananyeva N. D., Susyan E. A., Gavrilenko E. G. Determination of the soil microbial biomass carbon using the method of substrate-induced respiration. DOI: 10.1134/S1064229311030021 // Eurasian Soil Science. 2011. № 11. P. 1215–1221.
8. Перминова Е. М., Лаптева Е. М. Каталазная активность подзолистых почв коренного ельника черничного и разновозрастных лиственно-хвойных сообществ // Аграрный вестник Урала, 2018. № 05 (172). С. 44–53.
9. Гидрометцентр России [Электронный ресурс]. – URL: <https://meteoinfo.ru/climatecities> (дата обращения: 28.03.2024).
10. Погода в Сыктывкаре [Электронный ресурс]. – URL: <https://rp5.ru> (дата обращения: 28.03.2024).
11. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв / Д. И. Люри, С. В. Горячкин, Н. А. Караваяева и др. М., 2010. 415 с.
12. Звягинцев Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ С УДОБРЕНИЯМИ

Л. Д. Стахурлова¹, И. Д. Свистова²

¹ Воронежский государственный университет,
г. Воронеж, Россия, stakhurlova@rambler.ru,

² Воронежский государственный педуниверситет,
г. Воронеж, Россия, i.svistova@mail.ru

В длительном опыте с удобрениями на выщелоченных черноземах исследованы показатели биологической активности. По сравнению с целинным участком агротехногенная нагрузка изменяет структуру микробного комплекса, видовой состав микромицетов и способствует развитию фитотоксичности.

Ключевые слова: черноземы выщелоченные, удобрения, группы микроорганизмов, структура микробного сообщества, фитотоксикоз.

Идеальными индикаторами изменений в окружающей среде служат почвенные микроорганизмы, что обусловлено сложной структурой образуемых ими сообществ, значением в почвообразовательном процессе и достаточной чувствительностью к различным факторам. Установлено, что изменения биологических свойств почвы при агротехногенных воздействиях проявляются при уровне загрязнения значительно меньше предельно-допустимых концентраций (ПДК) [1]. В связи с этим, исследование изменения равновесного состояния в сообществах почвенных микроорганизмов под влиянием антропогенных нагрузок является актуальной проблемой почвоведения и экологии.

Целью настоящих исследований была оценка структуры микробного сообщества и фитотоксичности черноземов выщелоченных и выбор информативных параметров индикации состояния окружающей среды.

Исследования проводили на территории ВНИИ Сахарной свеклы и сахара имени А. Л. Мазлумова (Рамонь, Воронежская область) в условиях полевого опыта, заложенного в 1936 г. Объектом исследования служили черноземы выщелоченные среднегумусные среднемощные тяжелосуглинистые на карбонатных лессовидных суглинках. В слое 0–20 см содержалось 6,1% гумуса, сумма поглощенных оснований и H^+ составляли 27–29 и 3,2 ммоль/100 г почвы соответственно, содержание обменного аммония 1,2–2,4, подвижного фосфора 9,5–16,0 и обменного калия 9,8–19,3 мг/100 г почвы, рН 6,5, $V = 90,7\%$.

Варианты опыта: целина, пашня без удобрений (контроль), пашня с $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза, $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, $N_{120}P_{120}K_{120} + 25$ т/га навоза, $N_{190}P_{190}K_{190}$. Удобрения вносили в виде аммиачной селитры (34%), двойного суперфосфата (39%) и калийной соли (40%). Повторность опыта 3-х кратная. Пробы почвы отбирали из 5 точек 2 раза за вегетационный период с глубины 0–20 см.

Агрохимические анализы выполнены общепринятыми методами [2]. Численность эколого-трофических и таксономических групп почвенных микроорганизмов определяли методом посева почвенной суспензии на селективные питательные среды. Подсчитывали численность аммонификаторов на мясопептонном агаре, иммобилизаторов азота на крахмало-аммиачном агаре с расчетом коэффициента иммобилизации азота ($K_{имм.}$). Отдельно считали численность актиномицетов на крахмало-аммиачном агаре и грибов (микробицетов) на среде Чапека. Фитотоксичность черноземов выщелоченных оценивали методом биотеста [3]. Тест-культура – семена редьки масличной. Всхожесть семян на контроле составляла 98%.

В черноземах выщелоченных в количественном отношении преобладает бактериальная микрофлора, значительно меньше численность грибов (табл. 1). Анализ эколого-трофической структуры микробного сообщества выявил высокую численность иммобилизаторов азота в почвах целины и

опытных участков с использованием низких доз минеральных удобрений на фоне повышенных доз навоза и повышенных доз удобрений на фоне низких доз навоза, что свидетельствует об активном запасании азота в микробной биомассе. Азот микробной массы после отмирания относится к легкогидролизуемой фракции органического азота почвы, минерализация которого в дальнейшем будет способствовать повышению актуального плодородия черноземов.

Таблица 1

Численность эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов в слое почвы 0–20 см

Группы микроорганизмов, КОЕ/г	Целина	Пашня без удобрений	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 25 т/га	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 50 т/га	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + 25 т/га	N ₁₉₀ P ₁₉₀ K ₁₉₀
Аммонификаторы, ×10 ⁶	28,1	3,2	11,2	11,5	19,2	8,3
Иммобилизаторы, ×10 ⁶	102,0	4,8	41,0	97,7	73,7	16,0
Грибы, ×10 ³	16,3	7,0	8,6	10,0	17,0	14,0
Актиномицеты, ×10 ⁶	27,4	3,2	11,2	11,5	19,2	8,4

Использование черноземов в пашне без удобрений и внесение высоких доз только минеральных удобрений (N₁₉₀P₁₉₀K₁₉₀) привело к значительному снижению численности бактерий, участвующих в круговороте азота (табл. 1), что вызовет торможение естественной глубины деструкции органического вещества, а в дальнейшем – снижение потенциального плодородия черноземов (низкий коэффициент отношения актиномицетов к грибам) (табл. 2).

Таблица 2

Структура микробного сообщества черноземов выщелоченных

Группы микроорганизмов	Целина	Пашня без удобрений	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 25 т/га	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 50 т/га	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + 25 т/га	N ₁₉₀ P ₁₉₀ K ₁₉₀
K _{имм}	3,6	1,5	3,7	8,5	3,0	1,9
Актиномицеты / грибы · 10 ³	1,68	0,46	1,30	1,15	1,13	0,60

Ранее было установлено негативное влияние длительного использования черноземов в пашне без внесения удобрений на содержание гумуса и ухудшение качества гумуса в варианте с N₁₉₀P₁₉₀K₁₉₀ [4].

Фитотоксичность почвы возрастала более чем в 1,5 раза по сравнению с целиной и вариантом с N₄₅P₄₅K₄₅ на фоне 50 т/га навоза (табл. 3.).

Таблица 3

Ингибирование всхожести семян и длина проростков тест-культуры

Вариант опыта	Ингибирование всхожести семян, %	Длина проростков, см
1	2	3
Целина	9	2,3
Пашня без удобрений	12,5	2,4
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 25 т/га навоза	10,0	2,7

1	2	3
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 50 т/га навоза	7,5	2,5
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + 25 т/га навоза	13,0	2,5
N ₁₉₀ P ₁₉₀ K ₁₉₀	15,0	2,2

Таким образом, распашка черноземов и использование повышенных доз минеральных удобрений привели к изменению структуры микробного сообщества: снижению численности аммонификаторов и иммобилизаторов азота по сравнению с целинным участком, что свидетельствует о нарушении процессов круговорота азота в агроценозах. Длительное систематическое использование повышенных доз минеральных удобрений усиливает фитотоксичность почвы, вероятно, вследствие изменения видового состава микромицетов.

Библиографический список

1. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М. : МГУ, 1998. 272 с.
2. Звягинцев Д. Г. Строение и функционирование комплекса почвенных микроорганизмов // Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. М., 1999. С. 101–112.
3. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М. : МГУ, 1991. 304 с.
4. Содержание и состав гумуса черноземов выщелоченных в опыте с удобрениями / Л. Д. Стахурлова, Д. И. Щеглов, А. И. Громовик и др. // Вестник ВГУ. 2009. № 2. С. 145–151.

ВЛИЯНИЕ МИКРОПЛАСТИКА НА ПОЧВУ

К. В. Ручкина, О. Э. Мерзляков

*НИ Томский государственный университет,
г. Томск, Россия, Ruchkinakristina99@mail.ru*

В статье рассмотрено влияние микропластика (МП) на почву. Согласно исследованиям, микропластик негативно влияет не только на физико-химические свойства почв, но также оказывает отрицательное воздействие на ее биоту. Микрочастицы пластика могут приводить к ухудшению плодородия почвы, а также способствовать развитию патогенных микроорганизмов и нарушению естественного биологического цикла.

Ключевые слова: микропластик, почва, физические и физико-химические свойства почв, почвенные организмы.

Хотя производство пластика началось относительно недавно, универсальность и низкая стоимость сделали его одним из наиболее используемых в повседневной жизни материалов, поэтому трудно представить себе мир без пластика. Микропластик представляет собой мельчайшие фрагменты (< 5 мм) пластиковых изделий, которые формируются в результате их разрушения и деградации. Он широко используется в производстве косметики и многих

других промышленных сферах, однако, его негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека становится все более очевидным.

Почвенная среда является не только местом сбора микропластика, но и важным вторичным его источником для других сред [1]. Поэтому изучение влияния микропластика на свойства почв является крайне важным в современных условиях.

Как только частицы МП достигают поверхности почвы, они могут легко включаться в ее профиль посредством влияния наземной фауны [2], механической обработки почвы (например, вспашки), растрескивания почвы [3], через биопоры и криотурбацию [4].

В почве МП, как загрязнитель, является частью сложной смеси с органическим веществом и минералами, поскольку поверхностный заряд пластика обычно отрицателен и взаимодействует с положительно заряженными частицами или ионами, присутствующими в почвенном растворе. Это взаимодействие почва – пластмассы оказывает влияние на почвы, а поскольку почва является средой обитания организмов, то и на всех живых существ, присутствующих в ней, причем эффекты широко дифференцированы в зависимости от свойств почвы и ее типа, формы, размера и концентрации МП [4]. Микропластик может влиять на такие свойства почв, как емкость катионного обмена, растворенное органическое вещество, водоудерживающая способность, стабильность агрегатов и объемная плотность, структура почвы, на скорость инфильтрации почвенной влаги, а также на содержание в почве азота и фосфора.

В почве рН среды является одним из основных абиотических факторов, влияющих на другие её свойства, такие как связывающая способность минералов, биодоступность и адсорбция питательных веществ и загрязнителей, а также на состав и активность микробного сообщества [5]. Несколько исследований подтверждают, что МП может влиять на рН почвы. Например, в работе [6] показано, что в присутствии 1% (по массе) и 10% (по массе) полилактида (ПЛА) и полиэтилена высокой плотности (ПЭНД), соответственно, повышается рН почвы.

Потеря насыпной плотности почвы является одним из основных прямых воздействий микропластика на почву, что приводит к изменению структуры ее пор и влияет на перемещение в них влаги. В частности, волокна МП могут оказывать значительное влияние на структуру почвы, а именно на стабильность и распределение по размерам почвенных агрегатов, чем другие формы МП.

Микропластик может не только изменять структуру почвы, но и оказывать определенное влияние на ее химический состав. Почвенные ферменты играют решающую роль в разложении органического вещества и транспорте питательных веществ в почве, а активность уреазы почвы является важным показателем плодородия почвы. Yu et al. [7] обнаружили, что добавление полистирола (ПС), поливинилхлорида (ПВХ), полиэтилена (ПЭ) и полипропилена (ПП) оказывает разное влияние на активность почвенной уреазы, при

этом активность почвенных ферментов увеличилась после 60 дней испытаний. Huang et al. [8] определили, что волокна ПП и пленки ПЭ сначала повышают, а затем снижают активность уреазы почвы, тогда как микросферы ПП оказывали постоянное ингибирующее действие на уреазу почвы. Таким образом, МП способствует повышению активности уреазы почвы, причем наиболее значимые эффекты по сравнению с другими формами имеют пленки и фрагменты МП [9].

МП также может влиять на геохимический цикл в почве. Поскольку МП в основном состоит из углерода, он может служить важным его источником, что позволяет накапливать и увеличивать запасы углерода в почве и в окружающей среде [2, 10]. Действительно, результаты исследований показали, что увеличение концентрации МП может значительно увеличить содержание растворенного органического углерода в почве. Порошок гомополимерного ПП с концентрацией 7% и 28% значительно увеличивал содержание в почвенном растворе органических веществ, одновременно способствуя накоплению высокомолекулярных гуминовых кислот и высвобождению питательных веществ из почвы [11]. Guo et al. [12] установили, что МП типа ПЭ в концентрации 0,1%, 0,5%, 1%, 3%, 6% и 18% в разной степени изменяет микробную биомассу и ее активность в почве, что влияет на выбросы CO_2 и приводит к увеличению содержания растворенного органического вещества в почвенной среде. Действительно, Rillig et al. [10] сообщили об увеличении выбросов CO_2 после добавления МП в исследуемую почву от 5 % до 26 %. Кроме того, Zhang et al. [13] также заметили, что содержание ПЭВД с концентрацией более 1% в почвах увеличивает выбросы CO_2 от 15% до 17%.

Пластиковые пленки (в основном ПЭ и ПП) на сельскохозяйственных угодьях также могут препятствовать гидролизу органического азота почвы, влияя на экспрессию микробных геномов, участвующих в круговороте азота, и снижая активность почвенных ферментов. Также обнаружено, что микропластик из пенополиуретана (ППУ) и ПЛА способствует процессам нитрификации и денитрификации в почве. Различия в типах МП и добавках, которые используются в процессе их производства, также влияют на скорость превращения аммиака в почве. Конкретные механизмы биологической деструкции микропластика в почвах, видовой состав микроорганизмов-деструкторов, структура участвующих в этом ферментов пока далеки от полного понимания.

Также микро- и макропластики способны проникать в наземные пищевые цепи. После поглощения почвенной биотой все еще остается большое количество микропластика, выделяемого и попадающего в почвенную среду. Таким образом, потребление почвенной биотой является важным фактором, влияющим на накопление микропластика в почвенной среде [14].

Предполагается, что по мере уменьшения размера частиц воздействие на биоту становится все более токсичным.

Моделирование пищевой цепи и полевые исследования также подтверждают гипотезу о том, что микропластик может передаваться от добычи

(с более низким уровнем питательных веществ) к хищнику (на более высоком уровне питательных веществ) в пищевой цепи [14].

Почвенные организмы взаимодействуют в сложных пищевых цепях в природе, и изменения в одной или нескольких группах почвенных организмов могут иметь дальнейшие последствия для обилия, разнообразия и функционирования других групп в них.

На сегодняшний день знания о воздействии микропластика на почвенные организмы в значительной степени ограничены.

Согласно опубликованным в настоящее время литературным источникам для исследования влияния микропластика на почвенные организмы чаще всего используются: дождевые черви, коллемболы, нематоды и клещи [15].

Микропластик, прилипший к внешней поверхности организмов, может напрямую препятствовать их подвижности. В большинстве случаев проглатывание микропластика происходит случайно, поскольку организмы ошибочно принимают микропластик за пищу. Проглатывание микропластика может вызвать ложное насыщение, что снижает потребление углеродной биомассы и в дальнейшем приводит к истощению энергии, замедлению роста и даже смерти.

Кроме того, микропластик также может вызывать механическое повреждение пищевода, кишечную непроходимость, снижение репродукции и биохимических реакций, таких как снижение иммунного ответа, нарушение обмена веществ и т. д.

В дополнение к опасности прямого проглатывания и внутренней токсичности добавок МП, токсичные загрязнители, такие как токсичные органические химические вещества, тяжелые металлы и антибиотики, могут адсорбироваться на МП, что усугубляет загрязнение почвы и усиливает опасность для организмов и людей [14].

МП может перекрывать отверстия в почве, тем самым вызывать аномальное перемещение почвенных животных и даже менять места откладки яиц, что косвенно влияет на воспроизводство почвенной фауны. Недостаток энергообеспечения является ключевой причиной аномального роста и развития почвенных животных.

Таким образом, МП, вероятно, представляет угрозу для функциональности и устойчивости экосистем. Чтобы справиться с проблемой загрязнения почв микропластиком, необходимо выявлять его источники, пути перемещения, воздействие пластика на почву и другие компоненты окружающей среды.

Библиографический список

1. Soil microplastic characteristics and the effects on soil properties and biota: A systematic review and meta-analysis / Y. Qiu, S. Zhou, C. Zhang et al. // Environ. Pollut. 2022. Vol. 313. Article No. 120183.
2. Rillig M. C., Ziersch L., Hempel S. Microplastic transport in soil by earthworms // Sci. Rep. 2017. Vol. 7. Article No. 1362.

3. Rillig M. C, Ingraffia R., de Souza Machado A. A. Microplastic incorporation into soil in agroecosystems // *Front. Plant Sci.* 2017. Vol. 8. Article No. 1805.
4. Polyester microplastic fibers affect soil physical properties and erosion as a function of soil type / R. Ingraffia, G. Amato, V. Bagarello et al. // *Soil.* 2022. Vol. 8. P. 421–435.
5. Rousk J., Brookes P. C., Baath E. Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization // *Appl. Environ. Microbiol.* 2009. Vol. 75. No. 6. P. 1589–1596.
6. Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk / L. Yang, Y. Zhang, S. Kang et al. // *Sci. Total Environ.* 2021. Vol. 780. Article No. 146546.
7. Microplastic residues in wetland ecosystems: do they truly threaten the plant-microbe-soil system? / H. Yu, Q. Weixiao, C. Xiaofenget et al. // *Environ. Int.* 2021. Vol. 156. Article No. 106708.
8. LDPE microplastic films alter microbial community composition and enzymatic activities in soil / Y. Huang, Y. Zhao, J. Wang et al. // *Environ. Pollut.* 2019. Vol. 254. Article No. 112983.
9. Soil microplastic characteristics and the effects on soil properties and biota: A systematic review and meta-analysis / Y. Qiu, S. Zhou, C. Zhang et al. // *Environ. Pollut.* 2022. Vol. 313. Article No. 120183.
10. Rillig M. C., Leifheit E., Lehmann J. Microplastic effects on carbon cycling processes in soils // *PLOS Biology.* 2021. Vol. 19. No. 3. P. e3001130.
11. Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil / H. Liu, X. Yang, G. Liu et al. // *Chemosphere.* 2017. Vol. 185. P. 907–917.
12. Sorption Properties of Tylosin on Four Different Microplastics / X. Guo, J. Pang, S. Chen, H. Jia // *Chemosphere.* 2018. Vol. 209. P. 240–245.
13. Effects of microplastics on soil carbon dioxide emissions and the microbial functional genes involved in organic carbon decomposition in agricultural soil / Y. Zhang, X. Li, M. Xiao et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150714 // *Sci. Total Environ.* 2022. Vol. 806. Pt. 3. Article No. 150714.
14. An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems / E. L. Ng, E. Huerta, S. M. Eldridge et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.341 // *Sci. Total Environ.* 2018. Vol. 627. P. 1377–1388.
15. Chae Y., An Y. J. Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: a review // *Environ. Pollut.* 2018. Vol. 240. P. 387–395.

ЛИТИЙ В ПОЧВАХ НА ТЕХНОГЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Е. В. Дабах

*Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия,
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, dabakh@mail.ru*

Представлены результаты оценки содержания и распределения по профилю лития в аллювиальных почвах на техногенной территории в подзоне южной тайги. Выявлено, что, несмотря на присутствие лития в природных водах в превышающих ПДК количествах, существенного накопления металла в затопляемых во время половодья аллювиальных почвах поймы не проис-

ходит. Распределение лития по профилю почвы равномерно убывающее с наибольшим максимумом в гумусовом горизонте.

Ключевые слова: аллювиальные почвы, природные воды, техногенная территория, литий.

Высокие концентрации лития в природных объектах отмечаются в районах месторождений редких металлов. Однако по мере роста потребности в этом металле разных отраслей промышленности возрастает его содержание в техносфере и биосфере. Литий широко используется в атомной энергетике, органическом синтезе, радиотехнике, электронике, лазерной технике, в производстве алюминия, пластмасс, стекла, батарей для видеокамер, компьютеров, телефонов и др.

Интерес к изучению распространенности лития в природном комплексе в окрестностях химических предприятий г. Кирово-Чепецка Кировской области обусловлен тем, что, во-первых, есть источник его поступления в окружающую среду, во-вторых, в течение 15 лет мониторинга в отдельных пробах как подземных, так и поверхностных вод неоднократно отмечалось повышенное содержание этого металла. Задачей данного исследования было оценить возможность воздействия поверхностных вод с высоким содержанием лития на затопливаемые в половодье пойменные почвы.

На Кирово-Чепецком химическом заводе с 1951 г. была начата разработка промышленной технологии, а с 1958 г. осуществлен запуск крупнотоннажного производства легкого изотопа лития – сырья для производства термоядерного оружия [1]. В пробах поверхностных вод в районе Завода полимеров неоднократно отмечались высокие концентрации лития. Например, в пробе, отобранной в 2010 году на заболоченной территории около предприятия, она достигала 91,8 мкг/л. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 литий в подземных и поверхностных водах относится к веществам 2 класса опасности и его ПДК составляет 0,03 мг/л. Было отмечено, что максимальные концентрации лития в воде приурочены именно к заболоченным участкам, а также к придонным слоям воды пойменных озер, расположенных вблизи хвостохранилищ. В водах р. Елховки, протекающей по техногенной территории, содержание лития в ряде проб, отобранных по течению реки, было довольно стабильным и составляло от 10,6 до 12,7 мкг/л при концентрации в фоновой пробе (выше по течению промышленной зоны) 3,7 и 5,6 мкг/л. В пробах подземных вод и придонных слоев пойменных озер, отобранных в окрестностях предприятий в 2023 году, содержание лития достигало 49 мкг/л. Вероятно, загрязнение поверхностных вод обусловлено разгрузкой грунтовых вод, а источником поступления лития в подземные воды являются отходы производства, размещенные в хвостохранилищах и шламонакопителях.

Содержание лития в почвах и природных водах определялось методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (PQ-2, Elemental,

Англия) и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICAP-61, Thermo Jarrell Ash, США) в АСИЦ ИПТМ РАН (г. Черноголовка).

В почвах литий не нормируется. Сведения о содержании и распределении лития по профилю почв таежно-лесной зоны немногочисленны. Содержание его в почвах мира широко варьирует: от 0,01 до 160 мг/кг [2]. Известно, что среднее количество лития в верхнем слое разных типов почв довольно близкое, максимальное – 98 мг/кг отмечено в аллювиальных почвах; в глинистых и суглинистых почвах – 10–64 мг/кг, в легких почвах – 5–50 мг/кг; распределение по профилю подчиняется тенденциям циркуляции почвенных растворов, литий может накапливаться в составе легкорастворимых солей в солончаках, каштановых почвах [цитировано по 2], выявлено элювиально-иллювиальное распределение лития по профилю темно-серых лесных почв [3]; концентрация лития в почвах коррелирует с Ca и Mg [2]. В работе [4] показано, что в разных типах почв Забайкалья дифференциация Li по профилю в значительной степени ассоциируется с содержанием полевых шпатов и фракции физического песка, в которой они в основном сосредоточены; концентрация лития не зависит от pH и количества гумуса из-за низкого его содержания, а также слабой подвижности элемента в разных геохимических обстановках. В то же время многие исследователи отмечают способность лития накапливаться в составе глинистых минералов [5], которыми обогащена фракция физической глины. Так, по данным [6] дерново-подзолистая средне-суглинистая почва содержит 20,9 мг/кг валового лития, тяжелосуглинистая (с более высоким содержанием ила) – 26,3 мг/кг.

В Кировской области песчаные и супесчаные дерново-подзолистые почвы на водноледниковых песках, встречающиеся в окрестностях химических предприятий на склоне водораздела, отличаются низким содержанием лития – 9,8–10,9 мг/кг, что согласуется с представлениями об этих почвах как наиболее бедных литием [2]. В аллювиальных почвах лугов, затапливаемых в паводок полыми водами, содержание лития высокое: максимальные концентрации отмечены в кислых аллювиальных дерновых суглинистых почвах, в верхних горизонтах которых содержание металла варьирует от 36,6 мг/кг до 47 мг/кг. Эти значения соответствуют оптимальному диапазону, указанному в [2], однако превышают средние значения, которые приведены в литературе – 25–30 мг/кг [5]. Корреляции между содержанием органического вещества и лития в верхних горизонтах почв не выявлено. Распределение по профилю характеризуется незначительным накоплением элемента в гумусовом горизонте по сравнению с дерниной и снижением его содержания вниз по профилю (рис.).

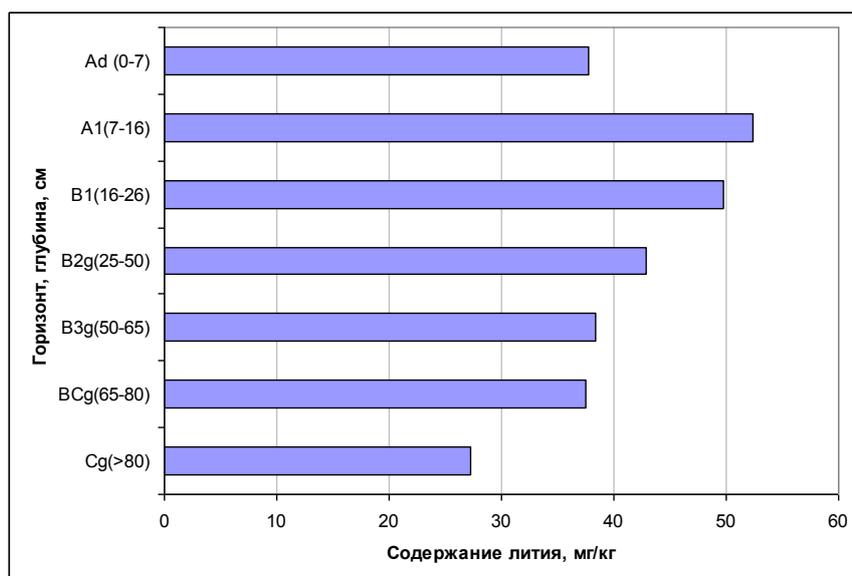


Рис. Распределение лития по профилю
Аллювиальной дерновой глееватой почвы

В работе [7] показано, что концентрация лития зависит от кислотности-щелочных условий: лития больше в кислых почвах, чем в щелочных.

В рассматриваемых нами аллювиальных почвах подобная закономерность не выявлена.

Таким образом, при наличии источника загрязнения пойменных почв литием существенного накопления элемента на техногенной территории не отмечается. При отсутствии фоновых данных для почв Кировской области и нормативных данных для почв России можно отметить, что полученные значения находятся в диапазоне концентраций, характерных для почв мира, несколько выше средних значений, отмеченных для аллювиальных почв других регионов. Вопреки имеющимся сведениям о зависимости концентрации элемента от pH и от содержания органического вещества, в рассматриваемых почвах таких закономерностей не выявлено.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги» (государственная регистрация в ЕГИСУ № 122040100032-5).

Библиографический список

1. Кирово-Чепецк Вчера. Сегодня. Завтра / под ред. Т. Я. Ашихминой, З. Л. Баскина, С. Ю. Рыловой. Киров : ООО «Лобань», 2010. 48 с.
2. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. 3rd Edition. Boca Raton : CRC Press, 2001. 403 p.
3. Асылбаев И. Г, Хабиров И. К. Содержание щелочных и щелочно-земельных металлов в почвах южного Предуралья // Почвоведение. 2016. № 1. С. 29–38.
4. Кашин В. К. Литий в почвах и растениях западного Забайкалья // Почвоведение. 2019. № 4. С. 400–411.

5. Lithium in the natural environment and its migration in the trophic chain / O. I. Sobolev, B. V. Gutyj, L. M. Darmohray et al. // Ukrainian J. of Ecology. 2019. Vol. 9. No. 2. P. 195–203.

6. Виноградова С. Б. Влияние лития на урожай и химический состав некоторых сельскохозяйственных культур : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985.

7. Aral H., Vecchio-Sadus A. Toxicity of lithium to humans and the environment – literature review. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2008.02.026 // Ecotoxicol. Environ. Safety. 2008. Vol. 70. No. 3. P. 349–356.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАРЬЕРА «ЯПРАКЛЫ»

Д. И. Утягулов, Г. Р. Ильбулова
Сибайский институт (филиал)

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»,
г. Сибай, Россия, utyagulovborz@mail.ru*

В данной статье проведена оценка валового содержания тяжелых металлов в почвах, прилегающих к территории золотодобывающего карьера «Япраклы» Республики Башкортостан. Выявлено, что содержание меди, цинка, железа, никеля, кадмия, кобальта и свинца не превышает установленных нормативов, валовое содержание марганца превышает ПДК в 1,2 раза.

Ключевые слова: тяжелые металлы, золотодобывающий карьер, Башкирское Зауралье.

Башкирское Зауралье находится на юге-востоке Республики Башкортостан. Регион богат минеральными ресурсами, особенно золотом. При добыче золота наносится непоправимый ущерб окружающей среде. Процесс добычи иногда является сложным и приводит к выбросу высокотоксичных загрязнителей. Экологические воздействия золотодобычи особенно серьезны из-за химических процессов, часто используемых для извлечения золота [1].

Карьер «Япраклы» является золотодобывающим карьером, который находится на территории Баймакского района на расстоянии 8 км от деревни Большебасаево. В настоящий момент добыча на этом карьере приостановлена в связи с близлежащим расположением населенного пункта, а также древних курганов, которые являются объектами культурного наследия.

Целью исследования является оценка содержания тяжелых металлов в почвах, прилегающих к территории карьера «Япраклы».

Исследования проводились в летний период 2023 г. на территории, прилегающей к карьере «Япраклы». Отбор образцов почв производился по общепринятой методике на пробных площадках, расположенных на расстоянии 500 м от карьера в северном, восточном, западном и южном направлениях. В отобранных образцах почв было определено валовое содержание тяже-

ных металлов (меди, цинка, железа, никеля, марганца, кадмия, кобальта, свинца).

Результаты исследований представлены на рисунке.

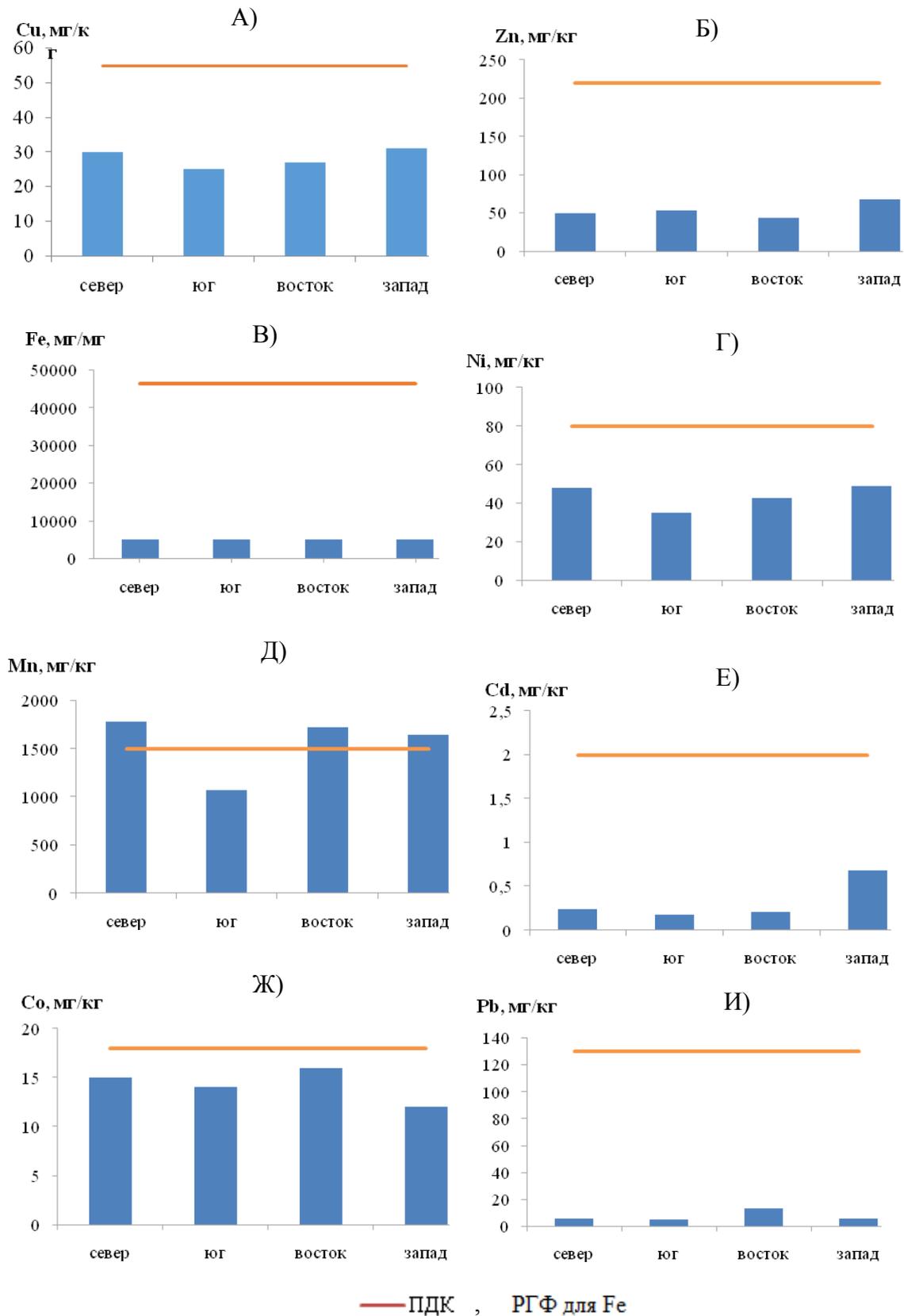


Рис. Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах, мг/кг

Содержание меди в исследуемых почвах варьировало от 25,0 до 30,0 мг/кг, цинка – от 43,0 до 68,0 мг/кг, железа – от 4829,0 до 4981,0 мг/кг, никеля – от 43,0 до 49,0 мг/кг, марганца – от 1071,0 до 1788,0 мг/кг, кадмия – от 0,18 до 0,68 мг/кг, кобальта – от 12,0 до 16,0 мг/кг, свинца – от 5,0 до 13,0 мг/кг. Концентрации всех исследуемых металлов в почвах находились в пределах допустимых значений, за исключением марганца, содержание которого превышало ПДК в 1,1–1,2 раза.

Средние концентрации тяжелых металлов в исследуемых почвах убывали в ряду: Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Co > Pb > Cd.

Наибольшие концентрации меди, цинка, никеля и кадмия отмечены в почвах на пробных площадках, расположенных на расстоянии 500 м в западном направлении от карьера, а железа и марганца – в северном, кобальта и свинца – в восточном направлениях. Меньше всего содержание меди, железа, никеля, кадмия и свинца – в южном, цинка и марганца – в восточном, кобальта – в западном направлениях.

Таким образом, проведенные исследования показали, что концентрации меди, цинка, никеля, кадмия, кобальта и свинца в почвах не превышают уровня ПДК, а концентрация железа не превышает уровня регионального фона (РГФ). Почвы, прилегающие к золотодобывающему карьере «Япраклы» наиболее загрязнены марганцем.

Библиографический список

1. Vorob'ev A., Chekushina T., Vorob'ev K. Russian national technological initiative in the sphere of mineral resource usage. DOI: 10.17794/rgn.2017.2.1 // Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik. 2017. Vol. 32. No. 2. P. 1–8.

МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БЕЛАРУСИ

А. Ф. Карпенко

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

В статье рассматриваются результаты выполнения в Беларуси шестой Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) на 2021–2025 годы. В рамках данной программы выделяются средства для проведения радиационного мониторинга. Как свидетельствуют результаты мониторинга радиационная обстановка в основных экосистемах на территории Беларуси сохраняется постоянной. В атмосферном воздухе не отмечается случаев превышения показателей мощности дозы над установленными многолетними значениями, а также объемной активности цезия-137 и стронция-90 в поверхностных водах рек, в почвах наблюдается постепенное снижение мощности дозы преимущественно за счет естественного распада цезия-137.

Ключевые слова: мониторинг, цезий-137, стронций-90, экосистемы, динамика загрязнения.

В результате мониторинга радиоактивного загрязнения, проводимого после катастрофы на ЧАЭС, установлено, что радиоактивные осадки выпали на территории Беларуси, России и Украины площадью более 125 тыс. км². Из них 46 тыс. км² (22% от общей площади), в том числе 19 тыс. км² сельскохозяйственных земель, 20 тыс. км² земель лесного фонда, радиоактивно загрязненных ¹³⁷Cs с содержанием в почве более 1 Ки/км², находится на территории Беларуси [1]. Радиоактивные осадки были обнаружены на землях 59 районов Беларуси. Наиболее распространенным радионуклидом в осадках является ¹³⁷Cs с периодом полураспада 30 лет.

На загрязненной ¹³⁷Cs выше 37 кБк/м² (1,0 Ки/км²) территории земли сельскохозяйственного назначения составили 1866 тыс. га (около 20% от их общей площади), в том числе 1725 тыс. га имели плотность загрязнения 37–555 кБк/м² (1–15 Ки/км²), 141,0 тыс. га – 555–1480 кБк/м² (15–40 Ки/км²) и выше [2].

Плотность выпадений ⁹⁰Sr выше 5,55 кБк/м² (0,15 Ки/км²) определена на площади 21,1 тыс. км² в Гомельской и Могилевской областях, что составило более 10% территории республики. Прежде чем данные радионуклиды перейдут в положение неопасных для человека и животных требуется, чтобы прошло не менее 6–10 периодов полураспада [1].

Загрязнение территории изотопами ²³⁸Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu и ²⁴¹Am произошло на площади около 4,0 тыс. км², или 2%. Это в основном земли Гомельской области (6 районов) и существенно меньше Могилевской области (1 район) [3].

В настоящее время радиологическая обстановка обусловлена наличием и действием в окружающей среде таких долгоживущих изотопов как ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁸Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²⁴¹Am.

Чернобыльское техногенное загрязнение в Беларуси повлекло за собой целый ряд экологических, экономических и социальных проблем. Решение данных проблем в значительной степени планируется и осуществляется на основании данных изучения радиационной обстановки, складывающейся в экосистемах на территории республики.

Цель работы – оценить данные мониторинга радиоактивного загрязнения экологических систем в Беларуси.

В утверждённом Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 159 от 22 марта 2021 года шестой Государственной программе по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 годы (Госпрограмма) определены её основные цели: социальная защита населения, пострадавшего от катастрофы на Чернобыльской АЭС; обеспечение требований радиационной безопасности и ускоренное социально-экономическое развитие и возрождение загрязненных радионуклидами территорий [4]. На осуществление 76 мероприятий Госпрограммы в 2021 г. было

направлено 551,4 млн рублей и в полном объеме выполнено 65 мероприятий или 85% от утвержденных [5]. Средства направлялись на предоставление льгот и выплат компенсаций пострадавшим от катастрофы гражданам, бесплатное питание учащихся, получающих общее базовое и общее среднее образование и проживающих на загрязненных радионуклидами территориях. Пострадавшие от чернобыльской катастрофы за счёт средств Госпрограммы прошли санаторно-курортное лечение и оздоровление 84,1 тыс. человек.

В сельскохозяйственном производстве радиационному обследованию было подвергнуто 341,4 тыс. га используемых земель, на выполнение защитных агрохимических мер направлено 69,0 млн рублей. Благодаря выделенным средствам в агросектор было поставлено 21,0 тыс. тонн фосфорных и 63,5 тыс. тонн действующего вещества калийных удобрений, которые были внесены соответственно на площади 535,3 тыс. га и 589,4 тыс. га на загрязненных радионуклидами землях. Кроме того, в течение года произвестковано кислых почв на площади 21,5 тыс. га. Для аграриев были выполнены ремонтно-эксплуатационные работы на внутрихозяйственных мелиоративных сетях протяженностью 1,3 тыс. км.

В лесном хозяйстве обеспечивалось функционирование подразделений радиационного контроля: ремонт, обслуживание, поверка приборов и оборудования, аккредитация 2-х подразделений радиационного контроля.

С целью выполнения радиоэкологического законодательства в Гомельской и Могилевской областях выполнено захоронение 884 подворий и капитальных строений, а также обслуживание 86 пунктов захоронения отходов дезактивации.

В рамках научного обеспечения Госпрограммы выполнялись работы по 17 темам 8 организациями-исполнителями, заказчиками которых выступали МЧС, Минздрав и НАН Беларуси.

Сотрудниками ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси» для специалистов сельскохозяйственных организаций в пострадавших районах Гомельской, Могилёвской и Брестской областей организованы и проведены обучающие радиоэкологические семинары.

В Госпрограмме большое внимание уделяется организации и проведению мониторинга радиоактивного загрязнения территории страны. Ответственность за его организацию и проведение возложена на Белгидромет. Службами Белгидромета проводится ежегодный радиационный мониторинг атмосферного воздуха, ненарушенных участков почвы, поверхностных и подземных вод в районах воздействия потенциальных источников радиоактивного загрязнения и на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС. В настоящее время из 120 пунктов наблюдения атмосферного воздуха в рамках радиационного мониторинга на территории Республики Беларусь функционирует 41. Для выявления аварийных ситуаций суточные пробы атмосферного воздуха, отобранные в районах воздействия работающих АЭС, расположенных на территории сопредельных госу-

дарств, подвергаются анализу на содержание короткоживущих продуктов распада, в первую очередь, ^{131}I .

Так, в 2022 г. самые высокие уровни мощности дозы зарегистрированы в городах Брагин и Славгород, находящиеся в зоне радиоактивного загрязнения. Здесь мощность дозы соответственно колебалась в диапазоне от 0,39 до 0,54 мкЗв/ч и от 0,16 до 0,21 мкЗв/ч. В остальных точках наблюдений мощность дозы не превышала 0,20 мкЗв/ч – уровень естественного гамма-фона [6]. В динамике наблюдений отмечается, что мощность дозы гамма-излучения в послеаварийные годы постепенно снижается за счет естественного распада цезия-137 и его заглубления в почвах. Случаев обнаружения ^{131}I в пробах радиоактивных аэрозолей и выпадений из атмосферы на территории республики в течение года не установлено. Запуск в работу двух блоков Белорусской АЭС также не оказал негативного влияния на радиационную обстановку.

Радиационный мониторинг поверхностных вод проводится в 16 местах, 6 из которых находятся на крупных и средних реках Беларуси, водосборы которых подверглись радиоактивному загрязнению, 6 – на трансграничных участках водных объектов и 1 – на оз. Дрисвяты, которое являлось водоемом-охладителем Игналинской АЭС, 3 – вокруг размещения Белорусской АЭС.

Наблюдения за радиоактивным загрязнением донных отложений организованы в 9 точках. В отобранных пробах воды и донных отложений определяется содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr . Так, в 2022 году содержание ^{137}Cs в р. Припять (г. Мозырь) находилось в пределах от 2 до 4 Бк/м³; в р. Днепр (г. Речица) – от 2 до 56 Бк/м³; в р. Сож (г. Гомель) – от 2 до 22 Бк/м³; в р. Ипуть (г. Добруш) – от 9 до 32 Бк/м³; в р. Беседь (д. Светиловичи) – от 6 до 13 Бк/м³.

Содержание ^{90}Sr в 2022 году в р. Припять (г. Мозырь) колебалось от 6 до 11 Бк/м³; в р. Днепр (г. Речица) – от 3 до 42 Бк/м³; в р. Сож (г. Гомель) – от 3 до 31 Бк/м³; в р. Ипуть (г. Добруш) – от 11 до 32 Бк/м³; в р. Беседь (д. Светиловичи) – от 8 до 31 Бк/м³ [6].

Радиационный мониторинг почв с периодичностью 1 раз в 5 лет проводится на специальной сети реперных площадей и ландшафтно-геохимических полигонов. Мониторинг включает определение мощности дозы на поверхности почвы и на высоте 1 м, определение содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве и их распределения по вертикальному профилю почв. В 2022 году наблюдения были проведены на 8 реперных площадях и 6 ландшафтно-геохимических полигонах [6].

Мониторинг радиоактивного загрязнения территории республики свидетельствует, что за прошедшие почти тридцать восемь лет после аварии из-за естественного распада радионуклидов плотности их концентрации в почве существенным образом уменьшились. Это один из важнейших положительных процессов, благодаря которому радиоактивная напряженность будет уменьшаться и дальше. В послеаварийное время количество загрязненных земель ежегодно сокращается. За период времени с 1991 по 2021 гг. (30 лет) количество таких сельскохозяйственных земель в республике сократилось на 525,8 тыс. га или на 38,9% [1]. Среднегодовое снижение площадей составило

17,5,0 тыс. га или по 1,3% в год от загрязненной в 1991 г. площади. За данный отрезок времени в Гомельской области из 781,6 тыс. га в разряд незагрязненных переведено 285,9 тыс. га, в Могилёвской области – соответственно 360,6 тыс. га и 116,1 тыс. га. При сохранении таких темпов сокращения числа загрязненных земель и в будущем для полного их перевода в чистые ещё потребуется в Гомельской области – 52 года, в Могилёвской области – 63,2 года. На начало 2021 г. самые большие массивы сельскохозяйственных земель в количестве 495,7 тыс. га (60%) в Гомельской и 244,5 тыс. га (29,6%) в Могилёвской областях продолжали оставаться в разряде радиационно-опасных.

В отношении лесных земель показано, что за шестилетний период с 2015 года по 2021 год количество загрязненных площадей сократилось на 162,4 тыс. га, т.е. происходило ежегодное их уменьшение на 16,8 тыс. га или на 1,7%. В лесном хозяйстве Гомельской области количество загрязненных земель снизилось с 1119,8 тыс. га до 1039,3 тыс. га, в Могилёвской – с 419,7 до 376,1 тыс. га. Расчёты свидетельствуют, что для полного избавления лесов от радиоактивного загрязнения в Гомельской области необходимо около 78, Могилёвской области – около 52 лет.

Библиографический список

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник. Минск, 2021. С. 198–202. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 28.02.2024).
2. Богдевич И. М., Щербаков В. А. Влияние радиоактивного загрязнения земель Беларуси на производство и качество сельскохозяйственной продукции // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. 1997. № 1. С. 30–34.
3. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление : Национальный доклад // Комитет по проблемам преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь; под ред. В. Е. Шечука, В. Л. Гурачевского. Минск, 2006. 112 с.
4. О Государственной программе по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 годы / Пост. Совета Министров Республики Беларусь № 159 от 22 марта 2021 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100159> (дата обращения: 28.02.2024).
5. Отчет о выполнении в 2021 году мероприятий Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]. – URL: <https://chernobyl.mchs.gov.by/upload/iblock/e61/otchet-ogospromamme-za-2021-god.pdf> (дата обращения: 28.02.2024).
6. Радиационный мониторинг, ГИАЦ НСМОС [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nsmos.by/environmental-monitoring/radiacionnyy-monitoring> (дата обращения: 28.02.2024).

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ВБЛИЗИ ТЭЦ-5 (г. КИРОВ)

В. Е. Холкин, А. И. Фокина, С. Г. Скугорева
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, holkinvlad18@gmail.com

В статье представлены результаты проведения диагностики состояния почв в зоне действия ТЭЦ-5. Определены следующие показатели: кислотность, содержание органического вещества и подвижных форм свинца. По результатам химического анализа сделано заключение об удовлетворительном состоянии почв.

Ключевые слова: почва, токсичность, тяжелые металлы, химическая диагностика, техногенное воздействие.

Среди источников техногенного загрязнения наиболее распространенными на территории России являются предприятия энергетики. Многие из них используют топливо, при сжигании которого в окружающую среду попадают такие загрязняющие вещества как полиароматические углеводороды, нефтепродукты, соединения тяжелых металлов (ТМ) и т. д. [1–2]. Среди потенциальных источников загрязнения окружающей среды в г. Кирове можно выделить ТЭЦ-5. Исследования территории вокруг предприятия проводятся еще с того времени, когда в качестве основного вида топлива использовали торф и уголь. В настоящее время к ТЭЦ-5 подведен природный газ. Актуальность данных исследований определяется близостью ТЭЦ-5 к жилым кварталам города, а также садово-огородным участкам [3].

Цель работы заключалась в проведении химической диагностики состояния почв в зоне действия ТЭЦ-5 (г. Киров) в 2023 г. и сравнении результатов с данными 2016 г.

Образцы почв отобраны в 2023 г. с восьми участков, расположенных в 500–600 м от источника загрязнения (ТЭЦ-5) по румбам: север (С), северо-восток (С-В), северо-запад (С-З), юго-запад (Ю-З), юго-восток (Ю-В) в луговых и лесных биоценозах. Почвенные образцы составлялись из 5 проб, отобранных на однородных участках в центре экотопов с глубины 0–5 см. В качестве фона были выбраны дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы леса и луга на удалении 10 км к юго-западу от ТЭЦ-5.

Свойства почв определяли общепринятыми методами анализа: кислотность в солевой вытяжке – потенциометрически по методу ЦИНАО [4], содержание органического вещества – фотометрически [5], подвижные формы свинца (вытяжка ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8) методом атомно-абсорбционной спектроскопии [6].

Установлено, что значения рН образцов почв выше, чем на фоновых участках (табл.) и выше, чем в образцах, отобранных в 2016 г. (от 4,8 до 6,5). Вероятно, снижение кислотности связано с техногенным воздействием.

Например, вызвано работой линий по сортировке щебня, содержащего карбонаты, и рассеиванием пылеватых частиц на близлежащей территории.

Таблица

Химический состав почв

Направление отбора пробы	pH _{KCl}	Массовая доля органического вещества, %	Содержание Pb, мг/кг
Луг			
Фон-луг	5,0±0,1	1,6±0,3	0,150±0,030
С	6,8±0,1	2,2±0,4	0,470±0,010
С-З	7,3±0,1	1,3±0,3	4,72±0,12
Ю-З	6,1±0,1	3,6±0,5	0,980±0,030
Ю-В	7,2±0,1	4,6±0,7	2,30±0,06
Лес			
Фон-лес	4,2±0,1	1,1±0,2	0,250±0,030
С-З	6,9±0,1	2,3±0,5	0,420±0,020
Ю-З	6,8±0,1	1,4±0,3	0,230±0,010
С-В	6,4±0,1	3,5±0,5	4,29±0,05

При этом содержание органического вещества не изменилось по сравнению с 2016 г. (составляло от 1,04 до 5,8%). Содержание органического вещества в целом в почвах на данной территории достаточно низкое.

Стало более высоким содержание подвижных форм свинца. Если в 2016 г. значения составляли от 0,3 до 1,3 мг/кг, то в 2023 году появились пробы, в которых оно стало в 2–4 раза больше, хотя и не превышает ПДК (6 мг/кг).

Опираясь на результаты химического анализа, несмотря на наличие большого числа потенциальных источников загрязнений: как самой ТЭЦ-5, так и организаций, расположенных поблизости, состояние почв на обследованной территории по определяемым показателям можно считать удовлетворительным. В большей степени загрязнены участки, расположенные к северо-западу и юго-востоку от ТЭЦ-5. Более высокое содержание свинца и снижение кислотности почв, вероятно, связаны с деятельностью фирм, расположенных вблизи этих участков. Следует отметить, что с 2016 г. их количество значительно выросло. Существенное увеличение рН в образцах почвы вызывает интерес и требует дальнейшего изучения.

Библиографический список

1. Баранова Л. А., Дмитренко И. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях вокруг ТЭЦ г. Тюмени // Вестник гос. аграрного ун-та Северного Зауралья. 2013. № 3 (22). С. 19–22.
2. Полициклические ароматические углеводороды в твердых частицах снежного покрова как показатели загрязнения городской атмосферы / И. М. Котельникова, Н. Г. Куимова, Л. М. Павлова и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1 (6). С. 1341–1346.
3. Совершенствование тетразольно-топографического метода биотестирования с использованием цианобактерий / А. И. Фокина, Л. И. Домрачева, Ю. Н. Зыкова и др.

DOI: 10.25750/1995-4301-2017-1-031-041 // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 31–41.

4. ГОСТ 26483-85. Почвы. Определение рН солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами ЦИНАО. М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с.

5. ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. М. : Российский институт стандартизации. 2021. 11 с.

6. ПНД Ф 16.1:2.2.2:2.3.78-2013. Количественный химический анализ почв. Методика измерения массовой доли подвижных форм металлов: меди, цинка, свинца, кадмия, марганца, никеля, кобальта, хрома в пробах почв, грунтов, донных отложений, осадков сточных вод методом пламенной атомно-адсорбционной спектроскопии. М., 2013.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ МИКРОРАЙОНА РАДУЖНЫЙ ГОРОДА КИРОВА

А. Ю. Пименов, Е. С. Соловьёва
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, ballozeart@gmail.com

В работе представлены данные о состоянии почв микрорайона Радужный г. Кирова. На основе анализа образцов почв, отобранных на 7 участках в разных функциональных зонах микрорайона, проведено сравнение почв по показателям кислотности, содержанию тяжелых металлов.

Ключевые слова: микрорайон Радужный, экология, почва, тяжелые металлы, загрязнение.

Благоприятная окружающая среда – залог здоровья. Но в реалиях современного мира атмосфера активно загрязняется не только из-за выбросов промышленных предприятий, но из-за загрязнения окружающей среды автомобилями.

Загрязняющие вещества (загрязнители) – это вещества антропогенного происхождения, поступающие в окружающую среду в количествах, превышающих природный уровень их поступления. Загрязнение почвы – это вид негативного воздействия на верхний плодородный слой литосферы, в результате которого содержание некоторых веществ в нем превышает допустимые нормы [1].

Радужный – микрорайон г. Кирова, в прошлом – посёлок городского типа, основан в 1976 году, с 2001 года входит в состав г. Кирова. Население – более 11000 человек. В микрорайоне Радужный расположены два комбината по производству железобетонных изделий и стройматериалов – АО «Кировский ССК» и ПСК «Перспектива» (ООО «Радужнинский завод ЖБИ») [2]. Также есть 2 предприятия деревообработки (лесопилки), предприятие по ремонту и обслуживанию мелиоративных машин, два автотранспортных предприятия, а также много других мелких производств, преимущественно ре-

монтажно-строительной направленности, что может отрицательно влиять на экологическое состояние территории.

Целью данной работы является изучение экологического состояния почв микрорайона Радужный города Кирова.

Для исследования состояния почв было выбрано 7 участков, расположенных в различных функциональных зонах Радужного: № 1 – участок в районе АО «Кировский ССК»; № 2 – ПСК «Перспектива»; № 3 – двор жилого дома, находящийся по адресу: улица Мира, дом 3; № 4 и № 5 – заводы «Вяттавтодор» и торговая-производственная компания «Крафт технологии»; № 6 – главная дорога микрорайона, № 7 – Кировский ЖБИ (рис.).

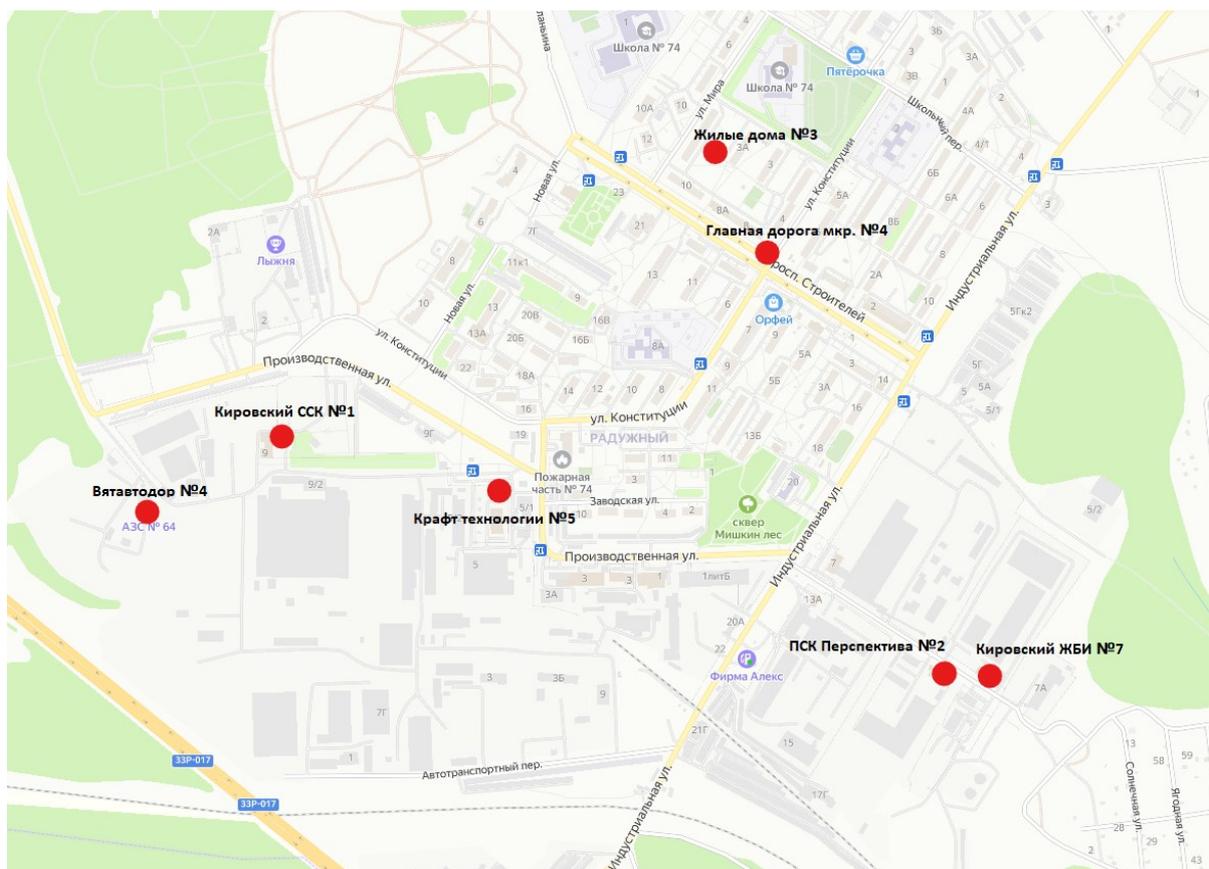


Рис. Карта микрорайона Радужный с расположением мест пробоотбора

Отбор проб почвы производился согласно требованиям ГОСТ 17.4.4.02-2017. Пробы отбирались по методу конверта на глубине 0–20 см.

Для оценки состояния почв были определены: водородный показатель при помощи рН-метра, валовое содержание тяжелых металлов при помощи атомно-сорбционного спектрометра «Спектр-5-3», содержание нитрат- и хлорид-ионов в водной вытяжке – методом ионной хроматографии с использованием кондуктометрического детектора [3–5]. Результаты эксперимента представлены в таблице.

Реакция почвенного раствора нейтральная (табл.). Нейтральная или слабощелочная среда почвенного раствора характерна для городских почв и является благоприятной для связывания ТМ, так как ионы металлов переходят

дят в нерастворимые формы и осаждаются в почве, что уменьшает опасность этих соединений для живых организмов, включая растения [6].

Максимальные значения почти всех определяемых компонентов в пробах почвы были отмечены на участке № 2 – ПСК «Перспектива» (табл.). При этом отмечено превышение значений ПДК по содержанию в почве на данном участке валовой формы меди и цинка. Превышение ПДК по цинку отмечено на участке № 7 – ЖБИ. Это может быть связано непосредственно с деятельностью предприятий, производящих железобетонные изделия и рядом факторов, которые отрицательно влияют на почву, такие как: использование устаревших технологий производства и неэффективная утилизация отходов.

Таблица

Результаты исследования состояния почв микрорайона

Параметр	№ участка							ПДК валовые формы ТМ (мг/кг)
	1	2	3	4	5	6	7	
рН	7,20	7,27	6,91	7,43	7,48	7,98	7,53	–
Медь (мг/кг)	34,1± 7,0	90,5± 2,0	1,0± 0,1	42,0± 8,0	38,3± 8,0	21,8± 3,0	н/о	55
Цинк (мг/кг)	58,6± 3,0	217,9± 3,0	27,2± 1,0	5,0± 1,0	65,4± 2,0	38,3± 1,0	220,0± 4,0	100
Кадмий (мг/кг)	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	–
Никель (мг/кг)	41,0± 3,0	75,6± 2,0	18,9± 1,0	35,6± 5,0	38,7± 3,0	23,5± 2,0	99,3± 1,0	85
Свинец (мг/кг)	14,0± 2,0	23,5± 2,0	0,5± 0,1	8,3± 3,0	15,6± 5,0	1,1± 0,7	11,7± 0,6	30

Примечание: н/о – не обнаружено. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК.

Наименьшая концентрация исследуемых компонентов во всех пробах почв была установлена на участке № 3 – жилые дома. Это связано с наибольшим удалением данного участка от промышленных объектов района. При анализе почв остальных участков установлено, что содержание исследуемых веществ не выходит за пределы значений ПДК, что может свидетельствовать об отсутствии существенных загрязнений со стороны промышленных предприятий и о малом количестве вредных веществ в почве.

Исследование содержания в почвах микрорайона Радужный валовых форм тяжёлых металлов свидетельствует о неравномерном распределении их в почвах, обусловленном как составом и свойствами самих почв, так и воздействием различных источников загрязнения. Превышение значений ПДК по валовым формам меди и цинка на участках, связанных со строительством и производством железобетонных изделий, связано с негативным влиянием данных предприятий на почву. Состояние почв остальных участков является удовлетворительным, но близость их к промышленным объектам района обу-

словливает целесообразность дальнейшего контроля состояния почв на данной территории.

Библиографический список

1. Ефремова С. Ю., Шарков Т. А., Лукьянец О. В. Экологический мониторинг загрязнения почв // Известия Пензенского государственного педагогического университета имени В. Г. Белинского. 2011. № 25. С. 568–571.
2. Радужный (Киров) [Электронный ресурс]. – URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/guwiki/336230/>(дата обращения: 22.11.2022).
3. ГОСТ 26483-85. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 5 с.
4. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М. : ЦИНАО, 1992. 62 с.
5. ПНД Ф 16.1.8-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов нитрита, нитрата, хлорида, фторида, сульфата и фосфата в пробах почв (водорастворимая форма) методом ионной хроматографии. М., 1998. 21 с.
6. Водяницкий Ю. Н. Изучение тяжелых металлов в почвах. М. : ГНУ Почв. ин-т имени В. В. Докучаева РАСХН, 2005. 109 с.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ ПОЧВ РЕАГЕНТНЫМИ И БЕЗРЕАГЕНТНЫМИ МЕТОДАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ЛИГНИНА

*Н. Г. Рачкова¹, Л. С. Кочева², Л. М. Шапошникова¹,
А. П. Карманов¹, О. В. Раскоша¹*

*¹ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия,
rashkova@ib.komisc.ru,*

*² Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар, Россия*

Проанализирована эффективность некоторых отечественных технологий реабилитации радиоактивно загрязненных территорий. Приведены данные собственных исследований в этом направлении. В качестве эффективного подхода рассматривается концепция сдерживания миграции радионуклидов из очагов радиоактивного загрязнения путем создания сорбционных барьеров на пути их миграции. Продемонстрирована способность природных и технических лигнинов к долговременной иммобилизации в почве подвижных форм нахождения радионуклидов.

Ключевые слова: радионуклиды, почва, дезактивация, сорбционный барьер, гидролизный лигнин, реагентные методы.

Разработка технологий реабилитации и ремедиации техногенно загрязненных территорий для обеспечения безопасной среды обитания живых орга-

низмов и человека является одной из актуальных задач экологии и рационального природопользования. Цель нашей работы – анализ эффективности некоторых отечественных разработок по дезактивации почв реагентными и безреагентными методами, в том числе с применением сорбентов на основе лигнина или продуктов его трансформации в природе.

Из множества аспектов решения этой проблемы мы сосредоточим внимание на отечественных разработках по защите окружающей среды и человека от радиоактивного загрязнения естественными радионуклидами, преимущественно радием. Большая часть из них создана в рамках концепции сдерживания миграции радионуклидов из очагов радиоактивного загрязнения и направлена на уменьшение подвижности и биологической доступности радионуклидов путем рационального применения средств химизации, подбора способов обработки почвы, видов и сортов растений с минимальным выносом радионуклидов, и лишь небольшое количество исследований посвящено изучению процессов ремедиации почв. В их основе лежат как реагентные и безреагентные методы, так и их комбинации.

Среди безреагентных способов дезактивации почвы наиболее хорошо изучена эффективность насыпного метода, заключающегося в нанесении на дневную поверхность слоя песка, песчано-гравийной смеси, щебня и др. «чистых» материалов с высокой плотностью. Вследствие этого снижается радиационный фон и пылевой перенос радиоактивного материала на территории, ограничивается биогенная миграция радионуклидов. Однако результативность такого подхода носит кратковременный характер. В случае такого биофильного радионуклида как радий-226 положительный эффект от применения насыпного метода дезактивации нивелируется уже через 5 лет, при этом радиационный фон на загрязненных территориях может снова превысить его фоновые уровни (до 10 раз). Слабая эффективность реабилитации пойменных территорий, загрязненных радием-226, показана нами на примере динамики радиационного фона, содержания и форм нахождения радия в воде, почвах и грунтах северотаежной подзоны Республики Коми [1]. Несмотря на то, что сразу после проведения дезактивации насыпным методом радиационный фон на территории кратно снижается, это не препятствует включению радионуклида в почвообразование и биогенные циклы миграции, не исключает его поступление в гидрографическую сеть и перераспределение в ландшафте.

Высокой эффективностью дезактивации характеризуются безреагентные методы, предполагающие отделение наиболее загрязненных механических фракций почвы из общей почвенной массы. В зависимости от предыстории загрязнения (или предварительного применения других методов дезактивации) это могут быть разные по размеру частиц фракции. Чаще всего это илистый материал, характеризующийся значительным содержанием глинистых минералов, способных к межпакетной сорбции и обладающих высокой площадью поверхности частиц. За счет отделения мелкодисперсных фракций из загрязненных грунтов можно извлечь до 95% радионуклидов, сконцентрировав их в небольшом объеме (не более 10–15% массы исходного грунта) [2–

5]. Отделение может осуществляться как с применением гидроциклонов, винтовых и спиральных классификаторов, так и с помощью гидроклассификации в пульсационной колонне. Последняя характеризуется более значительным извлечением радионуклидов по сравнению с «сухим» рассевом, поскольку под действием воды достигается лучшая дезинтеграция почвенных зерен и агрегатов [3]. По некоторым данным [3, 4], очистка почвогрунтов от радия-226 методом гидроклассификации позволяет сконцентрировать в глинистой фракции до 70% содержания радионуклида. По другим оценкам [5], в зависимости от типа почв и уровня их загрязнения методом «сухого» рассева с фракцией с размером частиц почвы не более 0,1 мм можно отделить только до 30% радия.

В некоторых случаях почвенные механические фракции оказываются слабо дифференцированными по содержанию радионуклидов, и здесь одним из возможных путей очистки почв остается их реагентная дезактивация. Так, установлено [6, 7], что радий эффективно экстрагируется из песчаных почв и супесей 1–2 М раствором азотной кислоты с добавкой нитрата аммония в концентрации 1 М. При соотношении твердой и жидкой фаз 1:5, температуре десорбирующего раствора 80 °С и времени контакта почвы с экстрагентом 8–10 ч достигается максимальная эффективность извлечения радионуклида из грунтов. Она составляет 95–98% от исходного содержания радия в образцах.

Ранее в модельных экспериментах нами было показано [5], что в загрязненных аллювиально-луговых и подзолистых почвах территорий северной тайги почвенные фракции слабо дифференцированы по содержанию радия-226, который не растворим в почвенных растворах и представлен преимущественно формами, требующими применения специальных методов перевода радионуклида в мобильное состояние. В ходе экспериментального экстрагирования радия-226 из почв было установлено, что для извлечения радионуклида наиболее эффективны растворы 1 М соляной кислоты, 0,3 М хлорида железа и 0,3 М нитрата алюминия. Наряду с видом реагента степень очистки почв определялась уровнем загрязнения и типом почвообразования, очень сильно варьируя в разных случаях – от 1,3 до 90%. Эти особенности сильно ограничивают прогнозирование эффективности применения тех или иных способов дезактивации загрязненных почв на загрязненных территориях. Наряду с этим в случае реагентной обработки почвы велика вероятность потери её плодородия, а приведение обработанной реагентами почвы в соответствие с экологическими требованиями требует дополнительных финансовых вложений и времени для реабилитации.

Вследствие этого при принятии решений о виде и формах реабилитации радиоактивно загрязненных территорий в ряде случаев предпочтение отдается не ремедиации, а физико-химическим методам ограничения подвижности радионуклидов. Одним из наиболее часто применяемых подходов является применение для этих целей природных и искусственных сорбентов.

На примере уже реализованного мероприятия реабилитации нами была оценена эффективность применения бентонитовых глин в качестве сорбента

радия-226. Объектом наблюдений являлся локальный участок пойменно-террасового типа в северной тайге, на котором долгие годы до реабилитации (1931–1956 гг.) в приповерхностном хранилище размещались твердые радиоактивные отходы бывшего предприятия по добыче радия из подземных вод. Долговременное хранение радиоактивных отходов в таких условиях сопровождалось радиоактивным загрязнением речной системы и поймы площадью около 4 га [8]. Инженерные работы по реабилитации территории выполнялись организацией «РАОПРОЕКТ» в 2014–2015 гг. Изоляция радиоактивных отходов от окружающей среды проводилась способом консервации, которая включала сооружение по периметру объекта физических (вертикальной стены в грунте, укрепленной металлической сеткой) и геохимических сорбционных барьеров на основе бентонитовых глин. По данным наших многолетних наблюдений это позволило снизить поступление в гидрографическую сеть (р. Ухта) не только взвешенных, но и растворимых форм радия-226. После консервации радиоактивных отходов в районе исследования наблюдается тенденция к улучшению качества грунтовых вод по содержанию радионуклида и его химического аналога бария. К настоящему времени содержание радия в грунтовых водах прибрежной полосы между рекой и объектом консервации уменьшилось более чем в 10 раз и соответствует гигиеническим нормативам. Показано, что вода из колодца лучевого дренажа объекта консервации, изливающаяся за его пределами в реку, не обладает биотоксичностью. В то же время в дренажной воде, взятой из колодца на территории объекта, содержание радия и урана превышает фоновые концентрации в грунтовых водах района до 800 раз. Ранее в речной воде из акватории влияния объекта содержание радия-226 повышалось в 1,3–3 раза по отношению к фоновым значениям. Радий мигрировал из очага загрязнения с речными водами не только в составе раствора, но и со взвесями с размерами частиц 0,45–3,5 мкм и более 3,5 мкм.

Другим перспективным сорбентом естественных радионуклидов на загрязненных территориях в таежной зоне могут быть цеолиты и лигнины различного состава [9–11], некоторые продукты трансформации технических лигнинов в почве или компоненты, входящие в состав почв [12]. Так, авторами работы [12] в модельных экспериментах продемонстрирован высокий потенциал натриевых и калиевых гуминовых препаратов, полученных из торфа, в процессах ремедиации почв. Применение гуминовых веществ из-за их полифункциональности позволяет регулировать почвенные свойства, способствующие сорбции токсикантов. В условиях статического сорбционного эксперимента установлено, что при суточном контакте с растворами нитратов уранила, радия и тория гуминовокислыми препаратами из жидкой фазы сорбируется до 74% радиоактивных элементов. До 21,8% радионуклидов извлекается только сильнокислыми растворами десорбентов, значительное количество (до 45,5%) было зафиксировано в структуре гуматов.

В модельных лабораторных и полевых натурных экспериментах нами была оценена способность гидролизного лигнина древесины и аналцимсо-

держашей породы к иммобилизации урана, радия и тория из водных растворов их солей и радиоактивно загрязненной подзолистой почвы с содержанием радионуклидов, превышающим в 10 раз его фоновые концентрации в почве [9–11]. Установлено, что альцимсодержащая порода сорбирует уран и радий из слабокислых модельных растворов, но в почве ее поглотительные свойства инактивируются. В отличие от цеолитов, гидролизный лигнин прочно поглощает радиоактивные элементы как из водных растворов, так и из почвы. Прочность сорбции определяется природой сорбируемых элементов и уровнями загрязнения почвы. Максимальный вклад необратимой сорбции для радия, тория и урана достигает 60, 80 и 96% соответственно. В результате анализа комплекса полученных экспериментальных данных мы пришли к заключению, что свойства лигнина как перспективного материала для создания эффективных сорбционных барьеров на пути миграции радиоактивных загрязнений обуславливаются разнообразием его функциональных групп, нерегулярностью структуры, способностью к поглощению низкомолекулярных органических соединений, вследствие чего в загрязненной среде осуществляются различные по механизмам физико-химические взаимодействия.

Таким образом, в работе на основе результатов собственных исследований и данных научной литературы проведен анализ эффективности некоторых отечественных разработок в области реабилитации радиоактивно загрязненных территорий. Сделан акцент на отдельных этапах и полных циклах технологий дезактивации северотаежных почв, содержащих естественные радионуклиды, прежде всего радий-226. В качестве наиболее эффективного подхода рассматривается концепция сдерживания миграции естественных радионуклидов из очагов радиоактивного загрязнения путем создания сорбционных барьеров на пути их миграции.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-00196, <https://rscf.ru/project/22-13-00196/> (изучение структуры и сорбционных свойств природных и промышленных сорбентов, включая лигнины) и Госзадания Института биологии Коми НЦ УрО РАН № 122040600024-5 (исследование эффективности безреагентных и реагентных методов ремедиации почв).

Библиографический список

1. Шапошникова Л. М., Рачкова Н. Г. Анализ эффективности реабилитации территории хранилища отходов радиевого производства в Республике Коми. DOI: 10.7868/S0869780318020072 // Геоэкология. Инженерная экология. Гидрогеология. Геокриология. № 2. 2018. С. 74–85.
2. Огульник П. Г., Лагузин Е. А., Смирнов А. Ю. Современные технологии для реабилитации загрязненных территорий // Известия Академии промышленной экологии. 1999. № 2. С. 76–81.
3. Никулина У. С. Очистка техногенных почвогрунтов от радионуклидов радиевого ряда и ртути методом гидроклассификации : спец. 05.17.02 : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2016. 20 с.

4. Никулина У. С., Чижевская С. В. Отечественный опыт очистки почвогрунтов от техногенных радионуклидов // Успехи химии и химической технологии. 2015. Т. XXIX. № 6. С. 93–94.
5. Рачкова Н. Г., Шапошникова Л. М. Оценка перспектив механической и реагентной дезактивации загрязненных радием почв в Республике Коми. DOI: 10.17513/use.37873 // Успехи современного естествознания. 2022. № 8. С. 96–101.
6. Склифасовская Ю. Г. Физико-химическое обоснование реагентной дезактивации грунтов, загрязненных α -излучателями : спец. 05.17.02 : автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 2012. 28 с.
7. Реагентная очистка грунтов от трансурановых элементов / В. Б. Николаевский, Ю. Г. Склифасовская, М. Н. Сабодина, Н. В. Ключкова // Атомная энергия. 2011. Т. 111. Вып. 1. С. 23–29.
8. Рачкова Н. Г. Первые данные об эффективности консервации приповерхностного хранилища радиоактивных отходов бывшего радиевого промысла. DOI: 10.1134/S1066362219020206 // Радиохимия. 2019. Т. 61. № 2. С. 174–179.
9. Пат. 2317603. РФ. Способ реабилитации почвы, загрязненной радиоактивными нуклидами / Рачкова Н. Г., Шуктомова И. И./ Заявл. от 07.08.2006, опублик. 20.02.2008.
10. Рачкова Н. Г., Таскаев А. И. Иммобилизация соединений U, Ra и Th анальцим-содержащей породой и гидролизным лигнином // Радиохимия. 2011. Т. 53. № 3. С. 267–273.
11. Шуктомова И. И., Рачкова Н. Г. Использование отходов целлюлозно-бумажной промышленности в процессах рекультивации почвы, загрязненной радиоактивными элементами. DOI: 10.18412/1816-0395-2012-11-56-57 // ЭЖИП (Экология и промышленность России). 2012. № 11. С. 56–57.
12. Броварова О. В., Рачкова Н. Г., Броварова Д. А. Исследование потенциала гуминовых веществ как детоксикантов почв от природных радионуклидов // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2023. Т. 16. № 3. С. 404–416.

ИЗМЕНЕНИЕ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГРЯЗНЕННОЙ НЕФТЬЮ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ В ХОДЕ ЕЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

*И. В. Князев, Э. Р. Зайнулгабидинов, А. А. Утомбаева,
Ю. А. Игнатьев, А. М. Петров*
*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
г. Казань, Россия, Knezev3@yandex.ru*

В работе представлены результаты лабораторных экспериментов по изучению влияния культивирования одно- и двудольного растений и их смеси на токсикологические характеристики загрязненной нефтью серой лесной среднесуглинистой почвы. В сравнительном с технической рекультивацией эксперименте продемонстрировано влияние начального содержания нефтепродуктов (1,3–15,4 г/кг) и культивируемых растений (рожь посевная и вика посевная) на рост корней пшеницы и смертность ветвистоусых рачков. Показано, что использование смеси растений при рекультивации обеспечивает устранение острого токсического действия содержащих нефть образцов серой лесной почвы.

Ключевые слова: нефтепродукты, серая лесная почва, токсичность, вика посевная, рожь посевная, пшеница обыкновенная, ветвистоусые рачки.

Проводимые на загрязненных нефтью почвах рекультивационные мероприятия должны быть направлены на создание условий, обеспечивающих активное протекание процессов окисления нефтяных углеводородов, снижение их вредного воздействия на окружающую среду. Токсичность является интегральным показателем, демонстрирующим комбинированное действие всего комплекса присутствующих в почве загрязняющих веществ на животные и растительные организмы, что делает актуальным использование данного параметра при оценке эффективности тех или иных проводимых на загрязненных почвах восстановительных мероприятий.

Относительно традиционных физико-химических методов почвенной ремедиации, биологические являются более перспективными и дешевыми [1]. Методы фиторемедиации находят все большее применение в исследованиях, направленных на восстановление свойств и плодородия техногенно загрязненных почв. Их эффективность определяется содержанием поллютанта, условиями и устойчивостью используемых растений к факторам воздействия [2–7]. Это определяет актуальность изучения влияния предлагаемых к использованию растений на токсикологические характеристики рекультивируемой загрязненной нефтью серой лесной почвы.

Цель исследований – изучение влияния выращивания одно- и двудольных сельскохозяйственных культур и их смеси на токсикологические характеристики загрязненной нефтью серой лесной среднесуглинистой почвы.

Объектом исследования служили незагрязненные и загрязненные сернистой нефтью образцы серой лесной среднесуглинистой (СЛ) почвы Республики Татарстан (горизонт А1), предварительно в течение месяца выдержанные в условиях технической рекультивации (перемешивание и увлажнение). Содержание нефтепродуктов (НП) в опытных вариантах О1, О2, О3 и О4 составляло: 1,3; 6,1; 11,6 и 15,4 г/кг, соответственно [8]. Контролем (К) служила исходная незагрязненная СЛ почва.

Контрольный и опытные варианты были разделены на 4 части, на три из которых были посеяны растения (фитореккультивация); 1. вика посевная (опыт В); 2. рожь посевная (опыт Р); 3. смесь растений рожь + вика (опыт РВ). Четвертая часть почвенных образцов инкубировалась без растений (опыт Т, «техническая рекультивация»).

Хронические вегетационные опыты проводили в соответствии с [9], использовали однодольное растение – рожь посевная (*Secale cereale* L.) и двудольное – вика посевная (*Vicia sativa* L.). Их выбор определялся результатами ранее проведенных исследований [10]. Хронические опыты проведены в лабораторных условиях при температуре окружающего воздуха 19–25 °С, влажности почвы 20–25% от полной влагоемкости, освещенности фитолампами мощностью 4000 Лк в течение 16 часов в сутки. Растения выращивались в пластиковых емкостях высотой 9 см, объемом 550 мл, содержащих по 400 г почвы. Количество повторностей в вариантах – 3. В опыте РВ растения высе-

вали в соотношении 1:1, общее количество растений в каждой повторности всех опытов было одинаковым. Через 42 дня культивирования растения удаляли и определяли токсикологические характеристики незагрязненных и загрязненных нефтью почвенных образцов.

При токсикологическом тестировании были использованы пшеница обыкновенная (*Triticum vulgare* L.) [11] и ветвистоусые рачки (*Ceriodaphnia affinis* L.) [12].

Анализ прошедших техническую рекультивацию загрязненных нефтью почвенных образцов показал, что все они обладают острой токсичностью. Ингибирование роста корней пшеницы в вариантах О1, О2, О3 и О4 составляло 26, 45, 41 и 46%, соответственно (рис.). Смертность ветвистоусых рачков при тестировании водной вытяжки из почв в вариантах О2, О3 и О4 составила 100, 30 и 50%, соответственно. В контроле и варианте О1 все рачки были живы (табл.).

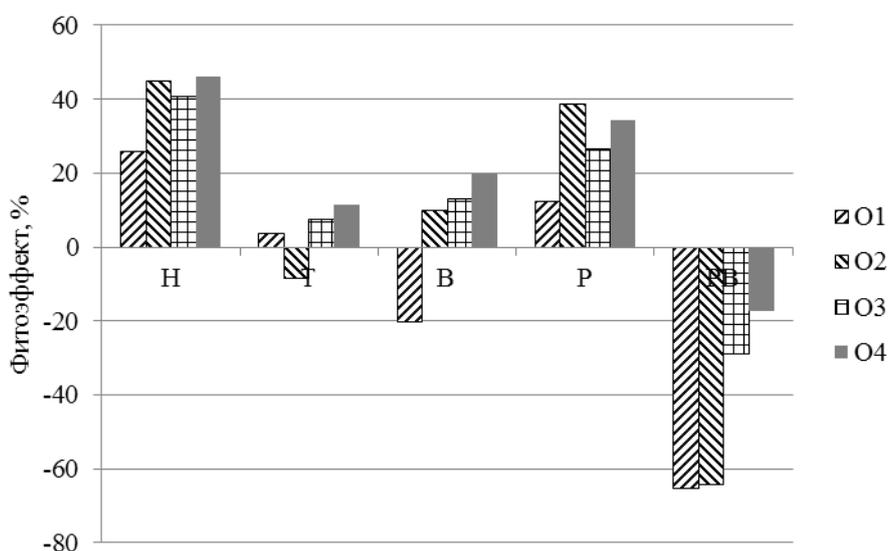


Рис. Фитотоксический эффект исходных (Н) и рекультивированных образцов серой лесной почвы

Таблица

**Смертность рачков *C. Affinis*
при тестировании водной вытяжки из почвы**

Варианты с разными культурами	Варианты с разным содержанием нефтепродуктов				
	К	О1	О2	О3	О4
До опыта (Н)	0	0	100%	30%	50%
После опыта Т	0	10%	70%	30%	40%
После опыта В	0	10%	10%	30%	10%
После опыта Р	0	0	60%	40%	10%
После опыта РВ	0	10%	10%	0	10%

После 42-суточного инкубирования почвенные образцы опытов Т и В не ингибировали рост корней пшеницы (уменьшение длины корней не превышало 20%). В варианте О1 опыта В длина корней пшеницы была на 20%

больше, чем в контроле. Смертность рачков в опыте Т снизилась незначительно, в опыте В вредное воздействие водной вытяжки было зарегистрировано только в варианте ОЗ. После опыта Р образцы вариантов О2–О4 обладали острым токсическим действием, длина корней пшеницы в них была на 27–39% меньше, чем в контроле. Водная вытяжка из почв вариантов О2 и О3 опыта Р приводила к гибели 60 и 40% цериодафний. Результатом совместного культивирования ржи и вики (опыт РВ) явилось не только устранение острого токсического действия, но и стимуляция роста корней пшеницы, которая в вариантах О1, О2 и О3 составила 65, 64 и 29%, соответственно. Водная вытяжка из загрязненных образцов опыта РВ не оказывала вредного воздействия на гидробионтов (смертность не превышала 10%).

Анализ полученных результатов показывает, что культивирование растений на загрязненных нефтью образцах серой лесной почвы привело к снижению их токсического действия, при этом уровень эффекта определялся подходом к рекультивации, выбранном для культивирования растениями.

Использование при фиторекультивации вики посевной в испытанном диапазоне содержания поллютанта обеспечило устранение его токсического действия на пшеницу.

При культивировании ржи посевной на почвенных образцах, содержащих 6,1–15,4 г/кг НП, их токсическое действие на гидробионтов и пшеницу сохранялось.

Совместное культивирование ржи и вики обеспечило эффективную детоксикацию загрязненных нефтью почвенных образцов. Отсутствие вредного воздействия на гидробионтов указывает на минимальный пресс растворимых в дождевых и талых водах поллютантов на подземные и поверхностные воды и прилегающую к рекультивируемому участку территорию.

Использование при проведении фиторекультивационных работ смеси одно- и двудольных растений обеспечило устранение токсического действия поллютантов, присутствующих в загрязненных нефтью серых лесных почвах.

Библиографический список

1. Busygina T., Rykova V. Scientometric analysis and mapping of documentary array on the issue "Oil and petroleum products in soil and groundwater". DOI: 10.1007/s11356-020-08717-0 // Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27. No. 19. P. 23490–23502.
2. Подбор растений для фиторемедиации почв, загрязненных нефтяными углеводородами / Н. А. Киреева, А. С. Григориади, В. В. Водопьянов, А. Р. Амирова // Известия СамНЦ РАН. 2011. Т. 13. № 5 (2). С. 184–187.
3. Киреева Н. А., Водопьянов В. В. Мониторинг растений, используемых для фиторемедиации нефтезагрязненных почв // Экология и промышленность России. 2007. № 9. С. 46–47.
4. Tolerance of selected plant species to petrogenic hydrocarbons and effect of plant rhizosphere on the microbial removal of hydrocarbons in contaminated soil / E. Shahsavari, E. M. Adetutu, P. A. Anderson, A. S. Ball. DOI: 10.1007/s11270-013-1495-3 // Water Air Soil Pollut. 2013. Vol. 224. No. 4. Article No. 1495.

5. Ларионова Н. Л. Устойчивость растений к загрязнению почвы углеводородами и эффект фиторемедиации : спец. 03.00.16 : дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2005. 153 с.
6. Динамика токсикологических характеристик серой лесной почвы в условиях длительного воздействия нефти / А. М. Петров, Э. Р. Зайнулгабидинов, И. В. Князев и др. // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 4. С. 115–119.
7. Зайнулгабидинов Э. Р., Игнатъев Ю. А., Петров А. М. Влияние фиторемедиации на профиль углеводородов нефти в аллювиальных дерновых почвах // Российский журнал прикладной экологии. 2021. № 2. С. 53–60.
8. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. М., 1998. 18 с.
9. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М. : Стандартинформ, 2010.
10. Скрининг растений для фиторемедиации нефтезагрязненных почв / А. А. Утомбаева, Э. Р. Зайнулгабидинов, Т. В. Кузнецова, А. М. Петров. DOI: 10.24852/2411-7374.2022.1.68.75 // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 1. С. 68–75.
11. ФР.1.39.2006.02264. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв. СПб, 2006.
12. ФР.1.39.2007.03221. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости цериодафний. М. : Акварос, 2007. 56 с.

ВЛИЯНИЕ ПОДХОДОВ К РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ЗАГРЯЗНЕННОЙ НЕФТЬЮ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

*Л. К. Каримуллин, А. А. Утомбаева, Т. В. Кузнецова,
И. В. Князев, А. М. Петров*

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, г. Казань, Россия, karlenar@yandex.ru*

В работе изучено влияние культивирования монокультур одно- и двудольных растений и их смеси на биохимическую активность загрязненной нефтью серой лесной среднесуглинистой почвы (L_2^{cc}). Представлены результаты влияния различных концентраций нефтепродуктов на уровень каталазной и уреазной активности почвенных образцов, прошедших техническую и биологическую рекультивацию. Продемонстрировано наличие взаимосвязи между начальным содержанием нефтепродуктов и ферментативной активностью рекультивированной почвы.

Ключевые слова: серая лесная почва, каталаза, уреазы, рожь посевная, вика посевная.

Возвращение загрязненных нефтью земель в хозяйственный оборот невозможно без проведения специальных восстановительных мероприятий. Сравнение физико-химических и биологических методов рекультивации почв

показывает, что последние более перспективны, т. к. являются более эффективными, дешевыми и безопасными. Фиторекультивация – одно из направлений биологической рекультивации. Проведение фиторекультивационных мероприятий обеспечивает повышение скорости окисления поллютанта, интенсифицирует процессы восстановления свойств загрязненных нефтяными углеводородами почв [1]. Фиторемедиация включает весь спектр метаболических процессов по поглощению, аккумуляции и разложению поллютантов, обеспечивает стабильное протекание процесса биологического распада углеводородов при относительно невысокой стоимости затрат, не требует снятия плодородного слоя почвы, может применяться на больших площадях без ущерба для прилегающих территорий. Развитие корневой системы растений улучшает газообмен в глубинных слоях почвы, способствует развитию нефтеокисляющей микробиоты в естественной среде [2].

Учитывая роль почвенной микробиоты в деструкции поллютантов, представляет интерес изучение влияния культивирования высших растений на биохимическую активность микробного пула нефтезагрязненной почвы.

Цель работы – определить влияние культивирования одно- и двудольных растений на ферментативную активность серой лесной среднесуглинистой почвы, содержащей разные дозы нефтепродуктов.

В исследованиях была использована серая лесная среднесуглинистая почва (L_2^{cc}) Республики Татарстан (табл. 1), в которую в разных дозах была внесена сернистая нефть Ямашинского месторождения. Определенное методом ИК-спектрии [3] содержание нефтепродуктов в загрязненных нефтью опытных образцах (варианты О1–О4) составило: О1 – 1,3 г/кг; О2 – 6,1 г/кг; О3 – 11,6 г/кг; О4 – 15,4 г/кг. Контролем (К) служила чистая серая лесная почва.

Таблица 1

Характеристики серой лесной среднесуглинистой почвы

Гумус, %	C _{орг.} , %	P ₂ O ₅ _{подв.}	K ₂ O _{подв.}	pH _{вод.}	N _{вал.} , %	P ₂ O ₅ _{вал.} , %
		МГ/КГ				
4,4	2,8	103	81	6,25	0,21	0,07

Все полученные варианты были разделены на 4 равные части, на три из которых высевали: рожь посевную (опыт Р); вику посевную (опыт В); смесь растений рожь+вика (опыт РВ). Часть почвенных образцов, в которых осуществлялось периодическое перемешивание и увлажнение, была оставлена без растений под «техническую рекультивацию» (опыт Т).

Хронические лабораторно-вегетационные эксперименты проводили в соответствии с [4]. В качестве тест-объектов использовали рожь посевную (*Secale cereale* L.) и вику посевную (*Vicia sativa* L.), выбор которых был обусловлен результатами ранее проведенных исследований, определением их устойчивости к неблагоприятным факторам и способности активировать почвенные процессы [5]. Инкубирование всех почвенных образцов осуществляли при температуре 19–25 °С, влажности 20–25%, 16-часовом световом дне с ин-

тенсивностью освещения 4000 Лк. Количество повторностей в каждом варианте – 3. На 42 сутки эксперимента растения удаляли, почвенные образцы анализировали.

В качестве диагностического показателя физиологической активности чистых и загрязненных нефтью почв были определены уровни ферментов класса оксидоредуктаз (каталаза) и гидролаз (уреаза), т. к. они информативно отражают интенсивность протекающих в почве биохимических процессов [6].

Каталазная активность контрольных образцов инкубированной серой лесной почвы после всех опытов имела близкие значения, при этом выбранный подход к рекультивации и содержание НП влияли на уровень каталазной активности почвенных образцов. Следует отметить, что в загрязненных образцах опытов после фиторекультивации она в большинстве вариантов была выше, чем при технической рекультивации. При низкой концентрации НП в опытах с отдельным культивированием растений ферментативная активность была в 2,5–2,6 раза выше, чем в опыте Т. Более высокая относительно опыта Т каталазная активность также была зарегистрирована в варианте О4 опыта В, О2 опыта Р, а также О1 опыта РВ. В остальных вариантах опытов различия в активности были незначительны (рис. 1).

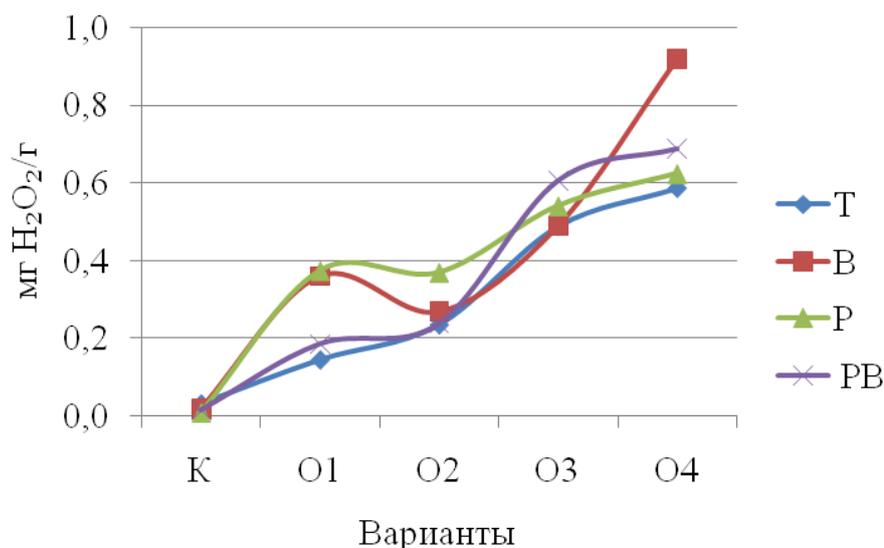


Рис. 1. Каталазная активность почвенных образцов в зависимости от условий рекультивации и содержания НП

Анализ уреазной активности показал, что в вариантах О1 всех опытов она имела близкие значения. При увеличении содержания поллютанта во всех опытах наблюдался рост интенсивности разложения мочевины. Однако, если в вариантах О3 и О4 опытов Р и РВ активность фермента была выше, а О2 значительно выше (в 5,2 и 2,9 раза, соответственно), то в опыте В в вариантах О2 и О4 она была на уровне, а в О3 в 2 раза ниже, чем в соответствующих вариантах опыта Т (рис. 2).

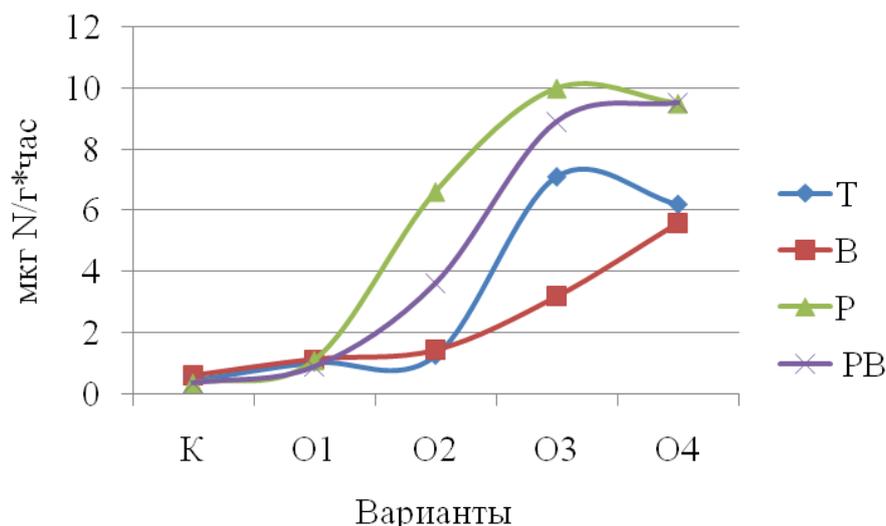


Рис. 2. Уреазная активность почвенных образцов в зависимости от условий рекультивации и содержания НП

Сопоставление начальной концентрации нефтепродуктов и уровня ферментативной активности рекультивированной загрязненной нефтью почвы выявило наличие достоверной взаимосвязи между данными параметрами (табл. 2).

Таблица 2

Взаимосвязь между начальным содержанием нефтепродуктов (x) и ферментативной активностью (y) рекультивированной почвы

Опыт	Каталаза		Уреаза	
	Формула	R ²	Формула	R ²
Т	$y = 0,035x + 0,0546$	0,9797	$y = 0,4375x + 0,2029$	0,8355
В	$y = 0,0448x + 0,1029$	0,7911	$y = 0,2919x + 0,3957$	0,9053
Р	$y = 0,0313x + 0,1671$	0,7600	$y = 0,6566x + 1,0012$	0,9030
РВ	$y = 0,0425x + 0,0535$	0,9488	$y = 0,648x + 0,2159$	0,9713

Выводы. 1. Во всех опытах при проведении рекультивационных мероприятий в испытанном диапазоне содержания нефтепродуктов ингибирование каталазной активности не наблюдалось. Почвенные образцы с более высоким начальным содержанием поллютанта имели более высокую каталазную активность.

2. Происходящие при культивировании вики посевной на нефтезагрязненных почвах биохимические процессы приводят к образованию продуктов, снижающих ее уреазную активность.

3. Выявлено наличие достоверной взаимосвязи между начальной концентрацией нефтепродуктов и уровнем каталазной и уреазной активности рекультивированной нефтезагрязненной почвы.

4. Полученные в эксперименте данные показывают, что использование при фиторекультивации смеси вики посевной и ржи посевной обеспечивает поддержание достаточно высокой биохимической активности во всем испытанном диапазоне содержания нефтепродуктов в почве.

Библиографический список

1. Зайнулгабидинов Э. Р., Игнатъев Ю. А., Петров А. М. Влияние фиторемедиации на профиль углеводородов нефти в аллювиальных дерновых почвах. DOI: 10.24852/2411-7374.2021.2.53.60 // Российский журнал прикладной экологии. 2021. № 2. С. 53–60.
2. Биологическая активность чернозема выщелоченного, загрязненного продуктами сгорания попутного нефтяного газа, и возможности ее восстановления при фиторемедиации / Н. А. Киреева, Е. И. Новоселова, А. А. Шамаева, А. С. Григориади // Почвоведение. 2009. № 4. С. 498–503.
3. ПНД Ф 16.1.2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. [Электронный ресурс]. – URL: <https://gostrf.com/normadata/1/4293831/4293831615.pdf> (дата обращения: 04.03.2024).
4. ГОСТ Р ИСО 22033–2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая токсичность в отношении высших растений. [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/48851/> (дата обращения: 04.03.2024).
5. Скрининг растений для фиторемедиации нефтезагрязненных почв / А. А. Утомбаева, Э. Р. Зайнулгабидинов, Т. В. Кузнецова, А. М. Петров. DOI: 10.24852/2411-7374.2022.1.68.75 // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 1. С. 68–75.
6. Биологическая активность и устойчивость микробного сообщества рекультивированных почв при разном остаточном содержании нефтепродуктов / Л. К. Каримуллин, А. М. Петров, А. А. Вершинин, И. В. Князев // Российский журнал прикладной экологии, 2020. № 1. С. 52–59.

ОСАДОК ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННОЙ НЕФТЬЮ ПОЧВЫ

*А. А. Утомбаева, Т. В. Кузнецова, А. А. Вершинин,
Э. Р. Зайнулгабидинов, А. М. Петров*
*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
г. Казань, Россия, semionova.alin@yandex.ru*

В лабораторном эксперименте изучено влияние гранулированного осадка городских сточных вод на характеристики рекультивируемой серой лесной среднесуглинистой почвы с разным уровнем нефтяного загрязнения. Внесение гранулята осадков сточных вод в нефтезагрязненную серую лесную среднесуглинистую почву обогащает микробный пул, приводит к увеличению содержания углерода микробной массы. Дополнительное внесение с гранулированным осадком сточных вод биогенных элементов повышает устойчивость микробсообществ к поллютанту, сокращает сроки восстановления свойств и плодородия нефтезагрязненной почвы. Показано, что внесение в почвенные образцы, содержащие 2,7–19,7 г/кг нефтепродуктов, гранулированного осадка сточных вод из расчета 10 т/га положительно влияет на изменения в качественном и количественном составе микрофлоры, что указывает на возможность его эффективного использования при рекультивации нефтезагрязненных почв.

Ключевые слова: осадки сточных вод, почва, нефтепродукты, рекультивация, микробный пул, биогенные элементы.

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами требует проведения комплекса рекультивационных мероприятий, направленных на восстановление свойств и плодородия почв, скорейшее возвращение в хозяйственную деятельность земельных ресурсов. Рекультивационные мероприятия наряду с приемами технической рекультивации, могут включать внесение повышающих окислительную активность почвенных микроорганизмов органических и минеральных удобрений, посадку растений, обогащение почвы специально селекционированными микробными комплексами.

Рост численности населения крупных городов России приводит к увеличению количества опасных для окружающей среды и здоровья человека осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод, что требует поиска путей их безопасной утилизации.

Во многих странах мира практикуется внесение осадков городских сточных вод (ОСВ) в почву в качестве удобрения, поскольку они содержат большое количество азота, фосфора и других веществ, необходимых для питания растений, богаты органическими веществами [1, 2].

Невозможность прямого вторичного использования содержащих биологически доступное органическое вещество и биогенные элементы ОСВ обусловлена необходимостью их предварительного обеззараживания. Термомеханическая обработка осадков решает данную проблему. Обработанный осадок рассматривается как гранулированный продукт, который может быть использован при рекультивации загрязненных и деградированных почв в качестве органоминерального удобрения. Правильное применение ОСВ в качестве комплексных органо-минеральных удобрений богатых азотом, фосфором и калием позволяет повышать плодородие исходно бедных почв и урожайность культур [3].

Цель исследования – изучить влияние гранулированного осадка городских сточных вод на характеристики серой лесной среднесуглинистой почвы в зависимости от уровня нефтяного загрязнения и выбранного подхода к рекультивации.

В эксперименте использовали серую лесную среднесуглинистую почву, которая была искусственно загрязнена парафинистой, сернистой смолистой типа нефтью Ямашинского месторождения. Содержание НП в исходных опытных образцах составляло: 2,7 г/кг; 6,1 г/кг; 14,4 г/кг; 19,7 г/кг в вариантах В1, В2, В3, В4, соответственно.

При изучении возможности интенсификации процессов восстановления свойств нефтезагрязненной почвы в работе был использован термомеханически обработанный ОСВ с очистных сооружений г. Казани в виде достаточно устойчивого к влаге гранулированного продукта (далее гранулят), который соответствует требованиям ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 [4] и имеет следующие ха-

рактеристики: влажность – 6,3%, рН_{сол.} – 6,2, органическое вещество – 60,4%, N_{общ.} – 3,0%, P_{общ.} – 1,5%, P_{подв.} – 2000 мг/кг, класс опасности IV.

Проведенный эксперимент включал три параллельных опыта, которые были условно обозначены: – ТР (техническая рекультивация); – МР (микробиологическая рекультивация); – ФМР (фито-микробиологическая рекультивация). В опыте ТР чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы (без гранулята) инкубировали в течение 42 суток при их периодическом перемешивании и увлажнении. В опыте МР чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы, содержащие гранулят из расчета 10 т/га, инкубировали в течение 42 суток при их периодическом перемешивании и увлажнении. В опыте ФМР на чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы, содержащие гранулят из расчета 10 т/га, была посажена смесь растений, культивирование которой осуществляли в течение 42 суток при их периодическом увлажнении.

В опыте ТР контролем (К) служила чистая почва, в опытах МР и ФМР чистая почва с гранулятом.

В опыте ФМР была использована смесь растений: однодольного – рожь посевная (*Secale cereale* L.) и двудольного – вика посевная (*Vicia sativa* L.) [5], которые высевали в почвенные образцы в соотношении 1:1 (6+6 растений). В конце эксперимента растения аккуратно удаляли, а почвенные образцы анализировали.

Качественный и количественный состав микроорганизмов изучали методом посева почвенной суспензии на диагностические среды с использованием общепринятых методов [6]. Содержание углерода микробной биомассы (Смик) определяли согласно [7].

Начальное содержание (Н) углерода микробной массы (Смик) в образцах серой лесной почвы практически линейно зависело от дозы внесенной нефти (рис. 1). Начальное содержание Смик в почвенных образцах с гранулятом достоверно не отличалось от образцов без гранулята.

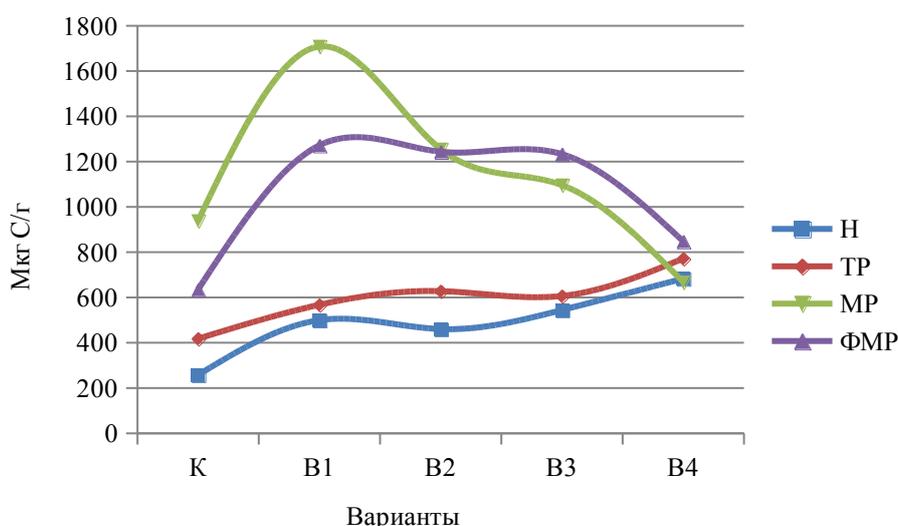


Рис. Влияние концентрации поллютанта и подхода к рекультивации на содержание углерода микробной биомассы в почве

Инкубирование почвенных образцов опыта ТР не привело к значительному росту Смик, содержание которого также линейно зависело от дозы исходно внесенной в почвенные образцы нефти.

В отличие от опыта с технической рекультивацией, в опыте МР максимальное содержание Смик было зарегистрировано в варианте с наименьшей испытанной концентрацией поллютанта (В1) с последующим снижением значений Смик по мере увеличения содержания НП в почве. В вариантах В1–В3 опыта ФМР содержание Смик имело близкие значения. В вариантах В4 во всех опытах концентрация Смик отличалась незначительно.

Инкубация нефтезагрязненных образцов приводила к увеличению численности большинства исследованных групп микроорганизмов, однако в опытах с гранулятом она была выше, чем в образцах без гранулята (табл.). Гранулят ингибировал рост бактерий, утилизирующих минеральный азот (БУМА), стимулировал развитие гетеротрофных (ОМЧ), углеводородокисляющих (УОМ), целлюлозоразрушающих (ЦР) микроорганизмов и нитрификаторов, численность последних в вариантах В1 и В2 опыта МР была в десятки, а опыта ФМР в сотни раз выше, чем в опыте без гранулята. В вариантах с максимальным содержанием поллютанта (В4) влияние гранулята на микробный пул в опытах выравнивается.

Таблица

Изменение численности микроорганизмов в нефтезагрязненных образцах с гранулятом и без после их 42-суточного инкубирования (кратность относительно начального содержания, раз)

Группы микроорганизмов	Варианты											
	В1			В2			В3			В4		
	ТР	МР	ФМР	ТР	МР	ФМР	ТР	МР	ФМР	ТР	МР	ФМР
ОМЧ	2,3	5,4	6,1	0,9	3,2	2,6	1,5	3,7	3,0	1,1	1,1	1,2
УОМ	2,0	2,0	4,4	1,6	2,1	2,5	1,2	2,3	1,6	1,7	1,2	2,2
Актиномицеты	1,2	0,4	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,8	0,3	0,04	0,01	0,1
Микромицеты	1,2	23,6	31,1	1,1	22,8	26,3	1,3	12,7	24,5	1,1	0,9	12,7
БУМА	1,8	0,5	0,3	0,6	0,3	0,3	2,4	0,6	0,2	2,6	0,4	0,3
ЦР	1,7	7,2	9,1	0,2	3,0	3,8	0,5	2,9	4,6	0,8	0,04	1,2
Нитрификаторы	8,0	86,0	138,5	1,0	32,0	139,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Численность микроорганизмов в опытных образцах после инкубации в целом согласуется с результатами определения содержания Смик.

Таким образом, проведенные лабораторные исследования показали, что внесение в нефтезагрязненную серую лесную среднесуглинистую почву с гранулятом ОСВ органических веществ и биогенных элементов приводит к увеличению содержания углерода микробной массы, обогащает микробный пул и повышает его устойчивость к поллютанту, что обеспечит сокращение сроков восстановления свойств и плодородия почвы.

Библиографический список

1. Плеханова И. О. Степень самоочищения агродерново-подзолистых супесчаных почв, удобренных осадком сточных вод. DOI: 10.7868/S0032180X17040086 // Почвоведение. 2017. № 4. С. 506–512.
2. Рэуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы. М. : Агропромиздат, 1986. 221 с.
3. Бадарч Б., Васенев И. И., Сюняев Н. К. Агроэкологическая оценка последствий применения осадка сточных вод на дерново-подзолистые почвы легкого гранулометрического состава // Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах : материалы междунар. науч.-практ. конф. Нижний Новгород (11–12 декабря 2014 г.). Нижний Новгород, 2014. С. 34–37.
4. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений: действ. с 01.10.2001. М., 2008.
5. Скрининг растений для фиторемедиации нефтезагрязненных почв / А. А. Утомбаева, Э. Р. Зайнулгабидинов, Т. В. Кузнецова, А. М. Петров. DOI: 10.24852/2411-7374.2022.1.68.75 // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 1. С. 68–75.
6. Егоров Н. С. Руководство к практическим занятиям по микробиологии. М. : Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
7. Культивирование высших растений и дыхательная активность нефтезагрязненных почв / А. А. Вершинин, А. М. Петров, Л. К. Каримуллин, Н. В. Шурмина // Российский журнал прикладной экологии. 2016. № 3. С. 46–51.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕСТРУКЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

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

В лабораторных условиях исследована эффективность различных технологий рекультивации загрязненной нефтью серой лесной почвы. Наибольшая стимуляция почвенного дыхания и эффективность деструкции нефтепродуктов происходила при микробиологической и фито-микробиологической рекультивации, при проведении которых был использован термически обработанный осадок городских сточных вод. При выборе способа рекультивации необходимо учитывать концентрацию поллютанта в почве.

Ключевые слова: нефть, нефтепродукты, осадки сточных вод, дыхательная активность.

При восстановлении загрязненных нефтью территорий все большее внимание уделяется основанным на активизации биологических процессов методам рекультивации. Высокая эффективность, экономичность и экологичность процессов биоремедиации увеличивает их востребованность при про-

ведении работ по нейтрализации негативного воздействия широкого спектра органических загрязнений [1, 2]. Образующиеся на городских очистных сооружениях осадки сточных вод (ОСВ) содержат широкий спектр доступных для микроорганизмов биогенных элементов и органических веществ, что указывает на возможность их вторичного использования. Термическая обработка ОСВ обеспечивает получение гранулированного продукта (далее гранулят), отвечающего требованиям ГОСТ Р 54534-2011 [3], что позволяет использовать их при проведении рекультивационных мероприятий [4–6]. Использование при рекультивации нефтезагрязненных почв промышленных отходов решает две задачи: – восстановление свойств почв и вторичное использование отходов.

Цель исследований заключалась в сравнении эффективности различных способов рекультивации загрязненной нефтью серой лесной почвы (СЛ) при использовании гранулята ОСВ для стимуляции восстановительных процессов.

Исходно, искусственно загрязненные парафинистой, сернистой смолистого типа нефтью Ямашинского месторождения почвенные образцы В1, В2, В3, В4 содержали 2,7; 6,1; 14,4; 19,7 г/кг нефтепродуктов [7]. Через три недели в часть почвенных образцов был внесен гранулят из расчета 10 т/га.

Эксперимент включал три параллельных опыта условно обозначенных: Т – техническая рекультивация; М – микробиологическая рекультивация; ФМ – фито-микробиологическая рекультивация, в которых исследовались: чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы без гранулята (опыт Т); чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы с содержанием гранулята 10 т/га (опыт М); чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы с содержанием гранулята 10 т/га в которые были посажены растения (опыт ФМ).

В опыте Т контролем (К) служила чистая почва, в опытах М и ФМ чистая почва с гранулятом.

Интенсивность почвенного дыхания определяли газохроматографическим методом [8]. В результате измерений устанавливались: скорость базального дыхания ($V_{\text{базал}}$), скорость субстрат-индуцированного дыхания ($V_{\text{сид}}$), коэффициент микробного дыхания ($Q_r = V_{\text{базал}}/V_{\text{сид}}$) [9]. Скорость дыхания выражали в $\text{мкг CO}_2/\text{г сухой почвы в час}$.

Базальное дыхание отражает доступность питательных веществ для почвенной микробиоты. В условиях технической рекультивации при увеличении содержания НП в почве наблюдался линейный рост $V_{\text{базал}}$. Аналогично, но на более высоком уровне происходило изменение интенсивности $V_{\text{базал}}$ образцов опыта М. В опыте ФМ $V_{\text{базал}}$ было выше, чем в опыте М, имело небольшой пик в варианте с самой низкой концентрацией поллютанта (В1) и более высокие значения эмиссии CO_2 в вариантах с высоким содержанием НП (В3 и В4) (рис. 1 А).

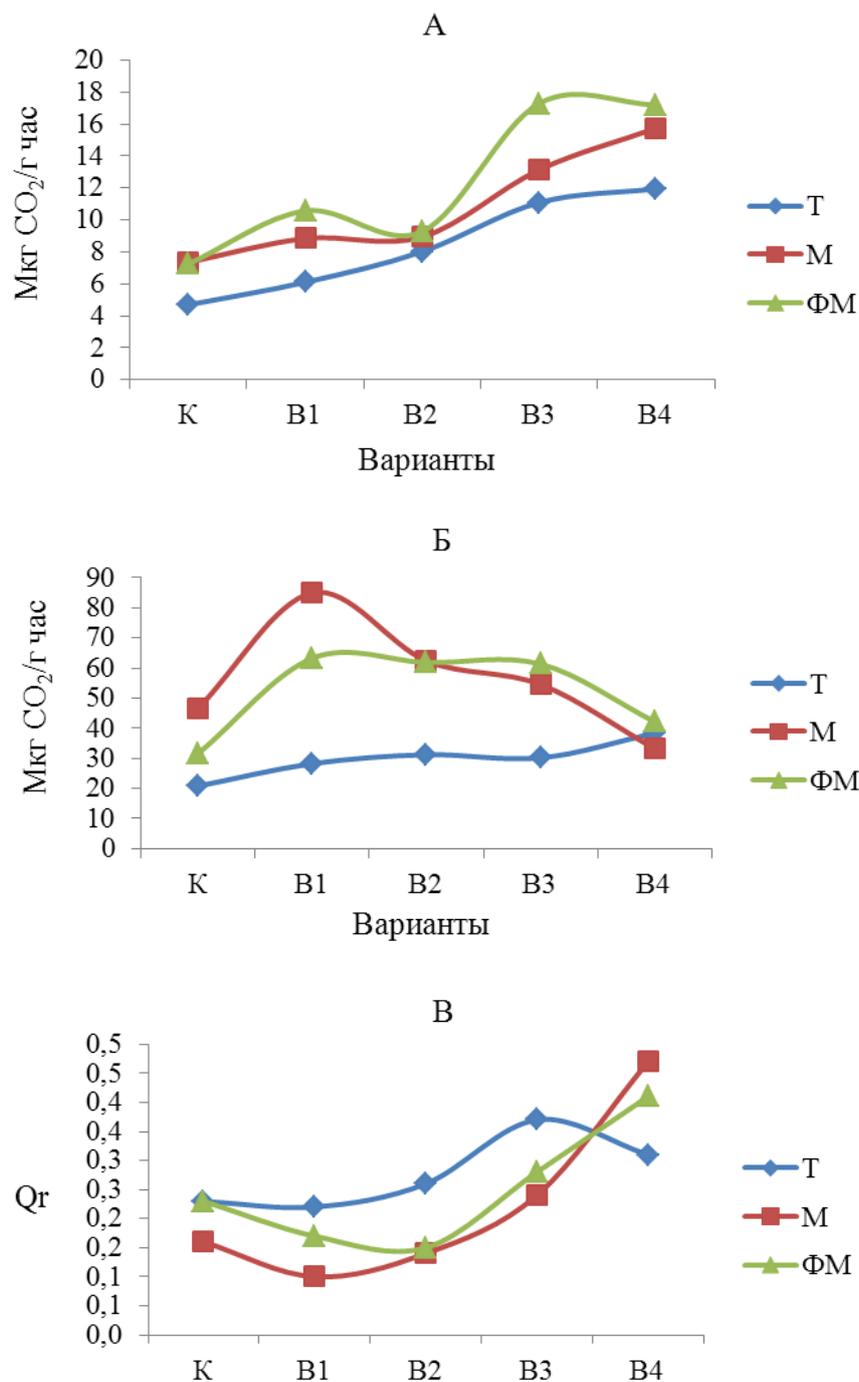


Рис. 1. Дыхательная активность СЛ почвы (А – Vбазал; Б – Vсид; В – Qr) при разных способах рекультивации: Т – техническая; М – микробиологическая; ФМ – фитомикробиологическая

Vсид характеризует активность микробного пула почвы. Внесение гранулята повышало Vсид, как чистой, так и загрязненной НП почвы. Характер изменения Vсид загрязненной СЛ почвы зависел от применяемой процедуры рекультивации. Наименьшие значения Vсид инкубированных почвенных образцов обнаруживались при технической рекультивации (28,22–38,37 мкг СО₂/г·час). Чрезвычайно высокие показатели Vсид зарегистрированы при

проведении микробиологической рекультивации (33,19–84,99 мкг CO₂/г·час). В опыте ФМ в вариантах В3 и В4 Vсид была на 12,5 и 27,0% выше, чем в опыте М, что указывает на снижение токсического пресса высоких концентраций поллютанта на микробный пул при фитомикробиологической рекультивации (рис. 1 Б).

Важным эколого-физиологическим показателем является Q_г, отражающий степень воздействия неблагоприятных климатических и антропогенных факторов на почву. Считается, что при благоприятных климатических условиях и отсутствии антропогенных воздействий величина Q_г располагается в диапазоне 0,1–0,3 [9]. Согласно значениям Q_г при Т-рекультивации в вариантах В1 и В2 микробное сообщество находится в состоянии, которое характеризуется как «нормальное», при М и ФМ-рекультивации в диапазон «нормальное» состояние входит также вариант В3. При этом в опытах по М- и ФМ-рекультивации в вариантах В1-В3 значения Q_г были ниже, чем при технической рекультивации, что указывает на повышение устойчивости микробиоты к действию антропогенных факторов в присутствии гранулята ОСВ (рис. 1В). В конце опыта в почвах исходно содержащих максимальную концентрацию НП (варианты В4) значения Q_г были ниже 0,5, что свидетельствует о возможности восстановления свойств почвы в разумный период времени при минимальных восстановительных мероприятиях [10].

В вариантах с минимальным нефтяным загрязнением эффективность разложения НП в почве составляла 32–42%. Различия в интенсивности окисления НП между технологиями были незначительны. В присутствии гранулята (М и ФМ-технологии) в вариантах В2-В4 эффективность деструкции НП была в 1,7–2,5 раза выше, чем в опыте Т, что подтверждает перспективность его использования для интенсификации процессов рекультивации нефтезагрязненных почв (рис. 2). Менее эффективное окисление НП в опыте ФМ, в сравнении с М, вероятно, связано с замедлением массообмена из-за отсутствия перемешивания почвы при культивировании растений.

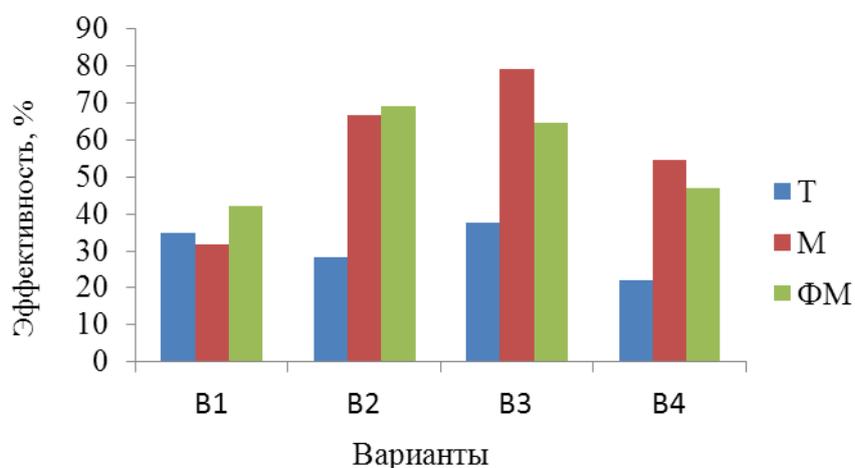


Рис. 2. Эффективность окисления НП в зависимости от технологии рекультивации и начального содержания поллютанта в СЛ почве (% от исходного загрязнения)

Внесение гранулята ОСВ повышает дыхательную активность нефтезагрязненной серой лесной почвы, снижает токсическое действие поллютанта на сообщество почвенных микроорганизмов.

1. Культивирование на загрязненной почве растений стабилизирует микробный пул почвы.

2. Показано преимущество микробиологической и фитомикробиологической рекультивации загрязненной СЛ почвы при среднем и сильном загрязнении над технической рекультивацией. При слабом нефтяном загрязнении достаточно проведение лишь технической рекультивации.

3. При выборе способа восстановления загрязненной НП следует учитывать концентрацию НП в почве и экономическую составляющую процесса рекультивации.

Библиографический список

1. Вершинина И. А., Лебедев С. В., Галактионова Л. В. Современные подходы к восстановлению загрязненных почв. DOI: 10.32743/25001949.2021.68.313842 // Вопросы современной науки : коллект. науч. монография / под ред. Н. Р. Красовской. М. : Изд-во Интернаука, 2021. Т. 68.

2. Alotaibi F., Hijri M., St-Arnaud M. Overview of Approaches to improve rhizoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils. DOI: 10.3390/applmicrobiol1020023 // Applied Microbiology. 2021. Vol. 1. No. 2. P. 329–351.

3. ГОСТ Р 54534-2011. Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель. М. : Стандартинформ, 2019. 7 с.

4. Экологический сертификат соответствия № RA.RU.11HA15.П.00114 «Удобрение органическое гранулированное на основе осадков сточных вод, изготавливаемое серийно по ТУ 37.00.20-001-03317648-2022 на очистных сооружениях канализации г. Казани». Выдано ООО «БИФАР-Экология» срок действия 16.08.2022 – 15.08.2025 г.

5. Влияние гранулята осадка сточных вод на характеристики серой лесной почвы и продуктивность растений / А. А. Утомбаева, А. М. Петров, Э. Р. Зайнулгабидинов и др. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.1.52.60 // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 1. С. 52–60.

6. Эффективность применения осадка городских сточных вод при рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы / А. А. Утомбаева, Т. В. Кузнецова, А. А. Вершинин и др. DOI: 10.36906/2311-4444/23-3/09 // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2023. Т. 63. № 3. С. 113–126.

7. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. М., 1998. 18 с.

8. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М. : МГУ, 1991. 304 с.

9. Anderson T.-H., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. Vol. 10. No. 3. P. 215–221.

10. Коэффициент микробного дыхания различных типов почв в условиях нефтяного загрязнения / А. А. Вершинин, А. М. Петров, Р. Ч. Юранец-Лужаева и др. // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 4. С. 103–106.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ В САПРОПЕЛЯХ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А. В. Сазанов¹, М. Л. Сазанова^{1,2}, Л. В. Тугаринов³

¹ *Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, usr11479@vyatsu.ru,*

² *Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия,
sazanova.m.l@ib.komisc.ru,*

³ *ГК «Агрохимпром», г. Барнаул, Россия*

Определено содержание гуминовых и фульвокислот в шести образцах сапропелей различного происхождения. Все исследованные образцы отвечают требованиям стандартов и могут быть использованы как в качестве органических удобрений, так и для изготовления гуминовых препаратов.

Ключевые слова: сапропель, гуминовые кислоты, фульвокислоты, органические удобрения, плодородие.

Для пахотных почв Кировской области характерен низкий уровень плодородия, низкое содержание гумуса, фосфора и калия [1]. Для предупреждения деградации плодородия необходимо принимать соответствующие меры, в первую очередь, агрохимические. Однако внесение минеральных удобрений ограничено их высокой стоимостью [2], в связи с чем необходимо совершенствование технологий производства удобрения, а также разработка новых видов удобрений, в том числе из переработанных отходов [3].

Сапропели – илистые отложения пресных континентальных водоемов, сформировавшиеся под воздействием биохимических, микробиологических и механических процессов, имеющие сложный органоминеральный состав [4]. По данным [5], прогнозные запасы сапропеля в России огромны – 250–255 млрд м³, однако изученность сапропелевого фонда недостаточна. В настоящее время известно более 50 000 месторождений [5], наиболее часто они встречаются в Северо-Западном и Центральном федеральном округах [6]. В Кировской области выявлены промышленные запасы сапропелей в оз. Орловском (390,91 тыс. м³) [7] и непромышленные – в оз. Старичном (4,8 тыс. м³) [8]. оба озера находятся в Кирово-Чепецком районе.

Богатый химический состав обуславливает широкое применение сапропелей и продуктов на их основе в различных отраслях народного хозяйства [5]. Значимость сапропелей как источника минеральных солей и органических компонентов была оценена в растениеводстве. Долгое время положительное влияние сапропелей на рост растений в целом предполагалось, но экспериментально не было доказано [9]. Впоследствии было достоверно установлено, что внесение содержащих сапропель субстратов стимулирует рост растений и увеличивает накопление сухого вещества [9, 10], ускоряет

проращивание и увеличивает энергию прорастания семян [11], обеспечивает положительный баланс азота и фосфора и снижает дефицит элементов [12]. Установлено мелиоративное действие сапропелей и продуктов на их основе, в частности, снижается накопление тяжелых металлов растениями, что позволяет возделывать растения на загрязненных почвах [13, 14].

Сапрпель и продукты на его основе, в том числе гуминовые препараты, привлекают потребителей, в первую очередь, с точки зрения натуральности и экологической чистоты, а также отсутствия так называемой «химии» [15]. Однако химический состав сапрпелей во многом зависит от его происхождения. Так, высокое содержание в биологическом слое сапрпелей из Якутии протеина, других органических веществ, макро- и микроэлементов предполагает их применение в качестве органических удобрений [16]. Непригодный для получения гуминовых кислот карбонатный сапрпель может быть использован в составе кормовых добавок, в качестве раскислителя почв, а также как сырьевой компонент для получения регуляторов роста растений [17].

Целью данной работы стало определение содержания гумусовых веществ (гуминовых и фульвокислот) в образцах сапрпелей различного происхождения.

Образцы для анализа предоставлены НПО «Агрохимпром» (1 – оз. Лебязье, Воронежская обл., 2 – сапрпель из нескольких озер Алтайского края, 3 – оз. Белое, Новосибирская обл., 4 – оз. Жарки, Тверская обл., 5 – сапрпель из нескольких озер Гомельской обл., Беларусь, 6 – оз. Убаговас, Резекненский край, Латвия). Анализ проведен в экоаналитической лаборатории ВятГУ в 2021–2024 гг. В каждом образце определялась массовая доля органического вещества по ГОСТ 27980; содержание гуминовых и фульвокислот (в пересчете на сухое вещество) по ГОСТ 9517-94, ГОСТ Р 54221-2010 и [18]. Также, согласно ГОСТ 54000-2010, в каждом образце определен индекс санитарно-показательных микроорганизмов, наличие патогенных и болезнетворных микроорганизмов, наличие жизнеспособных яиц и личинок гельминтов. Аналитические исследования проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку полученных результатов выполняли стандартными методами с использованием пакета программ MSExcel; достоверность различий ($p < 0,05$) оценивалась с помощью t-критерия Стьюдента.

Установлено, что для всех исследованных образцов индекс санитарно-показательных микроорганизмов не превышает 8 (по ГОСТ 54000-2010 – не более 9), патогенные и болезнетворные микроорганизмы, жизнеспособные яйца и личинки гельминтов не обнаружены. Основные результаты исследования химического состава сапрпелей приведены в таблице.

Химический состав образцов сапропелей различного происхождения

Показатель	1	2	3	4	5	6
Органическое вещество, %	68,9±2,8 ²⁻⁶	39,9±3,6	37,8±3,5	47,7±4,7	39,1±3,5	36,5±3,4
Гуминовые кислоты, %	26,2±5,9	21,2±1,9	21,5±1,5	21,7±2,2	22,9±1,9	20,7±1,7
Фульвокислоты, %	6,1±0,3	5,1±0,3	6,0±0,5	9,5±1,0 ^{1-3,6}	6,4±0,5	5,80±0,4

Примечание: достоверные отличия с соответствующими образцами обозначены верхним индексом.

По содержанию органического вещества образец 1 относится к органическому типу, образцы 2–6 – к органо-глинистому типу. По данным [14], органо-глинистый сапрпель практически не влияет на кислотно-основные свойства, фосфатное и калийное состояние супесчаной и среднесуглинистой дерново-подзолистых почв, а при внесении в дозе 30 т/га оптимизирует азотный режим, увеличивая содержание обменного аммония и нитратов. Согласно [19], извлеченные из глинистых сапрпелей гуминовые кислоты, обладающие парамагнитной активностью в сравнении с гуминовыми кислотами из сапрпелей другого типа, повышают всхожесть и энергию прорастания семян.

Наличие глинистых частиц улучшает влагоудерживающие свойства почв, но создает проблемы производителям. В случае среднего уровня наличия глинистых частиц в сырье, в процессе производства удобрений с сапрпелем практически нет проблем, но после розлива продукции в тару через 30–60 дней начинается процесс образования глобул, которые могут создавать проблемы при применении препарата в системах капельного полива или опрыскивателях. Однако высокий уровень глинистых частиц вызывает проблемы на первом этапе очистки и при экстракции; для проведения экстракции требуется повышать количество щелочи и температуру, чтобы избежать загустевания препарата, но это приводит к разрушению большинства биологически активных веществ. Проблему можно решить добавлением различных диспергаторов, но это повысит себестоимость препарата и снизит его привлекательность как экологически чистого.

Таким образом, исследованные образцы сапрпелей отвечают требованиям стандартов и могут быть использованы как в качестве органических удобрений на дерново-подзолистых почвах для повышения биологической и энергетической емкости агроценозов, так и для изготовления гуминовых препаратов.

Библиографический список

1. Молодкин В. Н., Бусыгин А. С. Плодородие пахотных почв Кировской области // Земледелие. 2016. № 8. С. 16–18.
2. Технология изготовления пастообразного гуминового удобрения из сапрпеля // Т. П. Дидковская, И. М. Мерленко, В. А. Гаврилюк, Э. В. Мельничук // Агрехимический вестник. 2010. № 1. С. 25–26.

3. Производство биоорганических удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве / А. В. Сазанов, Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2017-3-085-090 // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 85–90.
4. Лопотко М. З. Озера и сапропель. Минск : Наука и техника, 1978. 88 с.
5. Анисимова Т. Ю. Использование ресурсов торфа и сапропеля в сельском хозяйстве Нечерноземной зоны России: состояние вопроса и перспективы. DOI: 10.26178/AE.2022.76.68.004 // Проблемы агрохимии и экологии. 2022. № 1. С. 51–58.
6. Макаренко Г. Л. Природные ресурсы торфяных месторождений и озерных месторождений сапропеля экономических районов России // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 8–3. С. 45–50.
7. Антонова Т. И., Дроздов В. И., Цветков Г. А. Отчет о разведке месторождения сапропелевых лечебных грязей озера Орловское Кирово-Чепецкого района с дифференциацией эксплуатационных запасов по промышленным категориям, с целью обеспечения ресурсами здравниц Кировской области [Электронный ресурс]. – URL: <http://geol.irk.ru/izn/uk/%d0%90%d0%93%d0%93-O39-0218> (дата обращения: 05.03.2024).
8. Дроздов В. И., Тарасова Е. М. Отчет о разведке месторождения сапропелевых лечебных грязей озера Орловское Кирово-Чепецкого района с дифференциацией эксплуатационных запасов по промышленным категориям, с целью обеспечения ресурсами здравниц Кировской области [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.geol.irk.ru/izn/uk/%D0%90%D0%93-O39-669> (дата обращения: 05.03.2024).
9. Effect of freshwater sapropel on plants in respect to its growthaffecting activity and cultivable microorganism content / L. Grantina-Ievina, A. Karlsons, U. Andersone-Ozola, G. Ievinsh. DOI: 10.13080/z-a.2014.101.045 // Zemdirbyste-Agriculture. 2014. Vol. 101. No. 4. P. 355–366.
10. Никулина А.Н. Возможности использования сапропеля для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. DOI: 10.54258/20701047_2022_59_3_7 // Известия Горского государственного аграрного университета. 2022. Т. 59. № 3. С. 7–14.
11. Результаты проращивания озимой пшеницы, овса и маша с применением нового органического удобрения на основе сапропеля / А. С. Скамарохова, Р. В. Кравченко, Д. А. Юрин, А.А.Свистунов. DOI: 10.21515/1990-4665-189-006 // Научный журнал КубГАУ. 2023. № 189. С. 46–53.
12. Плотников А. М., Созинов А. В. Баланс элементов питания в севообороте при использовании сапропеля, извести, азотно-фосфорного удобрения. DOI: 10.26178/AE.2022.71.83.003 // Проблемы агрохимии и экологии. 2022. № 3–4. С. 26–31.
13. Влияние ультрадисперсной гуминовой суспензии сапропеля на рост, фотосинтетическую активность и накопление меди горохом (*Pisum sativum* L.) / В. А. Румянцев, Я. В. Пухальский, С. И. Лоскутов и др. DOI: 10.31857/S268673972111013X // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 501. № 1. С. 86–93.
14. Иванова Ж. А., Костыгова В. В., Пономарёва М. А. Скрытые резервы повышения эффективности земледелия на северо-западе России // Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве : материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Санкт-Петербург, 26–28 сентября 2018 г. СПб. : ФГБНУАФИ, 2018. С. 164–170.
15. Stankevica K., Vincevica-Gaile Z., Klavins M. Freshwater sapropel (gyttja): its description, properties and opportunities of use in contemporary agriculture // Agronomy Research. 2016. Vol. 14. No. 3. P. 929–947.
16. Слепцова Т. В., Абрамов А. Ф. Оценка сапропелевого сырья озерных месторождений Кобяйского улуса Республики Саха (Якутия) и перспективы его использования в сельскохозяйственном производстве. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-46-51 // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7. С. 46–51.

17. Использование торфа и сапропеля для получения гуминового регулятора роста растений / Б. В. Курзо, И. В. Кляуззе, М. В. Ворона и др. DOI: 10.47612/2079-3928-2022-1-136-145 // Природопользование. 2022. № 1. С. 136–145.

18. Пат. 268 741. РФ, МПК G01N 31/02 (1995.01). Способ получения препаратов гуминовых и фульвокислот из почв : № 1258774/30-15 : заявл. 18.07.1968 : опубл. 10.04.1970 / Андреевас З. Ф., Колосов И. В., Соломинская Б. А. 2 с.

19. Биологическая активность гумусовых кислот донных отложений озер Среднего Приобья / Н. В. Шпынова, М. П. Сартаков, Л. Н. Барабанщикова, О. В. Рыбачук. DOI: 10.51419/202132222// АгроЭкоИнфо. 2023. № 2 (56). [Электронный ресурс]. – URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/2/st_222.pdf (дата обращения: 05.03.2024).

СЕКЦИЯ 6 ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПРОКАРИОТ АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ДЕРНОВОЙ ПОЧВЫ ЗАПОВЕДНИКА «НУРГУШ»

Н. А. Боков^{1,2}, И. Г. Широких^{2,3}

¹ *Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, nikita-bokov@mail.ru,*

² *Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия,*

³ *ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия, irgenal@mail.ru*

Проведена оценка филогенетического и функционального разнообразия прокариот аллювиальной дерновой почвы ГПЗ «Нургуш». С помощью программного комплекса MicFunPred и баз данных KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes) и COG (Clusters of Orthologous Genes) выполнен анализ возможных функциональных генов и метаболических путей бактериального сообщества.

Ключевые слова: прокариоты, филогения, 16S рРНК, ампликонное секвенирование, MicFunPred, KEGG, COG, метаболические функции.

В последние годы стремительно развиваются метагеномные подходы, прогнозирующие метаболические функции микробных сообществ с использованием таксономических профилей [1–3]. Для прогнозирования функционального разнообразия метагеномов доступны различные инструменты, которые с использованием геномных баз (IMG, KEGG, COG, NCBI и пр.) ассоциируют получаемые при секвенировании комплексные наборы транскрибированных последовательностей с определенными функциональными генами. Такой подход позволяет идентифицировать конкретные ферменты и составить представление о вероятной модели функционирования микробных сообществ в окружающей среде [4].

Изучение микробного разнообразия и его функционального потенциала на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) позволяет оценить специфику микробиоты почв различных типов, характерных для данных природно-климатических условий, в отсутствие нарушающих антропогенных воздействий и использовать результаты для сравнения с техногенно нарушенными экосистемами. Новый биоинформатический инструментарий уже применяют при оценке влияния климатических изменений на состояние поч-

венных микробиомов [5–7] и для выявления последствий воздействия на почвенный микробиом ксенобиотиков [8].

Цель исследования – оценить, с использованием двух различных геномных баз, филогенетическое и функциональное разнообразие прокариот в почве ООПТ «Нургуш», часто используемой в экологических исследованиях в качестве природного аналога техногенно нарушенных почв

Участок отбора образцов находился в центральной части Кировской области, на территории Государственного природного заповедника «Нургуш» (57°58'–58°04' с. ш.; 48°24'–48°31' в. д.) и представлял собой липняк с примесью дуба. Подготовку проб, выделение и очистку ДНК, ампликонное секвенирование 16SpPHK на приборе Illumina MiSeq (Illumina, США) осуществляли в Центре коллективного пользования «Геномные технологии, метагеномика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ (Санкт-Петербург, г. Пушкин).

Первичную обработку полученных сиквенсов проводили с использованием автоматизированного алгоритма QIIME 2 [9]. Дальнейшую таксономическую классификацию полученных ASV проводили с помощью программного комплекса MicFunPred, использовали базу данных BLAST (Basic Local Alignment Search Tool), последовательности атрибутировали с таксонами на уровне рода. Порог классификации составлял 97% [3]. С помощью MicFunPred был спрогнозирован функциональный профиль метагенома на основе семейств ортологичных генов KEGG (KO) (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes) и на основе кластеров генов COG (Clusters of Orthologous Genes). Для анализа и визуализации полученных данных использовали пакет программ Microsoft Excel и веб-сервис MicrobiomeAnalyst 2.0 [10].

Общее количество ASV в анализируемых образцах составило 5575. С использованием базы данных BLAST, были выявлены представители 11 бактериальных филумов (рис. 1).

Доминировали по относительному обилию ASV в общем микробном разнообразии филумы Actinobacteria (36%), Proteobacteria (32%), Firmicutes (15%), Bacteroidetes (11%), доля каждого из остальных филумов была ниже 10%. Такое распределение прокариот на уровне филумов, в целом, довольно типично для лесных почв. Особенностью аллювиальной почвы заповедника явилось низкое участие (3%) в филогенетической структуре прокариот представителей филума Acidobacteria, доминантное положение которых отмечалось ранее в работах [5, 6]. На уровне отдельных родов в микробном сообществе исследуемой почвы доминировали *Sphingomonas* (8%), *Bacillus* (7%), *Paenibacillus* (6%), *Solirubrobacter* (6%), *Pseudonocardia* (3% от общего количества ASV.)

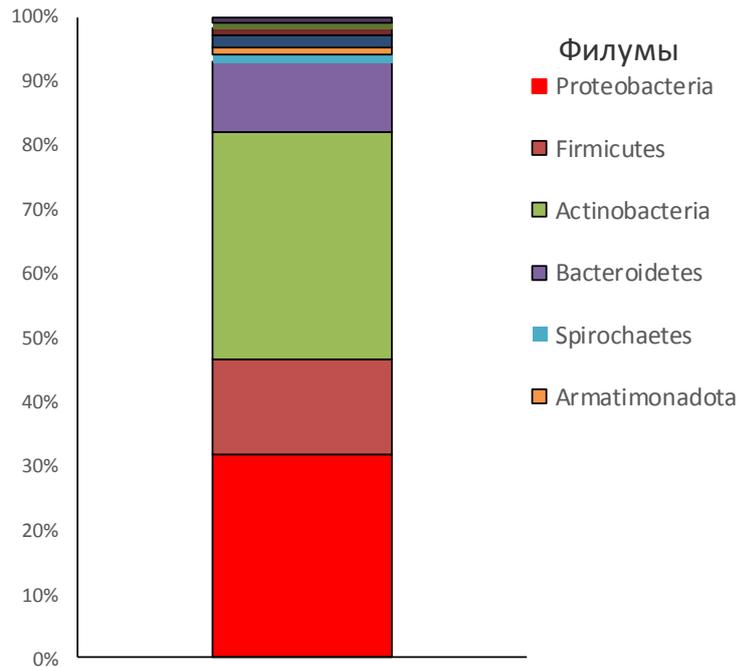


Рис. 1. Структура прокариотного сообщества аллювиальной дерновой почвы ГПЗ «Нургуш» на уровне филумов

Метагеномика может дать первоначальную картину физиологических свойств микробных консорциумов. На основе таксономического состава прокариотного сообщества был сделан прогноз его метаболического потенциала. Чтобы оценить функциональные особенности исследуемой почвы сравнивали полученные данные по таксономии с имеющимися для прокариот в базах данных COG и KEGG. Сравнение последовательностей дало 2673249 совпадений по генам для базы данных KEGG и 3695773 совпадений для базы COG. Автоматизированным алгоритмом гены были распределены между 22 функциональных категорий базы COG. Из них 9,8% генов были отнесены к категории, для которой спрогнозированы только общие функции. Среди других с транспортом и метаболизмом аминокислот связаны 12,4% генов. Гены, задействованные в биогенезе и трансляционной структуре рибосом составили 7,7%, в транспорте и метаболизме неорганических ионов – 8,2%, транспорте и метаболизме углеводов – 7%, производстве и преобразовании энергии в клетке – 6,6%, транспорте и метаболизме коферментов – 6,2%, биогенезе клеточной стенки – 5,3%. Но долю генов, ответственных в клетке за процессы репликации, рекомбинации и репарации, приходилось 5,2%. Доля генов с неизвестными функциями составила 5,1%. Иные категории занимали менее 5% от общего количества идентифицированных генов (рис. 2).



Рис. 2. Относительное содержание кластеров генов COG, распределенных по функциональным категориям, в прокариотном сообществе аллювиальной дерновой почвы ГПЗ «Нургуш»

Сравнение полученных последовательностей с представленными в геномной базе KEGG, позволило распределить их между 11 метаболическими путями. К метаболизму аминокислот из них отнесены 26,4%, к углеводному метаболизму – 20,1%. Доля путей энергетического обмена составила 12,7%, метаболизма кофакторов и витаминов – 11,9%, нуклеотидного и липидного обмена – соответственно 7,6 и 7,3%. Доля выявленных совпадений, связанных с процессами биodeградации ксенобиотиков, составила 5,6%, с метаболизмом терпеноидов и поликетидов – 3,8%, с биосинтезом иных вторичных метаболитов – 2,4%, с биосинтезом и метаболизмом гликанов – 2,2% (рис. 3).

Обращает на себя внимание высокое содержание последовательностей, атрибутированных с генами, отвечающими за углеводный обмен – более 20% от общего количества. Это может свидетельствовать об активном участии почвенных прокариот в процессах разрушения/синтеза природных углеродсодержащих полимеров (глюканов, целлюлозы, лигнина, хитина). Полученное значение оказалось выше известных из литературы – 12% [11]. Также обращает на себя внимание довольно низкая представленность генов, отвечающих за разложение ксенобиотиков, – менее 6%, тогда как по литературным данным, их доля в почвенных сообществах варьирует от 6 до 8,5% [8, 11, 12]. Вероятно, это следствие благоприятной экологической обстановки на обследуемой территории заповедника, при отсутствии в почве ксенобиотиков и других загрязняющих веществ.

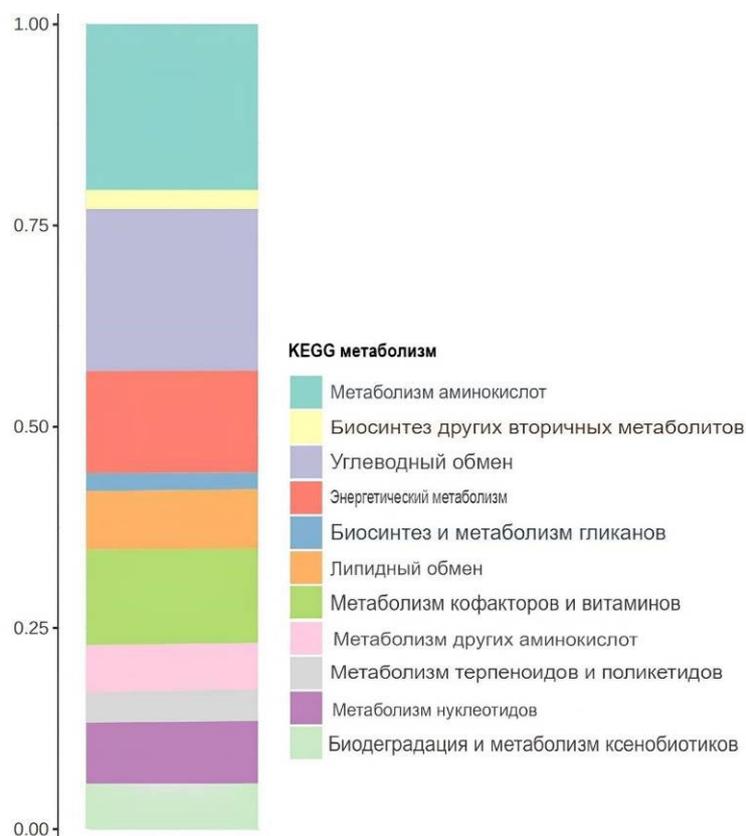


Рис. 3. Относительное содержание семейств ортологичных генов KEGG, распределенных по метаболическим путям, в прокариотном сообществе аллювиальной дерновой почвы ГПЗ «Нургуш»

Таким образом, на основе биоинформатического анализа данных ампликонного секвенирования 16S рРНК, проведена оценка не только филогенетического, но и прогностически охарактеризовано функциональное разнообразие бактериального сообщества, что, до определенной степени, проливает свет на метаболические процессы, происходящие в данной почве и экосистеме в целом.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги» (государственная регистрация в ЕГИСУ № 122040100032-5).

Библиографический список

1. Tax4Fun2: prediction of habitat-specific functional profiles and functional redundancy based on 16S rRNA gene sequences / F. Wemheuer, J. A. Taylor, R. Daniel et al. DOI: 10.1186/s40793-020-00358-7 // Environ. Microbiomes. 2020. Vol. 15. No. 11. P. 1–12.
2. PICRUSt2 for prediction of metagenome functions / G. M. Douglas, V. J. Maffei, J. R. Zaneveld et al. DOI: 10.1038/s41587-020-0548-6 // Nat. Biotechnol. 2020. Vol. 38. P. 685–688.
3. MicFunPred: A conserved approach to predict functional profiles from 16S rRNA gene sequence data / D. S. Mongad, N. S. Chavan, N. P. Narwade et al. DOI: 10.1016/j.ygeno.2021.08.016 // Genomics. 2021. Vol. 113. No. 6. P. 3635–3643.

4. Miller D., Stern A., Burstein D. Deciphering microbial gene function using natural language processing. DOI: 10.1038/s41467-022-33397-4 // Nat. Commun. 2022. Vol. 13. P. 1–11.
5. The Transcriptional Response of Soil Bacteria to Long-Term Warming and Short-Term Seasonal Fluctuations in a Terrestrial Forest / R. P. Chowdhury, S. M. Golas, L. V. Alteio et al. DOI: 10.3389/fmicb.2021.666558 // Front. Microbiol. 2021. Vol. 12. P. 1–16.
6. Lee B. J., Eo S. H. Comparison of soil bacterial diversity and community composition between clear-cut logging and control sites in a temperate deciduous broad-leaved forest in Mt. Sambong, South Korea. DOI: 10.1007/s11676-019-01006-8 // J. For. Res. 2020. Vol. 31. P. 2367–2375.
7. Microbial functional genes influenced by short-term experimental drought across European agricultural fields / K. Kozjek, L. Manoharan, D. Ahrén, K. Hedlund. DOI: 10.1016/j.soilbio.2022.108650 // Soil Biol. Biochem. 2022. Vol. 168. Article No. 108650.
8. Hur M., Park S. J. Identification of microbial profiles in heavy-metal-contaminated soil from full-length 16S rRNA reads sequenced by a PacBio System. DOI: 10.3390/microorganisms7090357 // Microorganisms. 2019. Vol. 7. P. 1–15.
9. Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2 / E. Bolyen, J. R. Rideout, M. R. Dillon et al. DOI: 10.1038/s41587-019-0209-9 // Nat. Biotechnol. 2019. Vol. 37. No. 8. P. 852–857.
10. MicrobiomeAnalyst 2.0: comprehensive statistical, functional and integrative analysis of microbiome data / Y. Lu, G. Zhou, J. Ewald et al. DOI: 10.1093/nar/gkad407 // Nucleic Acids Res. 2023. Vol. 51. P. 310–318.
11. Metagenomic analysis of microbial consortia enriched from compost: new insights into the role of Actinobacteria in lignocellulose decomposition / C. Wang, D. Dong, H. Wang et al. DOI: 10.1186/s13068-016-0440-2 // Biotechnol. Biofuels. 2016. Vol. 22. P. 1–17.
12. Evidence of cellulose metabolism by the giant panda gut microbiome / L. Zhu, Q. Wu, J. Dai et al. DOI: 10.1073/pnas.1017956108 // J. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2011. Vol. 108. No. 43. P. 17714–17719.

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ ШТАММОМ *STREPTOMYCES* SP. КР-10 НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МИКРОРАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ

С. Э. Мокрушина^{1,2}, Р. И. Абубакирова², И. Г. Широких²

¹ Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, sveta.flouni@gmail.com,

² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, irgenal@mail.ru

Изучено влияние штамма *Streptomyces* sp. КР-10 на картофель сорта Аленушка при инокуляции *in vitro*. Анализ результатов показал, что инокуляция меристемных растений картофеля штаммом КР-10 (титр суспензии 10⁵ кл./мл) стимулировала рост побега в длину на 48%, увеличивала количество листьев на 33%, количество междоузлий – на 77%, сухую биомассу – на 30% по сравнению с контролем.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, меристемные растения, стрептомицеты, ризосфера, инокуляция, клональное микроразмножение.

Устойчивое земледелие характеризуется минимализацией химических нагрузок на почвы, в качестве альтернативы химическим удобрениям применяются «природные» биопрепараты. Использование химических удобрений ведет к обеднению почвенного микробного сообщества, к снижению плодородия почв и ухудшению фитосанитарной ситуации [1].

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является важнейшей продовольственной, кормовой и технической культурой. Для повышения урожайности и снижения заражения семенного материала фитопатогенами используют методы оздоровления *in vitro* с последующим клональным микроразмножением [2]. Традиционные подходы основаны на поиске химических, физических или генетических параметров культивирования. Возможность применения биологических факторов менее изучена. В настоящее время проводятся исследования по изучению возможности использования полезных форм микроорганизмов для повышения продуктивности и улучшения качества продукции сельскохозяйственных культур. Микроорганизмы, присутствующие в тканях растений и в ризосферной почве, играют ключевую роль в росте и развитии растений, поэтому они ценятся как важный и перспективный инструмент для устойчивого сельского хозяйства [3].

Для повышения выхода оздоровленного материала возможна инокуляция меристемных клонов ростстимулирующими бактериями [2]. Микроорганизмы способны осуществлять целый ряд функций: повышать устойчивость растений к стрессам, улучшать минеральное питание растений, фиксировать атмосферный азот, стимулировать рост растений, подавлять фитопатогенную микрофлору. Большой интерес представляют почвенные и ризосферные бактерии рода *Streptomyces* [4], которые способствуют росту растений, продуцируя витамины, адаптогены и регуляторы роста [5, 6]. Благодаря большому количеству вторичных метаболитов, применяемых в сельском хозяйстве, они имеют потенциал в биоконтроле и получении здоровой органической продукции.

Цель работы – изучить влияние штамма *Streptomyces* sp. КР-10 на оздоровленные *in vitro* меристемные растения сорта Аленушка.

В работе использовали штамм *Streptomyces* sp. КР-10, выделенный из ризосферы крапивы (*Urtica dioica* L.), и меристемные растения картофеля сорта Аленушка. Выбранный штамм стрептомицета характеризовался способностью к продукции ауксинов ($18,7 \pm 1,0$ мкг/мл) и высокой скоростью радиального роста ($65,7 \pm 8,8$ мкм/ч). Актиномицет культивировали в жидкой питательной среде Гаузе 1 при 24 °С в течение 7 суток на качалке (120 об./мин). Для инокуляции использовали суспензию с титром 10^5 и 10^4 КОЕ в 1 мл. Меристемные растения выращивали на среде Мурасиге и Скуга без гормонов с добавлением 20 г/л сахарозы.

Инокуляцию производили путем обмакивания микрочеренка в жидкую суспензию бактерий. Контролем служили необработанные растения. В каждом варианте инокулировали по 15 растений. Инкубацию осуществляли, как описано в [5]. На 14-е и 43-и сутки учитывали следующие морфометрические по-

казатели: высоту побега, количество листьев и междоузлий, сухую биомассу растений.

Через 14 суток культивирования в варианте инокуляции суспензией с титром 10^5 было отмечено увеличение высоты побега на 55%, количества листьев на 14% и междоузлий на 62% по сравнению с контролем (табл.).

Таблица

Морфометрические показатели картофеля Аленушка при инокуляции штаммом *Streptomyces* sp. КР-10

Показатели	Варианты		
	Контроль без инокуляции	Титр суспензии <i>Streptomyces</i> sp. КР-10	
		10^5	10^4
Высота побега, мм	$50,8 \pm 11,07$	$75,1 \pm 16,13$	$55,8 \pm 13,72$
	$20,2 \pm 8,15$	$31,5 \pm 9,1$	$17,1 \pm 5,78$
Количество листьев, шт	$8,2 \pm 1,61$	$10,9 \pm 1,87$	$8,4 \pm 1,56$
	$4,3 \pm 0,84$	$4,9 \pm 0,79$	$4,6 \pm 0,63$
Число междоузлий, шт	$4 \pm 1,1$	$7,1 \pm 1,91$	$4,9 \pm 1,58$
	$1,3 \pm 0,47$	$2,1 \pm 0,45$	$1,2 \pm 0,41$
Сухая биомасса, г	0,53	0,69	0,48

Примечание: в числителе приведены значения показателей на 43 сутки, в знаменателе – на 14 сутки роста.

В данном варианте растения визуально отличались от остальных более вытянутыми побегами (рис.). В варианте инокуляции суспензией с титром 10^4 морфометрические показатели растений достоверно не отличались от контроля.

На 43 сутки культивирования в варианте с обработкой растения суспензией актиномицета с титром 10^5 , наблюдали увеличение высоты побега на 48%, количества листьев на 33% и междоузлий на 77% по сравнению с контролем. В варианте инокуляции суспензией с титром 10^4 морфометрические показатели растений, как и на 14 сутки, достоверно не отличались от контроля. Сухая биомасса растений картофеля в результате обработки суспензией с титром 10^5 увеличилась на 30%, при обработке титром 10^4 , напротив, уменьшилась на 9,5%.

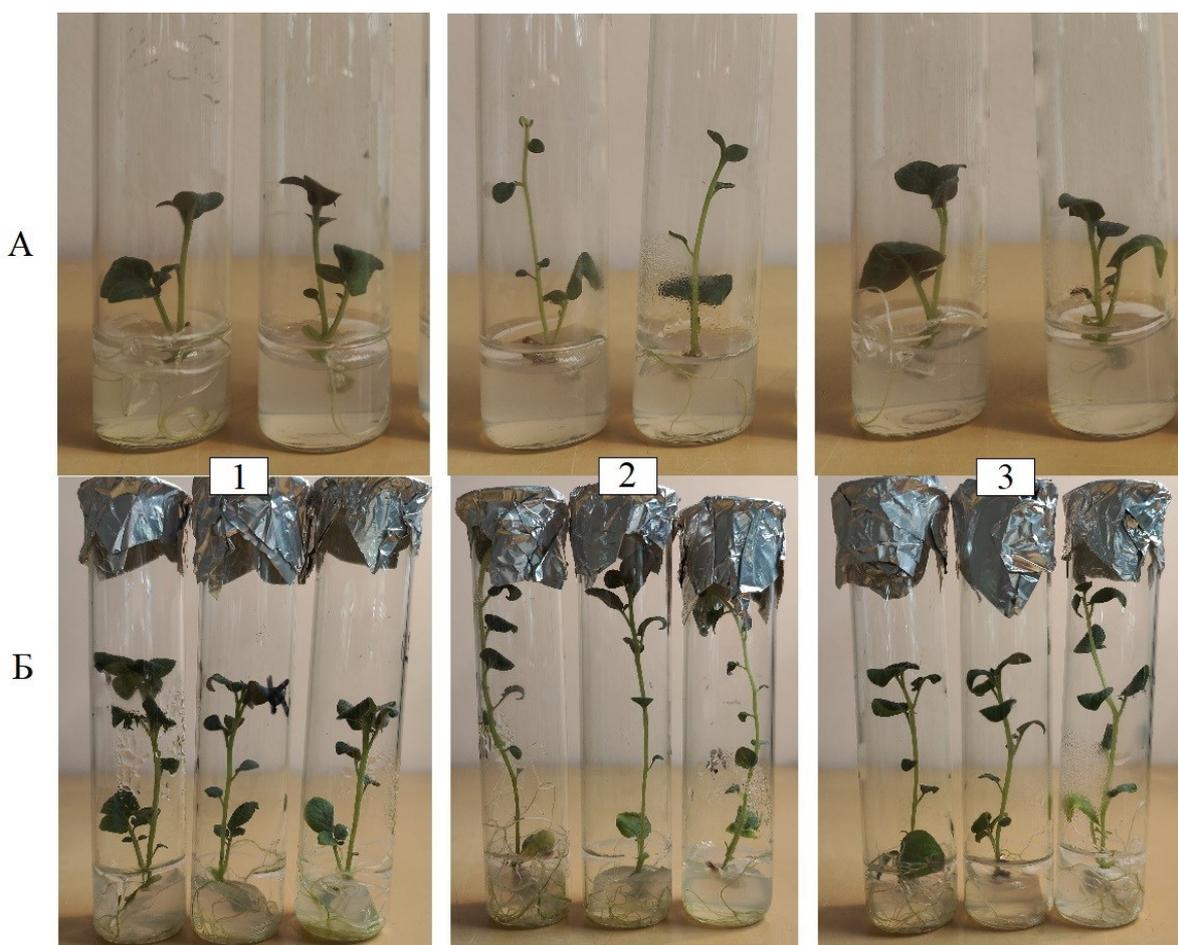


Рис. Общий вид меристемных растений картофеля на 14 сутки (А), 43 сутки (Б) экспозиции. Варианты: 1 – контроль, 2 – инокуляция суспензией *Streptomyces* sp КР-10 с титром 10^5 , 3 – инокуляция суспензией с титром 10^4

Таким образом, анализ морфометрических показателей микрорастений картофеля Аленушка показал положительное влияние инокуляции штаммом *Streptomyces* sp. КР-10: улучшался рост побегов, и увеличивалось накопление биомассы. Значимое увеличение морфометрических показателей наблюдали при инокуляции суспензией стрептомицета с титром 10^5 кл./мл, в то время как при инокуляции суспензией с титром 10^4 не наблюдалось значимых различий с контрольными растениями. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности микроклонального размножения оздоровленного материала картофеля в семеноводстве.

Библиографический список

1. Влияние инокуляции клубней картофеля бактериями рода *Bacillus* на популяцию ризосферных микроорганизмов / В. С. Масленникова, В. П. Цветкова, С. М. Нерсисян и др. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-62-1-46-55 // Вестник НГАУ. 2022. № 1. С. 46–55.
2. Повышение эффективности клонального микроразмножения картофеля при инокуляции ризосферными бактериями *Azospirillum baldaniorum* Sp245 и *Ochrobactrum cytisi* IPA7.2 / К. Ю. Каргаполова, О. В. Ткаченко, Г. Л. Бурыйгин и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26. № 5. С. 422–430.

3. Рост и развитие микрорастений картофеля *in vitro* под влиянием метаболитов бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород / Н. О. Ренёв, В. А. Мальчевский, А. М. Субботин, С. А. Петров // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28. № 3. С. 435–442.

4. Доолоткелдиева Т., Сандра Т. К. Биоинокулянты на основе ризосферных *Streptomyces* для устойчивого сельского хозяйства // Актуальная биотехнология. 2020. № 3. С. 262–265.

5. Бакулина А. В. Назарова Я. И., Широких И. Г. Изучение влияния *Streptomyces antimycoticus* 8A13 на растения картофеля, зараженные бактерией *Clavibacter michiganensis* СММ 1519 // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Киров, 4–5 апреля 2021 года. Киров : ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, 2021. С. 293–297.

6. Григорян Л. Н., Батаева Ю. В. Экологические особенности и биотехнологические возможности почвенных актинобактерий (обзор) DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-006-019 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 6–19.

РОСТ И АНТИФУНГАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ БАКТЕРИЙ РОДА *STREPTOMYCES* НА СРЕДЕ С ТЕРПЕНОФЕНОЛОМ

И. Г. Широких¹, Я. И. Назарова²

¹ *ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия, irgenal@mail.ru,*

² *Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия*

Изучали накопление биомассы и антагонистическую активность культур *Streptomyces* spp. 8A13 и Т-2-20 при глубинном культивировании на средах, содержащих в компонентном составе терпенофенол (1,2-дигидрокси-6-изоборнил-4-метилбензол). Результаты представляют интерес в связи с разработкой биологических препаратов для стимуляции роста и защиты растений.

Ключевые слова: стрептомицеты, накопление биомассы, ингибирование роста, антифунгальное действие, терпенофенолы.

Создание новых композитных биопрепаратов на основе агрономически полезных микроорганизмов и природных соединений является приоритетным направлением экологизации сельского хозяйства. Терпены и терпеноиды имеют среди природных биоактивных соединений наибольшее количество представителей и характеризуются структурным разнообразием [1]. С разнообразием структур терпеновых соединений связан широкий спектр их биологического действия [2, 3]. Углеродные цепи отдельных терпенов являются ключевыми промежуточными продуктами биосинтетических путей таких биологически активных веществ, как витамины Д, Е, К, гормоны – абсцизовая кислота, экдистероны и гиббереллины, ферменты, антиоксиданты [4, 5]. Интерес к исследованиям по взаимодействию этих соединений с различными биологическими системами обусловлен практическими потребностями различных отраслей сельскохозяйственного производства.

Бактерии рода *Streptomyces* являются источниками большинства (около 60%) биоактивных соединений, разработанных для использования в сельском хозяйстве [6]. Почвенные стрептомицеты синтезируют широкий спектр физиологически активных соединений (антибиотики, фитогормоны, сидерофоры, витамины и т.д.), что позволяет им эффективно взаимодействовать с растением, а также контролировать численность фитопатогенных микроорганизмов [7, 8]. По сравнению с другими группами почвенных микроорганизмов, среди стрептомицетов наиболее велика доля стимуляторов роста растений [9].

Исследования, направленные на изучение влияния терпенов, как компонента питательной среды, на представителей рода *Streptomyces* обусловлены практическими потребностями растениеводства.

Целью работы являлось определение накопления биомассы и антагонистической активности двух перспективных штаммов *Streptomyces* spp. при глубинном культивировании на среде, содержащей в компонентном составе терпенофенол в различных концентрациях.

Объектами исследования в работе служили штаммы с выраженным антифунгальным (*Streptomyces* sp. 8A13) и ростстимулирующим (*Streptomyces* sp. T-2-20) действием. Культуры выращивали в колбах с жидкой минеральной средой Гаузе 1 на качалке (120 об./мин) при 20 ± 2 °С в течение 10 сут. Терпенофенол – 1,2-дигидрокси-6-изоборнил-4-метилбензол – вводили в среды в концентрациях от $7,0\times 10^{-5}$ до $7,0\times 10^{-2}$ мг/мл. Препарат был получен и представлен для исследований Институтом химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). В контроле культуры выращивали на среде без добавления терпенофенола. Накопление биомассы бактерий определяли гравиметрически, для чего мицелиальную биомассу отделяли от культуральной жидкости фильтрованием через бумажный фильтр, который высушивали при 105 °С до постоянного веса.

Для определения антагонистической активности культуры фитопатогенных тест-грибов *Fusarium avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. culmorum*, *F. proliferatum*, *F. moniliformum*, *Alternaria* sp. высевали газоном на солодовый агар в чашках Петри и раскладывали на поверхности стерильные диски из фильтровальной бумаги. На диски наносили по 10 мкл культуральных фильтратов каждого из стрептомицетов, выращенных на средах с различным содержанием терпенофенола. Измеряли диаметры зон ингибирования роста гриба вокруг бумажного диска.

Все эксперименты выполняли в трехкратной повторности. В таблицах представлены средние арифметические значения и их стандартные отклонения.

В присутствии терпенофенола в низких концентрациях ($7,0\times 10^{-5}$ и $7,0\times 10^{-4}$ мг/мл) наблюдали увеличение выхода мицелиальной биомассы бактерий (табл. 1).

Таблица 1

**Накопление сухой биомассы бактериями в зависимости
от содержания в среде терпенофенола**

Штамм	Контроль	Добавление в среду терпенофенола в концентрациях, мг/мл			
		0,000077	0,00077	0,0077	0,07
8A13	0,152±	0,157±	*0,167±	0,159±	0,153±
	0,012	0,009	0,014	0,012	0,009
T-2-20	0,231±	0,298±	0,203±	0,160±	0,276±
	0,023	0,028*	0,031	0,029	0,047

Примечание: * – различия с контролем достоверны при $p < 0,05$.

Антагонистическая активность штамма-антагониста *Streptomyces* sp. 8A13 в отношении фитопатогенных грибов в присутствии терпенофенола в низких концентрациях не изменялась, при более высоких ($7,0 \times 10^{-3}$ и $7,0 \times 10^{-2}$ мг/мл) – снизилась в отношении грибов *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *P. proliferatum* и *Alternaria* sp. по сравнению с контролем, выращенном на среде без введения терпенофенола (табл. 2).

Таблица 2

**Антифунгальная активность *Streptomyces* spp. в зависимости
от концентрации терпенофенола в культуральной среде**

Концентрация терпенофенола в среде, мг/мл	Зоны подавления роста тест-культур грибов, мм					
	<i>F. avenaceum</i>	<i>F. oxysporum</i>	<i>Alternaria</i> sp.	<i>F. moniliformum</i>	<i>F. culmorum</i>	<i>F. proliferatum</i>
<i>Streptomyces</i> sp. 8A13						
0,00007	20,7±2,4	9,7±0,6	24,7±4,1	10,0±0	12,0±2,0	12,7±1,2
0,0007	16,7±1,5	14,7±1,2	26,0±3,5	9,3±1,2	18,7±1,2	16,7±3,1
0,007	15,0±3,0*	9,3±2,3*	25,3±4,1	10,7±1,2	6,7±1,2	8,0±0*
0,07	13,7±3,2*	20,0±4,0	21,3±1,2*	9,3±1,2*	10,3±4,0*	6,0±0*
Контроль	24,7±1,2	18,0±0	30,7±1,2	12,7±1,2	18,7±1,2	12,7±1,2
<i>Streptomyces</i> sp. T-2-20						
0,00007	0	0	0	0	16,0±0	0
0,0007	0	0	0	0	16,0±0	0
0,007	10,0±0*	0	10,7±1,5*	0	16,0±0	10,7±1,5*
0,07	0	0	0	0	16,7±1,5	10,7±1,5*
Контроль	0	0	0	0	18,7±1,5	0

Примечание: * – различия с контролем достоверны при $p < 0,05$.

При тестировании культуральных фильтратов штамма *Streptomyces* sp. T-2-20, выделенного, в основном, по фитостимулирующим, а не антагонистическим свойствам, зоны ингибирования появились только в отношении тест-культур грибов *F. avenaceum*, *F. proliferatum* и *Alternaria* sp. в результате введения в среду терпенофенола в концентрации 0,007 мг/мл. При увеличении концентрации препарата до 0,07 мг/мл, антагонизм *Streptomyces* sp. T-2-20 сохранился в отношении гриба *F. proliferatum*.

Полученные результаты представляют интерес в связи с разработкой биологических препаратов для стимуляции роста и защиты растений от вредоносных инфекций.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги» (государственная регистрация в ЕГИСУ № 122040100032-5) и, частично, в рамках государственного задания «Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» № FNWE-2022-0005.

Библиографический список

1. Хуршайнен Т. В., Скрипова Н. Н., Кучин А. В. Высокоэффективная технология комплексной переработки растительного сырья и получение препаратов для сельского хозяйства // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 46–49.
2. Семенов А. А. Очерк химии природных соединений. Новосибирск: Наука, 2000. 77 с.
3. Регуляторы биоценологических взаимодействий и их применение / Ю. С. Корзинников, М. Ю. Петров, В. Н. Голубев, Е. Н. Голованова // Сельскохозяйственная биология. 2005. № 5. С. 24–27.
4. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds / N. Dudareva, A. Klempien, K. Muhlemann, I. Kaplan. DOI: 10.1111/nph.12145 // New Phytol. 2013. Vol. 198. P. 16–32.
5. Singh B., Sharma R. A. Plant terpenes: defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications. DOI: 10.1007/s13205-014-0220-2 // Biotech. 2015. Vol. 5. P. 129–151.
6. Shanthi V. Actinomycetes: Implications and prospects in sustainable agriculture. DOI: 10.1002/9781119724995.ch1 // Biofertilizers: Study and impact. 2021. P. 335–370.
7. Shrivastava P., Kumar R. Actinobacteria: Eco-friendly candidates for control of plant diseases in a sustainable manner. DOI: 10.1016/B978-0-444-63994-3.00005-9 // New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Elsevier. 2018. P. 79–91.
8. Vurukonda S. S. K. P., Giovanardi D., Stefani E. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. DOI: 10.3390/ijms19040952 // Int. J. Mol. Sci. 2018. Vol. 19. No. 4. P. 952.
9. Hamed J., Mohammadipanah F. Biotechnological application and taxonomical distribution of plant growth promoting actinobacteria. DOI: 10.1007/s10295-014-1537-x // J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 2015. Vol. 42. No. 2. P. 157–171.

ПОТЕНЦИАЛ ГРИБА *SHIZOPHILLUM COMMUNE* В ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ

Н. А. Боков^{1,2}, И. Г. Широких²

¹ Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, nikita-bokov@mail.ru,

² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, irgenal@mail.ru

Изучали целлюлазную активность базидиального гриба *Shizophillum commune* (Fr.) OE 22 в монокультуре и при совместном культивировании с целлюлозолитическим штаммом *Streptomyces thermocarboxydus* 1.3. При глубинном культивировании активность целлюлазы в бинарной ассоциации была в три раза выше, чем у гриба, и на 54% выше, чем у *S. thermocarboxydus* 1.3 в

монокультурах. Убыль исходной биомассы в модельном эксперименте по разложению соломы бинарной культурой гриба и бактерии составила за три недели 29%.

Ключевые слова: щелелистник обыкновенный, *Streptomyces*, целлюлазная активность, бинарные культуры, деградация соломы.

Совместное культивирование двух и/или более микроорганизмов сегодня активно изучается в целях увеличения выхода ценных микробных метаболитов или получения новых, которые в монокультурах эти микроорганизмы не производили. Для увеличения продукции целлюлазы в литературе чаще всего встречается информация о совместном культивировании двух грибных культур [1–3]. В отношении совместного выращивания грибов с актиномицетами или клеточными бактериями в литературе имеется информация об их антагонистических взаимодействиях, а также индукции синтеза пигментов (меланин, индол, флавоноиды и каротиноиды) [4]. Информации о совместном культивировании базидиальных грибов и актиномицетов для максимизации выхода целлюлазы и переработки целлюлозных отходов в доступной нам литературе не найдено.

Кандидатным видом среди базидиальных грибов для создания микробных препаратов, нацеленных на переработку пожнивных остатков, является щелелистник обыкновенный – *Shizophillum commune* (Fr.) OE 22, обладающий ценными биотехнологическими свойствами [4, 5]. Щелелистник относится к ксилотрофным грибам и способен перерабатывать лигнин, целлюлозу и гемицеллюлозу [6]. Руководствуясь сведениями о возможном синергетическом действии бактериальных и грибных целлюлаз [7], в качестве бактериального компонента для получения искусственной грибо-бактериальной ассоциации был взят стрептомицет-целлюлозолитик *Streptomyces thermocarboxydus* 1.3 [8, 9].

Цель работы – оценить способность бинарной ассоциации, состоящей из *Shizophillum commune* (Fr.) OE 22 и *S. thermocarboxydus* 1.3, продуцировать целлюлазы и перерабатывать пожнивные остатки, в частности солому ячменя.

Штамм стрептомицета для создания бинарной бактериально-грибной культуры предварительно наращивали в колбах объемом 250 мл (объем среды 50 мл), с жидкой питательной средой Гаузе 1 (г/л): K_2HPO_4 – 2, NaCl – 0,5, KNO_3 – 1,00, $FeSO_4 \times 7H_2O$ – 0,01, крахмал – 20 [10]. Культуру гриба получали на твердой питательной среде Чапека, осуществляя процесс культивирования в течение 7 дней при 28 °С.

Для определения целлюлазной активности культур их выращивали в колбах с жидкой минеральной средой следующего состава (г/л): K_2HPO_4 – 2, NH_4Cl – 2, NaCl – 2, $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 1, $MnSO_4$ – 0,05, $FeSO_4 \times 7H_2O$ – 0,05, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ – 0,2. В качестве единственного источника углерода в среду добавляли измельченную солому (10 г/л). Для получения монокультур на 50 мл питательной среды вносили 1 мл жидкой культуры (ЖК) ранее выращенного стрептомицета или 1 агаровый блок с мицелием щелелистника диа-

метром 10 мм. Для получения бинарной ассоциации в колбу вносили по 1 мл жидкой культуры стрептомицета и по 1 агаровому блоку с мицелием гриба. Целлюлазную активность определяли с реактивом, приготовленным на основе динитросалициловой кислоты (ДНС) [11], в супернатанте ЖК спектрофотометрически (540 нм). Определение проводили в динамике – через 24, 48, 72, 168, 216 и 336 час от начала культивирования. Активность фермента выражали в усл. ед./10 мин.

Для определения способности микроорганизмов разлагать пожнивные остатки (солому) использовали среду того же состава. Количество вносимого инокулята использовали то же самое, что и при определении целлюлазной активности. Спустя три недели от начала культивирования при 28 °С, солому доставали и отмывали от мицелия в проточной воде, высушивали при 70 °С до постоянной массы. Разницу между исходной (0,5 г) и конечной массой соломы, выраженную в процентах от исходной, принимали за убыль, обусловленную действием микробных целлюлаз.

Статистическая обработка результатов выполнена стандартными методами с использованием программ Microsoft Excel.

В ходе работы получили данные по динамике целлюлазной активности монокультур *S. thermocarboxydus* 1.3. и *S. commune* ОЕ 22, а также при их совместном культивировании в бинарной ассоциации. Бактерия *S. thermocarboxydus* 1.3. выходила на пик своей активности (171,5±41,32 ед./10 мин) к 24 час, тогда как активность монокультуры *S. commune* ОЕ 22 постепенно повышалась до 88,33±54,80 ед./10 мин только к 7 сут, после чего снижалась до нуля к 14 сут (рис.). В монокультурах как гриб, так и бактерия характеризовались двухфазным изменением активности. У гриба *S. commune* ОЕ 22 второй пик целлюлазной активности, совпал с периодом 168–192 час роста, а у штамма *S. thermocarboxydus* 1.3 наблюдался через 72 час от начала культивирования. Целлюлазная активность бинарной ассоциации *S. thermocarboxydus* 1.3+*S. commune* ОЕ 22 уже через 24 час роста составляла 262,5±42,43 ед./10 мин, т. е. была существенно выше активности каждой из входящих в ее состав монокультур, но сохраняла свою активность лишь до 72 час роста.

Оценка степени разрушения соломы под влиянием бинарной ассоциации *S. thermocarboxydus* 1.3+*S. commune* ОЕ 22 в модельном эксперименте показала, что спустя три недели от начала культивирования, убыль изначальной массы соломы составила 0,143±0,015 г или 29% от исходной массы субстрата (0,5 г). В процессах деградации соломы бинарные культуры превосходят монокультуры, поскольку они обеспечивают «разделение труда» в метаболических процессах. Очевидно, что у микроорганизмов часто отсутствуют некоторые ключевые метаболические пути, отвечающие за разложение целлюлозы, гемицеллюлозы и других глюкоанов, входящих в состав соломы. Совместное культивирование позволяет нивелировать метаболические недостатки отдельных организмов [12], и они демонстрируют более высокие результаты по сравнению с соответствующими монокультурами [7].

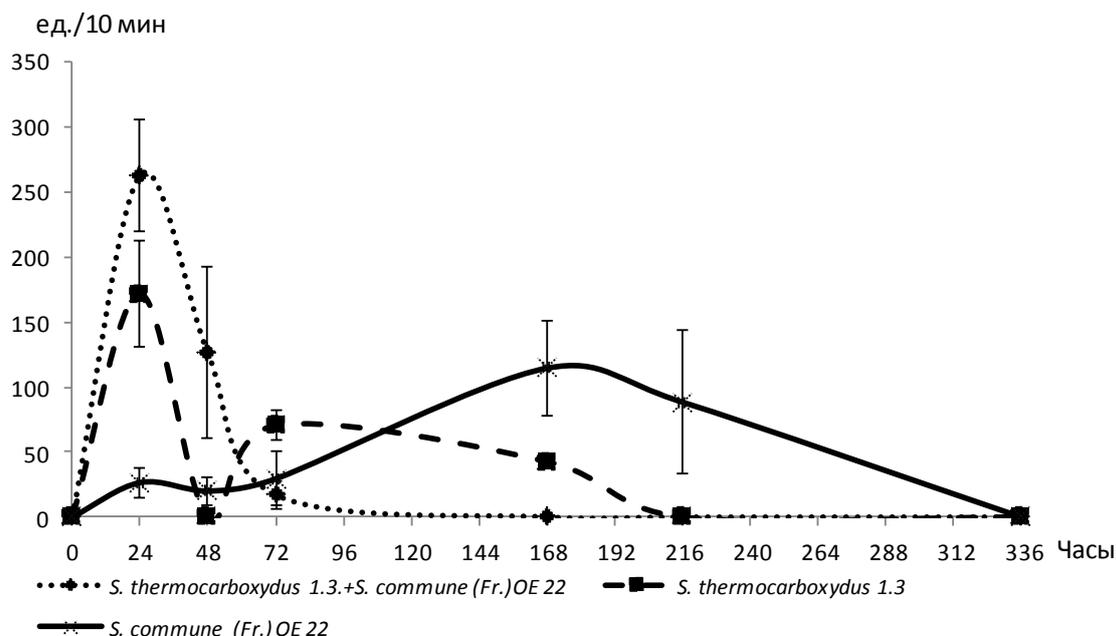


Рис. Динамика целлюлазной активности штаммов *S. thermocarboxydus* 1.3 и *S. commune* (Fr.) OE 22 в монокультурах и их бинарной ассоциации

Резюмируя сказанное, при совместном культивировании ксилотрофного гриба *S. commune* (Fr.) OE 22 и бактерии *S. thermocarboxydus* 1.3. уровень целлюлазной активности бинарной ассоциации был значительно выше по сравнению с активностью, наблюдаемой в монокультурах: в три раза выше, чем у гриба *S. commune* (Fr.) OE 22, и на 54% выше, чем у *S. thermocarboxydus* 1.3. Бинарная культура гриба и бактерии также раньше выходила на пик целлюлазной активности, чем монокультура гриба *S. commune* (Fr.) OE 22, и в лабораторных условиях эффективно осуществляла ферментативный гидролиз соломы.

Библиографический список

1. Lima M. S., Lucas R. C. Co-cultivation, Co-culture, Mixed Culture, and Microbial Consortium of Fungi: An Understudied Strategy for Biomass Conversion. DOI: 10.3389/fmicb.2021.837685 // Front. Microbiol. 2022. Vol. 12. P. 1–4.
2. Cooperative decomposition of rice straw by co-cultivation of cellulolytic fungi / J. Arnthong, C. Chuaseeharonnachai, N. Boonyuen et al. // Chiang Mai J. Sci. 2018. Vol. 45. No. 2. P. 645–652.
3. Degradation enhancement of rice straw by co-culture of *Phanerochaete chrysosporium* and *Trichoderma viride* / K. J. Chen, J. C. Tang, B. H. Xu et al. DOI: 10.1038/s41598-019-56123-5 // Sci. Rep. 2019. Vol. 9. P. 1–7.
4. Response of the wood-decay fungus *Schizophyllum commune* to co-occurring microorganisms / K. Krause, E. M. Jung, J. Lindner et al. DOI: 10.1371/journal.pone.0232145 // PLOS ONE. 2020. Vol. 15. No. 4. P 1–20.
5. Боков Н. А., Широких И. Г. Комплексная оценка биологического потенциала щелестника обыкновенного // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2023. С. 229–233.
6. Characterization of cellulolytic enzyme system of *Schizophyllum commune* mutant and evaluation of its efficiency on biomass hydrolysis / W. Sornlake, P. Rattanaphanjak, V. Cham-

preda et al. DOI: 10.1080/09168451.2017.1320937 // Biosci. Biotechnol. Biochem. 2017. Vol. 81. No. 7 P. 1289–1299.

7. Cortes-Tolalpa L., Salles J. F., van Elsas J. D. Bacterial Synergism in Lignocellulose Biomass Degradation – Complementary Roles of Degraders As Influenced by Complexity of the Carbon Source. DOI:10.3389/fmicb.2017.01628 // Front. Microbiol. 2017. Vol. 8. P. 1–14.

8. Сравнительная характеристика роста и целлюлазной активности стрептомицетов на различных субстратах / И. Г. Широких, Я. И. Назарова, Н. А. Боков, Т. Я. Ашихмина. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-2-122-127 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 122–127.

9. Боков Н. А., Абубакирова Р. И., Широких И. Г. Изучение агрономически ценных синергетических эффектов в бинарных культурах почвенных стрептомицетов. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.5.799-809 // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24. № 5. С. 799–809.

10. Нетрусов А. И., Егоров М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М.: Академия, 2005. 608 с.

11. Miller G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. DOI: 10.1021/ac60147a030 // Anal. Chem. 1959. Vol. 31. No. 3. P. 426–442.

12. Ghosh S., Chowdhury R., Bhattacharya P. Mixed consortia in bioprocesses: role of microbial interactions. DOI: 10.1007/S00253-016-7448-1 // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2016. Vol. 100. No. 10. P. 4283–4295.

АЭРОБНЫЕ МЕТИЛОБАКТЕРИИ КАК КОМПОНЕНТЫ МИКРОБНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ СИМБИОЗОВ

А. А. Широких

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

Приведен анализ литературных данных и результатов собственных исследований распространения и функциональной активности аэробных метилотрофных бактерий в филлоплане растений, водорослевых биоплёнках и спорокарпах миксомицетов. Показаны пути и перспективы использования метилотрофных бактерий в сельскохозяйственной биотехнологии.

Ключевые слова: метилобактерии, филлоплана, ауксины, инокуляция, водоросли, миксомицеты

Аэробные метилобактерии широко распространены в экосистемах и вносят существенный вклад в биосферные циклы биогенных макро- и микро-элементов. Они являются важным звеном в цепи метаболических превращений летучих C₁-соединений и играют роль своеобразного биофильтра на их пути в атмосферу. К настоящему времени описано 108 видов и 40 родов метилобактерий относящихся к филумам α -, β -, γ - *Proteobacteria*, *Verrucomicrobia*, *Firmicutes*, *Actinobacteria*. Большинство аэробных метилобактерий (91%) ведут факультативно-метилотрофный образ жизни и все являются строгими аэробами [1]. Кроме одноуглеродных соединений представители различных

родов способны использовать широкий спектр водорастворимых субстратов: моно-, ди-, и полисахариды, полиолы, одноатомные спирты, глицерин, аминокислоты, карбоновые кислоты, ароматические соединения. Однако метанол является ключевым источником углерода и энергии для многих метиловых бактерий.

В наземных экосистемах факультативные аэробные метиловых бактерии ассоциированы с растениями. Они колонизируют листовую поверхность высших растений, обитают в ризосфере, на семенах, встречаются в слизистых плёнках почвенных водорослей [2, 3] и спорокарпах миксомицетов [4]. В зависимости от локализации метиловых бактерий на растении различают ризосферные (ассоциированные с корнями), филлосферные или эпифитные (прикрепляются к поверхности растений) и эндофитные (проникают и живут внутри растительных тканей) виды.

Преобладающим компонентом микробного сообщества филлосферы являются розовоокрашенные факультативные метиловых бактерии (РОФМ). РОФМ впервые выявлены в ассоциации с печёночным мхом *Scapania nemorosa* [5]. В дальнейшем изолированная из печёночника культура была идентифицирована как *Methylobacterium mesophilicum* [6, 7]. В пересчёте на единицу листовой поверхности РОФМ составляют более трети от общего числа гетеротрофов, а *M. mesophilicum* обнаружены не только в филлоплане более 40 видов растений, но и в гомогенизированных тканях поверхностно стерилизованных листьев [8]. В работах В. А. Романовской показано, что РОФМ являются постоянными обитателями филлосферы более 200 видов лекарственных, декоративных, сельскохозяйственных и диких растений Украины [9, 10]. Они характеризуются высокой выживаемостью при высушивании, замораживании, устойчивостью к УФ и ионизирующему облучению, низкой влажности и высокой температуре.

В филлосфере метиловых бактерии располагаются вблизи устьиц, так как именно через них осуществляется эмиссия метанола в атмосферу. Через устьица метиловых бактерии проникают внутрь листа и распространяются по апопласту [11]. Наибольшая численность РОФМ наблюдается на нижней стороне листа, где расположено большое количество устьиц, а на верхней, из-за абиотических факторов (УФ излучение, атмосферные осадки) и конкуренции за питательные вещества с другими эпифитными бактериями, она существенно ниже. Бактерии, находящиеся в межклеточном пространстве листа, подвергаются воздействию больших концентраций метанола и меньшему воздействию абиотических факторов. Поэтому эндофитное существование для метилотрофных бактерий предпочтительнее, чем эпифитное. Кроме того, эндофитная локализация метилотрофов обеспечивает им лучшую выживаемость в зимний период [12]. Метиловых бактерии присутствуют также на/в семенах цветковых растений, стимулируя их прорастание и способствуя сохранению всхожести при длительном хранении.

Существенную роль при колонизации растений метиловых бактериями играет их способность к синтезу экзополисахаридов и белков – адгезинов, способствующих прикреплению бактериальных клеток к поверхности расте-

ния [13]. Слизистые капсулы бактерий, составляющих колонию, сливаются с образованием биополимерного матрикса. Экзополисахариды, обволакивающие колонию бактерий, предохраняют отдельные клетки и колонию в целом от неблагоприятных воздействий извне, а слияние отдельных колоний формирует биоплёнку, которые способствуют лучшей передаче растению бактериальных экзометаболических веществ и защищают его от неблагоприятных факторов.

Основную роль в установлении ассоциативных метаболических взаимосвязей микробов с растениями играет способность последних образовывать различные C_1 -соединения, прежде всего метанол, который образуется в результате деметилирования пектина клеточных стенок под действием пектинметилэстеразы и является основным летучим метаболитом растений. Особенно много метанола образуется у молодых растений в результате элонгации клеточных стенок, требующей активного деметилирования пектина [14].

Микробы, колонизируя растение, оказывают на него прямое и опосредованное воздействие. Под прямым воздействием понимают выделение бактериями экзометаболических – фитогормонов (ауксинов и цитокининов) и цианкобаламина (витамин B_{12}). Они стимулируют рост растения и побуждают его к усилению выделения метанола и других продуктов жизнедеятельности, которые используются микробами в качестве источников углерода и энергии. Косвенное влияние бактерий на рост и развитие растений является следствием их способности подавлять рост фитопатогенов и повышать устойчивость растений к стрессовым факторам. Эта способность микробных бактерий обусловлена наличием у них механизмов синтеза антибиотиков, связывания железа в ризосфере (синтез сидерофоров), индуцированием системной устойчивости, биосинтезом ферментов, лизирующих клеточные стенки грибов. Благодаря этим свойствам микробные бактерии имеют большой потенциал для использования их в сельскохозяйственной биотехнологии.

Начиная с 2004 г., в лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов ФАНЦ Северо-Востока проводятся исследования по поиску в природных микробных сообществах микробов, выделению и изучению их свойств с целью последующего использования в сельскохозяйственных биотехнологиях. В результате проведённых исследований из филлопланы озимой ржи, ячменя и тритикале на минеральной среде с метанолом было выделено 62 изолята РОФМ. Численность клеток микробов в филлоплане растений-хозяев составляла $1-2 \times 10^2$ КОЕ/г. По результатам предварительной фенотипической идентификации бактерии были отнесены к видам – *M. mesophilicum*, *M. radiotolerans*. Все бактериальные изоляты оказались способными к биосинтезу ауксинов на минеральной среде с метанолом и триптофаном. Однако уровень биосинтеза ауксинов у разных бактерий колебался от 2,0 до 16,5 мкг/мл культуральной жидкости. Из филлопланы ржи сорта Вятка 2 получен штамм *M. radiotolerans* 2-мтв с максимальным уровнем синтеза ауксинов.

Из семян овса и ячменя были изолированы РОФМ, идентифицированные как *M. extorquens*. Их численность в спермосфере оказалась существенно

выше, чем в филлосфере этих растений и составила $2-4 \times 10^3$ КОЕ/г. Все изоляты обладали более высоким и стабильным уровнем синтеза ауксинов. Бактерии из семян овса синтезировали ауксин в количестве от 13,5 до 14,0 мкг/мл, а из семян ячменя – от 6,2 до 11,5 мкг/мл [15].

В работе С.Н. Дедыш с соавторами [3], посвящённой изучению структуры микробных сообществ в биоплёнках зелёных водорослей, было показано присутствие метилобактерий в их слизистых чехлах. Установлено, что водорослевые биоплёнки представляют собой уникальную экологическую нишу, объединяющую черты ризосферы и филлопланы высших растений. Из биоплёнок зелёных водорослей в чистую культуру нами было выделено 27 штаммов РОФМ. На основании определения физиологических и биохимических свойств изолятов, все штаммы были отнесены к роду *Methylobacterium*. Уровень синтеза ауксинов у этих культур варьировал в пределах от 0,8 до 16 мкг/мл. В опытах по стимуляции роста пшеницы в рулонной культуре была показана способность трёх природных изолятов 9мAlg, 15мAlg и 25мAlg усиливать рост проростков на 28–72% [15]. Кроме того, эти штаммы стимулировали рост и морфогенез при инокуляции растений *in vitro*.

В лесных экосистемах широко распространены грибоподобные протисты или миксомицеты. Все стадии жизненного цикла этих организмов проходят в местообитаниях, где бактерии встречаются в изобилии. Плазмодии миксомицетов, ползая по листьям, стеблям и стволам живых и мёртвых растений, собирают бактерии и используют их как трофический ресурс. Однако многие бактерии во время перехода плазмодия в стадию плодовых тел (спорокарпов) попадают внутрь тела миксомицетов и остаются там до момента распространения спор. Из спорокарпов миксомицетов на минеральном агаре с метанолом нами было изолировано около 80 культур пигментированных и бесцветных бактерий. Из спорокарпов вида *Lycogala epidendrum* были изолированы пигментированные РОФМ штаммы. На основании анализа нуклеотидных последовательностей генов 16S рРНК они были идентифицированы как *M. bullatum* и *M. radiotolerans*. Уровень биосинтеза ауксинов этими изолятами составил от 12,2 до 15,4 мкг/мл.

Из миксомицетов, отнесенных к порядку *Trichiales*, на минеральном агаре с метанолом выделяли, в основном, непигментированные варианты метилотрофных бактерий. Среди них удалось идентифицировать, на основании анализа нуклеотидных последовательностей генов 16S рРНК, только вид *Sphingobacterium kitahiroshimense* с уровнем синтеза ауксинов 9,1–9,6 мкг/мл, изолированный из миксомицета *Metatrichia vesparia*. У непигментированных бактерий, выделенных из спорокарпов других видов трихий, уровень синтеза ауксинов был существенно выше и колебался в пределах от 15,0 до 33,4 мкг/мл. Интересно, что у бактерий, изолированных с самого субстрата (гнилая древесина) уровень синтеза ауксинов составил 17,2 мкг/мл. Это подтверждает, что метилотрофные бактерии попадают в спорокарпы миксомицетов непосредственно с субстрата. Таким образом, грибоподобные протисты могут являться перспективным источником для поиска и выделения новых

биотехнологически ценных штаммов метилотрофных бактерий, способных синтезировать регуляторы роста растений.

Метилотрофные бактерии, изолированные из разных источников, были использованы в опытах *in vitro* для изучения эффекта стимуляции роста растений. Например, инокуляция штаммами 9мAlg, 25мAlg черенков картофеля при микроклональном размножении сортов Снегирь и Луговской приводила к более интенсивному росту и корнеобразованию по сравнению с неинокулированными растениями. Положительный эффект от воздействия метилотрофных бактерий на растение был заметнее всего на средах без введения витаминов и гормонов [11].

При микроклональном размножении земляники сорта Фестивальная инокуляция микрочеренков штаммом 15мAlg, даже на полной по составу среде, привела к возрастанию высоты и массы побегов.

В каллусной культуре ячменя инокуляция культурой метилотрофных бактерий способствовала морфогенезу, главным образом на средах с неполным гормональным составом. На 10 день после инокуляции наблюдали инициацию побегообразования на среде без кинетина и ИУК у 10–20% каллусных линий, а на среде без кинетина – у 15–30% каллусных линий ячменя. На безвитаминой среде количество регенерантов в результате бактериальной инокуляции увеличивалось постепенно, изменяясь от 5 до 15% – на 60 день наблюдения.

Тестирование растительных тканей на присутствие метиловых бактерий выявило их наличие в инокулированных растениях в количестве $5,0 \times 10^4$ КОЕ/растение картофеля и $1,1 \times 10^4$ КОЕ/растение ячменя во втором пассаже на питательные среды [16, 17]. Это свидетельствует о стабильной ассоциации бактерий с культивируемыми *in vitro* растениями и возможности снабжения растений регуляторами роста и витаминами, которые продуцируют метилотрофные бактерии.

Таким образом, аэробные факультативные метиловых бактерии широко распространены в природе. Они являются постоянным компонентом микробных сообществ филлосферы большинства растений. Биоактивные соединения, выделяемые метиловыми бактериями прижизненно или в результате лизиса клеток, оказывают благоприятное воздействие на рост и развитие растений. Экспериментально показана способность природных изолятов метилотрофных бактерий стимулировать рост и морфогенез растений *in vitro*, что указывает на перспективность их применения в различных направлениях современной биотехнологии растений.

Библиографический список

1. Троценко Ю. А., Доронина Н. В., Торгонская М. Л. Аэробные метиловых бактерии. Пушкино : ОНТИ ПНЦ РАН, 2010. 325 с.
2. Федоров Д. Н., Доронина Н. В., Троценко Ю. А. Фитосимбиоз аэробных метиловых бактерий: новые факты и гипотезы // Микробиология. 2011. Т. 80. № 4. С. 435–446.
3. Структура альгоценозов, формирующихся в период «цветения» почвы / С. Н. Дедыш, Г. М. Зенова, Т. Г. Добровольская, Т. А. Грачёва // Альгология. 1992. Т. 2. № 2. С. 63–69.

4. Метанотрофы и метиловобактерии обнаружены в тканях древесных растений в зимний период / Н. В. Доронина, Е. Г. Иванова, Н. Е. Сузина, Ю. А. Троценко // Микробиология. 2004. Т. 73. № 6. С. 817–824.
5. Широких А. А., Бакулина А. В. Филогенетическое положение бактерий, ассоциированных с миксомицетами // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров, 2018. С. 218–221.
6. Basile D. V., Slade L. L., Corpe W. A. An association between a bacterium and a liverwort, *Scapania nemorosa* // Bulletin of the Torrey Botanical Club. 1969. P. 711–714.
7. Austin B., Goodfellow M. *Pseudomonas mesophilica*, a new species of pink bacteria isolated from leaf surfaces. DOI: 10.1099/00207713-29-4-373 // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 1979. Vol. 29. No. 4. P. 373–378.
8. Dickinson C. H., Austin B., Goodfellow M. Quantitative and qualitative studies of phylloplane bacteria from *Lolium perenne*. DOI: 10.1099/00221287-91-1-157 // Microbiology. 1975. Vol. 91. No. 1. P. 157–166.
9. Chanprame S., Todd J. J., Widholm J. M. Prevention of pink-pigmented methylotrophic bacteria (*Methylo bacterium mesophilicum*) contamination of plant tissue cultures // Plant Cell Rep. 1996. Vol. 16. No. 3–4. P. 222–225.
10. Романовская В. А., Столяр С. М., Малашенко Ю. П. Распространение бактерий рода *Methylo bacterium* в различных экосистемах Украины // Микробиол. журн. 1996. Т. 58. № 3. С. 3–10.
11. Экологические последствия радиоактивного загрязнения для почвенных бактерий в десятикилометровой зоне ЧАЭС / В. А. Романовская, С. М. Столяр, Ю. П. Малашенко, П. В. Рокитко // Микробиология. 1998. Т. 67. № 1. С. 106–115.
12. Omer Z. S., Tombolini R., Gerhardson B. Plant colonization by pink-pigmented facultative methylotrophic bacteria (PPFMs). DOI: 10.1016/S0168-6496(04)00003-0 // FEMS Microbiol. Ecol. 2004. Vol. 47. No. 3. P. 319–326.
13. A filamentous hemagglutinin-like protein of *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*, the phytopathogen responsible for citrus canker, is involved in bacterial virulence / N. Gottig, B. S. Garavaglia, C. G. Garofalo et al. DOI: 10.1371/journal.pone.0004358 // PLoS One. 2009. Т. 4. № 2. P. e4358.
14. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions/ F. Keppler, J. T. Hamilton, M. Brass, T. Röckmann. DOI: 10.1038/nature04420 // Nature. 2006. Vol. 439. No. 7073. P. 187–191.
15. Широких И. Г., Широких А. А. Изучение полезных для растений свойств метилотрофных бактерий // Агрохимия. 2007. № 9. С. 53–57.
16. Широких И. Г., Широких А. А., Шуплецова О. Н. Метиловобактерии – стимуляторы морфогенеза ячменя в каллусной культуре // Современные проблемы физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов : материалы Всерос. симпозиума с междунар. участием. М. : МГУ, 2009. С. 207.
17. Широких И. Г., Широких А. А., Ашихмина Т. Я. Изучение микробного потенциала агроценозов для повышения продуктивности и стрессоустойчивости растений методами биотехнологии. Сыктывкар : Коми науч. центр УрО РАН, 2007. 28 с.

СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА АКТИНОМИЦЕТОВ В РИЗОСФЕРЕ ЭСПАРЦЕТА ПЕСЧАНОГО

С. М. Дормидонтова¹, И. Г. Широких²

¹ *Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, xerxes1999@mail.ru,*

² *ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
г. Киров, Россия, irgenal@mail.ru*

В статье представлены данные о структуре комплекса актиномицетов в ризосфере эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria*) на дерново-подзолистой почве. Определены численность, доля актиномицетов в прокариотическом комплексе ризосферы, доля видов, представляющих различные цветовые секции рода *Streptomyces*, частота встречаемости представителей отдельных секций. Полученные данные расширяют наше представление о структуре и составе прокариот в ризосфере эспарцета песчаного.

Ключевые слова: *Onobrychis arenaria*, ризосферный комплекс, стрептомицеты, цветовые секции.

Эспарцет (*Onobrychis arenaria*) – культура, активно используемая в сельском хозяйстве в качестве кормовой, медоносной и сидератной, также используется при освоении и улучшении склоновых земель, подверженных ветровой и водной эрозии, характеризуется устойчивостью к почвенным засухам, морозостойкостью, нетребовательностью к плодородию почв [1].

Ризосфера – это тонкий слой (2–4 мм) почвы, который окружает корневую систему растений. В этой зоне происходит активное взаимодействие между растениями и микроорганизмами, включая актиномицеты. Данные микроорганизмы способны к биологической азотфиксации, солюбилизации фосфатов, вырабатывают фитогормоны и другие биологически активные соединения [2]. В растениеводстве также ценятся фунгицидные свойства некоторых метаболитов актиномицетов, защищающих растения от возбудителей вредоносных грибных заболеваний [2, 3]. Эспарцет не является исключением, так как он подвержен аскохитозу, рамуляриозу и другим вызываемым грибами инфекциям [4]. Изучение структуры комплекса актиномицетов в ризосфере эспарцета песчаного позволяет понять роль этих микроорганизмов в обеспечении устойчивости растений к стрессовым условиям, улучшении почвенного плодородия и биологическом контроле фитопатогенов.

Цель работы – характеристика структуры комплекса актиномицетов в прикорневой зоне эспарцета песчаного на дерново-подзолистой почве.

Отбор проб произведен в посеве эспарцета песчаного на дерново-подзолистой почве при длительном культивировании без внесения удобрений. Образцы, представляющие собой корневую систему растения, с оставшейся на ней после активного отряхивания почвой, высушивали до воздуш-

но-сухого состояния, размалывали и просеивали через сито 1,0 мм. Из усредненного образца отбирали 5 навесок, массой 1,0 г, и помещали каждую в стеклянный бюкс. Далее отобранные навески прогревали при 70 °С в течение 4 час для ограничения роста немителиальных бактерий, содержащихся в образце.

Затем из каждой прогретой навески готовили почвенную суспензию в соотношении 1:100. Каждую почвенную суспензию далее подвергали разведению (до 10^{-3}) и высевали по 0,1 мл поверхностно на казеин - глицериновый агар (КГА) в трёх повторностях.

Культивация происходила в течение 14 суток при 28 °С, после чего учитывали общую численность прокариот и численность мителиальных бактерий. Актиномицетный комплекс дифференцировали по составу представителей цветковых секций и серий рода *Streptomyces* согласно ключу Гаузе [5]. Рассчитывали показатели частоты встречаемости и относительное обилие в комплексе (%).

Статистическую обработку результатов осуществляли стандартными методами с использованием Excel 7.

Среднее количество актиномицетов, вырастающих на КГА из образца ризосферы эспарцета песчаного, составило $(672 \pm 31) \times 10^3$ КОЕ/г (табл.).

Таблица

Структура комплекса актиномицетов в ризосфере эспарцета песчаного

Показатели	Общая численность:		Доля актиномицетов в прокариотном комплексе, %	Доля видов секций, %			
	прокариот, 10^3 КОЕ/г	актиномицетов, 10^3 КОЕ/г		<i>Cinereus</i>	<i>Roseus</i>	<i>Albus</i>	<i>Imperfectus</i>
Среднее	6368±411	672±31	11,52	22,1	4,8	20,7	52,1
Минимум	2870	420	8,9	11,9	1,7	11,9	43,3
Максимум	13420	1200	14,3	28,3	7,7	28,3	71,4

В сравнении с результатами, полученными при анализе ризосферы клевера лугового (от 760×10^3 до 2000×10^3 КОЕ / г), выращенного на дерново-подзолистой почве, образец, полученный из ризосферы эспарцета песчаного, уступал ему по таким количественным параметрам, как общая численность и количество выявляемых таксонов [6].

Полученные для ризосферы эспарцета результаты отличаются и по частоте встречаемости видов отдельных секций в прикорневой зоне зернового злака – овса пленчатого [7]. Так, в образце из ризосферы овса пленчатого на дерново-подзолистой почве, встречаемость представителей секций *Imperfectus* и *Cinereus* оказались на 20 и 60% ниже, чем у бобовой культуры эспарцета, тогда как не отмеченные в ризосферном комплексе эспарцета представители секции *Helvolo-flavus* встречались с частотой 20%. Полностью отсутствовали на корнях овса представители секции *Roseus*. Встречаемость пред-

ставителей секции *Albus* в прикорневой зоне овса сопоставима с результатами анализа образцов из ризосферы эспарцета.

Установлено, что общая доля актиномицетов в ризосфере эспарцета песчаного варьирует от 8,9 до 14,3%. В доленом соотношении большую часть актиномицетов составляют представители секций *Imperfectus*, *Albus* и *Cinereus*, меньшую – секция *Roseus*.

Частота встречаемости видов, относимых к секциям *Cinereus*, *Roseus*, *Albus*, *Imperfectus* составляла 100 %.

Стрептомицеты секции *Imperfectus*, с учетом относительного обилия (от 43,3 до 71,4%), являлись типичными доминантными видами в структуре ризосферного комплекса. Представители секций *Cinereus* и *Albus* (доля в комплексе от 11,9 до 28,3%) – типичные частые виды. Виды секции *Roseus* (относительное обилие от 1,7 до 7,7%) в стрептомицетном комплексе эспарцета отнесены нами к типичным редким видам.

В процессе культивирования был замечен антагонизм некоторых мицелиальных прокариот по отношению к колониям бацилл. Из таких антагонистически активных колоний стрептомицетов были выделены в чистые культуры 5 штаммов мицелиальных прокариот. В дальнейшем планируется исследовать фунгицидные и бактерицидные свойства отобранных штаммов актиномицетов в отношении тест-культур фитопатогенов.

Библиографический список

1. Эспарцет песчаный : монография / М-Р. А. Казиев, К. М. Ибрагимов, М. А. Умаханов, С. А. Теймуров. Махачкала : Изд-во АЛЕФ, 2022. 234 с.
2. The potential use of actinomycetes as microbial inoculants and biopesticides in agriculture / G. C. Silva, I. T. Kitano, I. A. F. Ribeiro, P. T. Lacava. DOI: 10.3389/fsoil.2022.833181 // *Front. Soil Sci.* 2022. Vol. 2. Article No. 833181.
3. Почвенные актиномицеты как потенциальные биофунгициды / Е. А. Дегтярева, К. А. Виноградова, А. В. Александрова и др. // *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение.* 2009. № 2. С. 22–26.
4. Солтанов Н. С., Шеин М. С. Вредоносность болезней эспарцета // *Студенческий научный форум : материалы VIII Междунар. студенческой науч. конф.* 2016. Article No. 2016029515. URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016029515> (дата обращения: 11.03.2024).
5. Гаузе Г. Ф., Преображенская Т. П. Определитель актиномицетов. Роды *Streptomyces*, *Streptoverticillium*, *Chainia*. М. : Наука, 1983. 246 с.
6. Актиномицеты ризосферы клевера лугового на дерново-подзолистой почве / И. Г. Широких, А. А. Широких, О. В. Мерзаева, М. И. Тумасова. // *Почвоведение.* 2004. № 7. С. 875–881.
7. Актиномицеты в прокариотном комплексе ризосферы овса на дерново-подзолистой почве. / И. Г. Широких, Г. М. Зенова, О. В. Мерзаева и др. // *Почвоведение.* 2007. № 2. С. 179–183.

ВЫЯВЛЕНИЕ ГЕНОВ ЦЕЛЛЮЛАЗ И ГЕНОВ ЛИГНОЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА У ШТАММОВ РОДА *STREPTOMYCES*

*А. В. Бакулина*¹, *Е. А. Бессолицина*¹,
*И. А. Лундовских*², *Е. В. Товстик*^{1,2}

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, *mol-biol@fanc-sv.ru*,

² Вятский государственный университет, г. Киров, Россия, *tovstik2006@inbox.ru*

В работе исследовали целлюлозо- и лигнолитический потенциал девяти штаммов бактерий *Streptomyces* sp. Выявлены перспективные для дальнейших исследований штаммы, способные к деструкции карбоксиметилцеллюлозы (РПЛН12, 1Н8, РСФК2), а также штаммы с генами, кодирующими целлюлазы семейства GH74 (РСФН5, РПЛН23) и лакказы (РПЛН5, РСФК2, РСФН5).

Ключевые слова: *Streptomyces* sp., деструкция, КМЦ, ПЦР, гликозидгидролазы GH74, лакказа, лигнинпероксидаза, марганецпероксидаза.

Мицеллиальные бактерии рода *Streptomyces*, известные преимущественно способностью синтезировать огромное количество антимикробных метаболитов, также являются источниками ферментов. Их способность продуцировать литические ферменты и разлагать полисахариды позволяет рассматривать их в качестве альтернативы для биоремедиации и биологического контроля широкого спектра субстратов в различных экосистемах [1], в том числе для деструкции трудноразлагаемых растительных отходов.

В разложении растительных остатков участвуют, по меньшей мере, четыре группы микроорганизмов: целлюлозолитики, гемицеллюлозолитики, пектино- и лигнинолитики. Поэтому комплексный растительный субстрат, которым являются остатки растений, разлагается быстрее и эффективнее при участии в этом процессе микробного сообщества, чем монокультуры [2]. Поиск бактерий, способных к разложению лигнина и целлюлозы, и выявление у них активности ферментативных систем, участвующих на разных этапах разложения данных соединений, представляет значительный практический интерес.

Для стрептомицетов характерно разнообразие ферментов, действующих на различных этапах разложения целлюлозы [3], среди которых наибольший интерес вызывают гликозидгидролазы (glycoside hydrolase – GH), которые катализируют гидролиз гликозидных связей в молекулах углеводов, приводя к появлению двух более мелких молекул углеводов. Установлено, что штаммы *Streptomyces* обладают также способностью разлагать лигнин [4]. Хотя, эффективность разложения лигнина у бактерий значительно ниже в сравнении с таковой у грибов, бактериальная деструкция древесины имеет некоторые преимущества. Так, бактерии способны выдерживать более широкий диапа-

зон температур и рН, а также недостаток кислорода в сравнении с грибами [5].

Целью настоящей работы явилось выявление генов целлюлаз (гликозидгидролаз семейства GH74) и генов ферментов лигнолитического комплекса (лакказы, марганец- и лигнинпероксидазы) у различных штаммов стрептомицетов.

Объектом исследования служили девять изолятов *Streptomyces* sp., выделенные ранее из прикорневой зоны *Heracleum sosnowskyi* и почвы в местах его произрастания на территории Кировской области.

Целлюлолитическую активность изолятов определяли на плотной питательной среде Гетчинсона с карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ) [6].

Для выявления у стрептомицетов генов, кодирующих целлюлазы и ферменты лигнолитического комплекса, применяли метод ПЦР с использованием специфичных исследуемым генам пар праймеров. Суммарные нуклеиновые кислоты выделяли согласно методике [7] из колоний, выращенных в жидкой среде Гаузе 1.

Для выявления генов гликозидгидролаз семейства GH74 использовали две пары праймеров: 1) GH74F1/GH74R1; 2) GH74F2/GH74R2. Для их разработки осуществляли поиск аминокислотных последовательностей эндогликоканаз GH74 стрептомицетов в базе данных CAZy [3], после чего находили их нуклеотидные последовательности в полных геномах *Streptomyces* sp. в базе GenBank Nucleotide [8]. Множественное выравнивание последовательностей проводили в программе Clustal Omega [9]. Подбор праймеров осуществляли вручную к консервативным участкам генов ферментативных систем. Специфичность праймеров оценивали в программе BLAST Nucleotide (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) [10]. Реакционная смесь (10 мкл) содержала 1 нг ДНК, 200 мкМ dNTPs, 10 рМ каждого праймера, 1×PCR-буфер и 3,75 ед. Taq-полимеразы («СибЭнзим», Россия). Режим ПЦР: 1 цикл 95 °С – 5 мин, 35 циклов по 95 °С – 30 сек, 72 °С – 30 сек, 72 °С – 1 мин 30 сек, 1 цикл 72 °С – 8 мин.

Для выявления генов лигнолитического комплекса применяли следующие пары праймеров: 1LccF/1LccR, MnpF/MnpR, LgpF/LgpR, специфичные соответственно к генам лакказы, марганецпероксидазы и лигнинпероксидазы. Последовательности праймеров, температура отжига и режим ПЦР описаны ранее [11].

Праймеры, использованные в работе, синтезированы в ООО «Синтол» (г. Москва, Россия), ПЦР проводили на программируемом термостате ТП4-ПЦР-01 «Терцик» («НПО ДНК-Технология», Россия). ПЦР-продукты разделяли методом гель-электрофореза в агарозном и полиакриламидном гелях [7], для визуализации результатов использовали трансиллюминатор «Квант-312» («Helicon», Россия).

Изучение целлюлолитической активности стрептомицетов в тесте с Конго красным показало, что все штаммы (за исключением *Streptomyces* sp. РПЛН23) в разной мере были способны утилизировать КМЦ (табл. 1).

Наибольшую активность проявил штамм *Streptomyces* sp. РПЛН12, у которого зона гидролиза составила 86 мм. Также значительной величиной зон деструкции (≥ 40 мм) характеризовались стрептомицеты 1N8 и РСФК2.

Таблица 1

Способность штаммов стрептомицетов к деструкции КМЦ

Штамм стрептомицета	РСФК2	РСФН5	РПЛН5	РПЛН12	РПЛН23	1К6	1N8	3N2	3N3
Субстрат выделения	Ризосфера		Ризоплана			Почва			
Зона гидролиза, мм	40	10	13	86	0	26	53	33	10

Для выявления генов целлюлаз проводили биоинформатический анализ 35 последовательностей, кодирующих у стрептомицетов гликозидгидролазы GH74. Ввиду высокого уровня полиморфизма нуклеотидных последовательностей эндоглюканаз GH74 стрептомицетов было разработано две пары праймеров (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики праймеров к генам эндоглюканаз семейства GH74

Праймеры	Структура праймера, 5'-3'	Температура плавления, °С	Длина амплификата, п. н.
GH74F1	f GCTGGGACGACTGGAACCT	62	890
GH74R1	r GCCTGGATCCACCAGCCGA	64	
GH74F2	f GTTCGGCTGGTGGATCCAG	62	216
GH74R2	r GTGGTACATCACGCCGATGTC	66	

Результаты ПЦР с данными праймерами показали наличие целевых фрагментов у штаммов РСФН5 (890 п. н. и 216 п. н.) и РПЛН23 (216 п. н.). Близкий по размеру к ожидаемому ампликон выявлен у штамма 3N2 (220 п. н.) (табл. 3).

Таблица 3

ПЦР-продукты стрептомицетов при использовании праймеров к генам целлюлаз и ферментов лигнолитического комплекса

Штамм <i>Streptomyces</i> sp.	Гликозидгидролазы GH74		Лакказа (130 п. н.)	Лигнин пероксидаза (207 п. н.)	Mn-пероксидаза (450 п. н.)
	(890 п. н.)	(216 п. н.)			
1	2	3	4	5	6
1К6	–	130	–	–	–
1N8	–	130	–	–	–
3N2	600	220	–	–	–
3N3	200	–	–	–	–
РПЛН5	400	150	130	130	–
РПЛН12	–	–	110	–	–
РПЛН23	–	216, 150	100, 110	100	–

1	2	3	4	5	6
РСФК2	1000, 700, 500, 400	150	130	–	–
РСФН5	890, 400	216, 150	130	120, 180	700

Примечание: в скобках указан ожидаемый размер ПЦР-фрагментов для каждой пары праймеров.

Поиск генов лигнолитического комплекса показал, что в геноме трёх штаммов (РПЛН5, РСФК2, РСФН5) имеется ген, кодирующий лакказу.

Согласно ПЦР-анализу, значительный интерес для дальнейших исследований представляет штамм РСФН5, который характеризуется наличием двух фрагментов генов целлюлаз GH74, а также лакказы.

Наличие дополнительных ПЦР-продуктов в реакциях с использованными праймерами может свидетельствовать об изменении длины, как самого белка, так и гена. Выявление у разных штаммов ампликонов одинакового размера, но отличных от ожидаемого, также может свидетельствовать об обнаружении фрагментов исследуемых генов, однако, требует более глубоких исследований.

Таким образом, выявлены штаммы, способные к деструкции КМЦ (*Streptomyces* sp. РПЛН12, 1Н8, РСФК2), и штаммы, имеющие в геноме гены, кодирующие целлюлазы семейства GH74 (РСФН5, РПЛН23) и лакказу (РПЛН5, РСФК2, РСФН5). Исследования данных штаммов *Streptomyces* sp. будут продолжены в отношении выявления других генов, связанных с деструкцией целлюлозы и лигнина, а также изучения их ферментативной активности на диагностических средах и способности к деструкции различных растительных субстратов.

Библиографический список

1. *Streptomyces* as potential synthetic polymer degraders: a systematic review / M. F. Rodríguez-Fonseca, J. Sánchez-Suárez, M. F. Valero et al. DOI: 10.3390/bioengineering8110154 // *Bioengineering*. 2021. Vol. 8. No. 11. Article No. 154.
2. Семенов В. М., Ходжаева А. К. Агроэкологические функции растительных остатков в почве // *Агрохимия*. 2006. № 7. С. 63–81.
3. CAZy [website]. – URL: <http://www.cazy.org/Welcome-to-the-Carbohydrate-Active.html> (accessed: 23.03.2024).
4. Bacterial valorization of lignin: strains, enzymes, conversion pathways, biosensors, and perspectives / S. Lee, M. Kang, J. H. Bae et al. DOI:10.3389/fbioe.2019.00209 // *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2019. Vol. 7. Article No. 209.
5. Daniel G., Nilsson T. Developments in the study of soft rot and bacterial decay // *Forest products biotechnology* / Eds. A. Bruce, J. W. Palfreyman. London : Taylor & Francis, 1998. P. 37–62.
6. Teather R. M., Wood P. J. Use of Congo red – polysaccharide interaction in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria the bovine rumen // *Appl. Environ. Microbiol.* 1982. Vol. 43. P. 777–780.
7. Sambrook J., Fritch T., Maniatis T. *Molecular cloning: a laboratory manual*. DOI: 10.1016/0307-4412(83)90068-7. NY. : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1983. 545 p.

8. GenBank Nucleotide [website]. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucore/?term=> (accessed: 23.03.2024).

9. Clustal Omega [website]. – URL: <https://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/clustalo/> (accessed: 23.03.2024).

10. BLAST Nucleotide [website]. – URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (accessed: 23.03.2024).

11. Шевченко Е. А., Бессолицына Е. А., Дармов И. В. Выявление генов, кодирующих лигнолитические ферменты, у природных изолятов базидиомицетов // Прикладная биохимия и микробиология. 2013. Т. 49. № 3. С. 285–285.

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ШТАММА-АНТАГОНИСТА ФИТОПАТОГЕНОВ *TRICHODERMA* SP.

П. А. Стариков¹, Д. А. Бажанова², Л. И. Домрачева^{1,3}

¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, ya.starikov-pavel@yandex.ru,

² Центр дополнительного образования одарённых школьников,
г. Киров, Россия,

³ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

Произведена сравнительная оценка питательных сред для культивирования штамма микромицета рода *Trichoderma*, обладающего высокой антифузариозной активностью. Показано, что наибольший выход конидий наблюдается при культивировании на агаризованном отваре семян гороха.

Ключевые слова: *Trichoderma*, микромицеты, культивирование, питательные среды, скорость роста, конидиеобразование.

Средства защиты растений от фитопатогенов на основе грибов р. *Trichoderma* являются одними из наиболее востребованных на рынке биологических препаратов [1]. Биомасса микромицетов, используемая в качестве основы для создания препаративных форм инокулянтов, должна не только соответствовать показателям качества, но и по возможности быть недорогой в производстве. По этой причине одним из важных этапов разработки новых микробных биопрепаратов является оптимизация состава питательных сред для культивирования штамма-продуцента с целью производства максимального количества биомассы при наименьших экономических затратах [2]. Поэтому важно заниматься поиском подходящих дешёвых сред для выращивания микромицетов рода *Trichoderma*.

Цель работы – провести сравнительную оценку показателей линейного роста и характера спороношения грибов рода *Trichoderma* при выращивании на различных питательных субстратах.

В качестве объекта исследований выступал изолят гриба К-01П, выделенный из почвы на берегу р. Мостовица в микрорайоне «Чистые пруды» г. Кирова. По совокупности культуральных и морфологических признаков он

идентифицирован как представитель рода *Trichoderma* [3]. Этот штамм в предыдущих опытах продемонстрировал высокую антифузариозную активность в условиях *in vitro*, а также показал способность положительно влиять на параметры роста и развития яровой пшеницы в полевых условиях [4, 5].

С целью оценки оптимума кислотности для роста микромицета производили выращивание *Trichoderma* sp. на наиболее популярных питательных средах для грибов – Чапека и картофельно-глюкозном агаре (КГА) с показателями рН 4,5; 5,5; 6,5 [6]. Линейную скорость роста *Trichoderma* spp. вычисляли по формуле 1:

$$V = \frac{D2 - D1}{\Delta T} \cdot 24, \quad (1)$$

где V – линейная скорость роста, мм/сутки; $D1$ – диаметр колонии при первом измерении, мм; $D2$ – диаметр колонии при последующем измерении, мм; ΔT – промежуток времени между измерениями $D1$ и $D2$, часов.

Во второй серии опытов для поверхностного культивирования *Trichoderma* sp. К-01П использовали среду Чапека, КГА, а также бобовый агар (на основе отваров семян конских бобов и гороха) с показателем рН 5,5 (табл. 1).

Таблица 1

Состав питательных сред

Питательная среда	Состав, г/л
Чапека	Сахароза – 30; NaNO ₃ – 2; KН ₂ PO ₄ – 1; MgSO ₄ ·7H ₂ O – 0,5; KCl – 0,5; FeSO ₄ ·7H ₂ O – 0,01; агар-агар – 15,0
КГА	Картофель – 200; глюкоза – 20; агар-агар – 15,0
Бобовый агар	Бобы – 50; сахароза – 2; KН ₂ PO ₄ – 1; MgSO ₄ ·7H ₂ O – 0,3; агар-агар – 15,0

Посев триходермы производили уколом в центр поверхности среды (в 3-х повторностях). Инкубирование проводили в чашках Петри при $t^{\circ}=24\pm 1$ °С. В дальнейшем измеряли диаметры колоний микромицетов по внешнему краю через определённые промежутки времени (21 и 92 часа) с момента посева. Определяли показатели динамики роста исследуемых штаммов – скорость вегетативного роста (мм/сутки) и время начала споруляции (конидиеобразования).

Статистическую обработку проводили с использованием пакета программы Excel.

Для оценки выхода конидий приготовили суспензии спор триходермы путем их смыва с поверхности агаровой среды спустя 10 суток с момента посева культуры (10 мл стерильной воды на 1 чашку Петри диаметром 100 мм). Разбавляли полученные суспензии конидий в 50-100 раз и производили подсчёт численности спор в камере Горяева по формуле 2:

$$M = \frac{A \cdot 1000}{H \cdot S} \cdot N, \quad (2)$$

где M – число клеток, мл^{-1} ; A – среднее число клеток в квадрате сетки; H – глубина камеры, мм ; S – площадь квадрата камеры сетки, мм^2 ; N – разбавление исходной суспензии.

Для вычисления урожая конидий использовали следующую формулу 3:

$$Y = \frac{M \cdot V_{\text{В}}}{S}, \quad (3)$$

где Y – количество конидий, $(\text{см}^2)^{-1}$; M – число клеток, мл^{-1} ; $V_{\text{В}}$ – объем воды на чашку Петри, мл ; S – площадь чашки Петри, см^2 .

Согласно полученным данным, на синтетической среде Чапека прослеживается более чёткая зависимость скорости роста от показателя pH субстрата, чем при культивировании на КГА (табл. 2). При культивировании на КГА штамм триходермы показывает примерно одинаковую линейную скорость роста мицелия в диапазоне pH от 4,5 до 6,5. Вероятно, это связано с обилием питательных веществ и наличием разнообразных органических и неорганических соединений, присутствие которых в субстрате нивелирует влияние кислотности на культивируемые грибы. При визуальной оценке спороношения не было выявлено различий в зависимости от кислотности среды.

Таблица 2

Влияние кислотности на динамику линейного роста *Trichoderma* sp.

Среда	pH	Диаметр колоний через 21 ч после посева, мм	Диаметр колоний через 87 ч после посева, мм	Линейная скорость роста (по диаметру), мм/сутки
Картофельно-глюкозный агар	4,5	5,5±1,5	117,0±3,0	40,6±0,6
	5,5	3,3±1,8	108,0±18,0	38,2±5,9
	6,5	4,8±0,8	116,0±4,0	40,6±1,2
Чапека	4,5	3±1	77,3±6,7	27,1±2,1
	5,5	3,7±0,7	88,7±19,3	31,0±6,8
	6,5	4,0±1,0	70±0	24,0±0,2

Примечание: наибольшие значения показателей выделены жирным шрифтом.

На основе данных по показателю линейной скорости роста заключили, что pH 5,5 является наиболее оптимальным для культивирования триходермы на различных питательных субстратах. Сдвиг показателя в диапазоне значений 4,5–6,5 не приведёт к существенному замедлению процессов роста субстратного мицелия штамма-антагониста ввиду его метаболической и физиологической пластичности.

Во второй серии опытов оценили влияние состава субстрата на ростовые процессы *Trichoderma* sp. Наряду с такими широко используемыми средами для микромицетов, как Чапека и КГА, в опыт включили культивирование триходермы на бобовом агаре, который по результатам предыдущих также обеспечивает полноценный рост *Trichoderma* spp. [7]. В качестве показателей учитывали не только линейную скорость роста, но время начала споруляции и урожай конидий через 10 суток культивирования. Согласно результа-

там опыта, для исследуемого штамма максимальная скорость роста субстратного мицелия наблюдалась при культивировании на КГА (табл. 3).

Таблица 3

Влияние состава питательной среды на динамику линейного роста и спороношение *Trichoderma sp.*

Среда	Диаметр колонии, мм		Линейная скорость роста (по диаметру), мм/сутки	Урожай, конидий/см ²
	24 ч	72 ч		
Картофельно-глюкозный агар	11,00±4,36	100,67±1,15	44,83±1,61	3,20±0,34·10 ⁷
Отвар бобов конских	9,00±0	78,33±0,58	34,67±0,29	0,3±0,02·10 ⁷
Отвар гороха	11,00±2,65	92,00±3,46	40,50±1,32	4,85±0,27·10⁷
Чапека	6,00±0	81,67±0,58	37,83±0,29	2,22±0,21·10 ⁷

Примечание: наибольшие значения показателей выделены жирным шрифтом.

На всех питательных средах отмечалось одинаковое время начала спороношения, а именно конидиозенез начался спустя 3 суток с момента посева уколом.

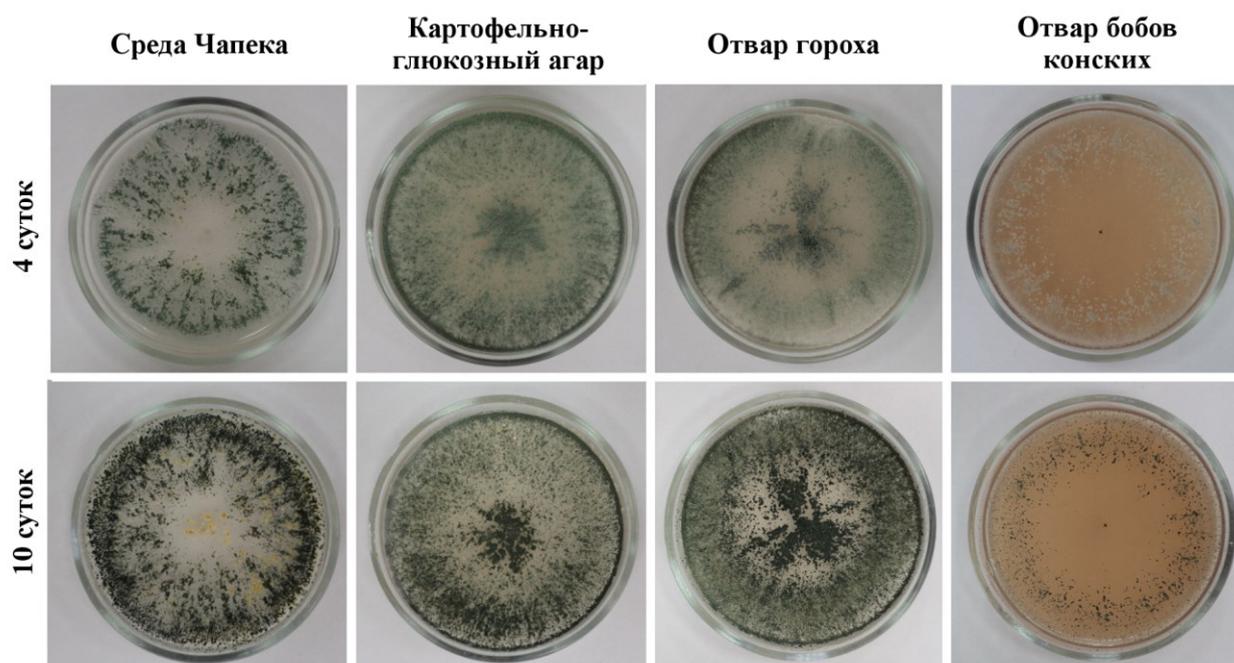


Рис. Рост *Trichoderma sp.* К-01П на различных питательных средах спустя 4 и 10 суток с момента инокуляции

Несмотря на малый разброс показателей скорости роста, наблюдались весомые различия в выходе конидий. Так, наиболее продуктивной оказалась культура, выросшая на агаризованном отваре гороха, урожайность конидий в данном случае превосходила этот показатель на КГА и агаре Чапека в 1,5 и 2,4 раза соответственно (табл. 3). Наиболее слабое спороношение наблюдалось при культивировании штамма на отваре конских бобов. Вероятно, это объясняется тем, что семена бобов содержат вещества, оказывающие ингибирующее действие на конидиогенез исследуемого штамма.

Таким образом, показано, что линейная скорость роста и время начала споруляции не являются основными показателями для оценки пригодности питательной среды для культивирования микромицетов р. *Trichoderma*. При этом важно учитывать урожай конидий. Оптимальным из изученных субстратов для культивирования *Trichoderma* sp. оказался агаризованный отвар семян гороха, который обеспечил лучшие показатели конидиогенеза. В дальнейшем эти результаты можно использовать при отработке технологии культивирования триходермы с целью получения промышленных образцов биопрепаратов.

Библиографический список

1. *Trichoderma*: The «secrets» of a multitalented biocontrol agent / M. Sood, D. Kapoor, V. Kumar et al. DOI: 10.3390/plants9060762 // Plants (Basel). 2020. Vol. 9. No. 6. Article No. 762.
2. Jahan N. Evaluation of the growth performance of *Trichoderma harzianum* (Rifai.) on different culture media. DOI: 10.9790/2380-0344450I // J. Agric. Vet. Sci. 2013. Vol. 3. No. 4. P. 44–50.
3. Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов / Пер. с англ. К. Л. Тарасова и Ю. Н. Ковалева; под ред. И. Р. Дорожковой. М. : Мир, 2001. 468 с.
4. Новые изоляты рода *Trichoderma* как перспективные агенты биоконтроля / П. А. Стариков, Л. И. Домрачева, Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 2. Киров : ВятГУ. 2023. С. 237–242.
5. Продуктивность яровой пшеницы на фоне микробной инокуляции семян / Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина, П. А. Стариков, Л. В. Волкова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 2. Киров : ВятГУ. 2023. С. 162–169.
6. Нетрусов А. И., Егоров М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М. : Академия, 2005, 608 с.
7. Стариков П. А., Домрачева Л. И., Скугорева С. Г. Сравнительная оценка питательных сред для культивирования микромицетов рода *Trichoderma*. DOI 10.25750/1995-4301-2022-1-044-049 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 44–49.

ПРИМЕНЕНИЕ ШТАММА *BACILLUS MEGATHERIUM* VAR. *PHOSPHATICUM* РСАМ03190 ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АГРОХИМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОСФОРИТНОЙ МУКИ

Н. В. Сырчина¹, Т. Я. Ашихмина^{1,2}, Г. В. Комоско¹
¹ Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар, Россия, ecolab2@gmail.com

Для биологического активирования фосфоритной муки (ФМ) в богатых органическим веществом почвах может найти применение штамм *Bacillus megatherium* var. *Phosphaticum* РСАМ03190. На бедных органикой почвах композицию ФМ и соответствующих бактерий следует вносить на фоне органических удобрений. Содержание подвижного фосфора в почве при совмест-

ном внесении бактерий, ФМ и навоза увеличивается на 25%, по сравнению с такой же нормой ФМ и навоза, но без бактерий.

Ключевые слова: *Bacillus megatherium var. Phosphaticum*, фосфоритная мука, органоминеральные удобрения, биологическая активация фосфоритной муки.

Фосфор (P) является важнейшим биогенным элементом. Содержание P в земной коре достаточно высокое и, по разным оценкам, достигает 800–1200 г/т, однако минеральные соединения этого элемента малорастворимы в воде, что ограничивает их биодоступность. Глобальный дефицит подвижного P в почве относится к основным лимитирующим факторам накопления биомассы и обеспечения высокой продуктивности агросистем. Восполнение дефицита P возможно за счет внесения растворимых фосфорных удобрений или за счет повышения биодоступности минеральных и органических форм этого элемента непосредственно в почве. Реализация второго направления осуществляется главным образом благодаря обитающим в почве микроорганизмам (МО), способным с помощью синтезируемых ими ферментов (фосфатаз) дефосфорилировать органические вещества, а также повышать растворимость минеральных фосфатов за счет продуцирования разнообразных кислот. Содержащиеся в кислотах катионы H^+ переводят малорастворимые средние фосфаты в более растворимые формы – гидрофосфаты, а анионы (кислотные остатки органических кислот) связывают входящие в состав малорастворимых фосфатов катионы (Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} и др.) в устойчивые комплексные соединения. Выраженные фосфатмобилизирующие свойства характерны для бактерий родов *Bacillus* sp. и *Pseudomonas* sp. [1–3]. В последние годы большой интерес вызывают исследования, направленные на изучение целесообразности применения соответствующих МО для активации фосфоритной муки (ФМ), получаемой размолотом природных фосфоритов. ФМ является самым дешевым и доступным для сельхозпроизводителей фосфорным удобрением [4]. В отличие от растворимых форм P-удобрений, вносимые в почву натуральные молотые фосфориты обладают пролонгированным периодом действия и не представляют опасности в плане загрязнения окружающей среды подвижными фосфатами [5]. Основным недостатком ФМ как удобрения является низкая биодоступность фосфора.

Цель настоящей работы – изучить целесообразность применения *Bacillus megatherium var. Phosphaticum* RCAM03190 для повышения агрохимической эффективности фосфоритной муки.

Исследования проводили на примере ФМ, полученной методом размолота фосфоритов верхнекамских бедных (ТУ 08.91.19-002-85629294-2020). В отличие от фосфоритов других месторождений, для фосфоритов верхнекамских бедных (ФВБ) характерно высокое содержание глауконита (до 60–70%) и низкое содержание Cd – основного нормируемого тяжелого металла в составе фосфорных удобрений [6–8]. Химический состав ФМ: массовая доля,

(%): P₂O₅ – 6,1±0,6; K₂O – 3,4±0,5; CaO – 9,2±0,2; S – 1,1±0,1; MgO – 1,5±0,2; органическое вещество – менее 1%. Содержание тяжелых металлов (мг/кг): Cd – 0,18±0,01; Cu – 6,0±0,3; Zn – 105±10; Pb – 13,8±1,1; Ni – 74,6±4,2; As – 34,6±2,4; Hg < 0,005.

Выбор МО для биологической активации ФМ обусловлен широким применением *B. megatherium* в агрохимии для повышения плодородия и супрессивности почв, а также отсутствием у соответствующих бактерий патогенных свойств. Штамм *Bacillus megatherium* var. *Phosphaticum* RCAM03190 депонирован в Ведомственной коллекции полезных микроорганизмов сельскохозяйственного назначения Россельхозакадемии (РСАМ). Штамм является активным мобилизатором труднорастворимых фосфатов и может рассматриваться как продуцент для разработки бактериальных препаратов с фосфатразлагающими свойствами.

В качестве субстрата для выполнения исследований использовали бедный песчаный грунт, отобранный с глубины 5–20 см. Лиофилизированные культуры бактерий диспергировали в дистиллированной воде, полученные суспензии вносили в грунт совместно с ФВБ и композицией «ФВБ + навоз КРС (воздушно-сухой)». Почву с добавками тщательно перемешивали и помещали в пластиковые контейнеры. Контейнеры во время эксперимента находились в помещении при температуре 20±2°С в условиях естественного освещения. Влажность грунта поддерживали на уровне 65±5%. Сроки проведения экспериментальных исследований: с 8.09.2023 по 28.09.2023. Состав добавок, вносимых в грунт разных вариантов эксперимента, приведен в таблице 1.

Таблица 1

Состав добавок, вносимых в грунт разных вариантов эксперимента

Вариант	Содержание компонента в составе добавки		
	ФВБ, г/кг	навоз КРС, г/кг	<i>Bacillus megatherium</i> var. <i>Phosphaticum</i> RCAM03190, КОЕ/г
1	1	0	0
2	1	0	2,5 · 10 ³
3	1	1	0
4	1	1	2,5 · 10 ³

Эксперимент проводили в трех повторностях. Статистическую обработку результатов выполняли общепринятыми методами в программе Microsoft Excel.

Отбор проб для химического анализа проводили через 20 суток после внесения МО в почву. Отбор проб для микробиологического анализа – сразу после внесения МО и других добавок (в день закладки эксперимента). Пробы отбирали из верхних слоев почвы (с глубины 0–2 см) методом конверта (из 5 точек) и сразу доставляли в лабораторию. Микробиологические исследования выполняли в специализированной микробиологической лаборатории научно-образовательного центра внедрения биотехнологий Вятского государственного университета. Из выбранных разведений делали высеив на плотную

питательную среду ГМФ. Термостатировали при (30 ± 2) °С в течение 24 ч. Результат выражали числом колониеобразующих единиц (КОЕ) в 1 г почвы.

Содержание фосфат-ионов в водной вытяжке из грунта (1:5) определяли фотометрическим методом по ПНД Ф 14.1:2:4.248-07 с помощью спектрофотометра ПЭ-5300ВИ. Приготовление водных вытяжек и измерение водородного показателя (рН) разных вариантов грунта выполняли согласно ГОСТ 26423-85. Содержание анионов определяли на ионном хроматографе «Стайер» (НПК Аквилон, Россия) по ФР.1.31.2005.01724 и ФР.1.31.2008.01738. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Анионный состав и рН водных вытяжек

Вариант	Содержание анионов, мг/дм ³				
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	рН
1	2,15±0,24	6,33±0,75	9,95±1,09	3,05±0,51	6,5±0,2
2	2,78±0,32	5,42±0,61	12,40±1,32	2,94±0,44	6,4±0,1
3	1,72±0,19	4,14±0,39	9,57±1,12	2,83±0,41	7,0±0,1
4	2,62±0,35	НО*	10,40±1,35	3,53±0,22	6,5±0,2

Примечание: * НО – ниже предела обнаружения.

Согласно приведенным в таблице 2 данным, внесение *B. megatherium* привело к снижению содержания в грунте нитратов, что может быть обусловлено активным включением азота в метаболизм соответствующих МО. Содержание сульфатов и хлоридов несколько увеличилось (на уровне тенденции), что, скорее всего, связано с компенсацией потери нитратов и некоторым снижением рН. Содержание фосфатов статистически значимо увеличилось в варианте 4 по сравнению с вариантами 1, 2 и 3. То есть включение *B. megatherium* в состав органоминеральных удобрений позволило увеличить подвижность фосфора примерно на 25%. Отсутствие положительного эффекта в варианте 2 по сравнению с вариантом 1, вероятно, обусловлено низким содержанием органического вещества в грунте. Известно, что бактерии *B. megatherium* var. *Phosphaticum* являются гетеротрофными МО (почвенными сапрофитами) для питания которых необходимо органическое вещество. Дефицит органических компонентов приводит к подавлению жизнедеятельности соответствующих гетеротрофов.

Производство биоорганоминеральных удобрений на основе побочных продуктов животноводства, природных фосфоритов и биопрепаратов можно рассматривать в качестве перспективного направления биологизации земледелия [9–11].

Выводы: *B. megatherium* var. *Phosphaticum* могут быть использованы в качестве биоактиваторов ФМ в почвах богатых органическим веществом. На бедных органикой почвах композицию ФМ и соответствующих бактерий следует вносить на фоне органических удобрений.

Внесение в почву *B. megatherium* var. *Phosphaticum* приводит к снижению содержания связанного азота (в форме нитратов), что может оказать негативное влияние на азотное питание растений. Вместе с тем, применение

этих МО при выращивании зеленных и овощных культур может способствовать улучшению качества урожая за счет уменьшения накопления в растениях нитратов. Соответствующие аспекты применения *B. Megaterium* требуют дополнительных исследований.

Полученные данные могут найти применение для оптимизации технологии использования микробиологических препаратов для повышения агрохимической эффективности фосфоритной муки.

Библиографический список

1. Применение сапропеля для активации почвенных фосфатмобилизирующих микроорганизмов / А. Ф. Минаковский, О. С. Игнатовец, В. И. Шатило и др. // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 101–106.

2. Чайковская Л. А., Овсиенко О. Л. Фосфатмобилизирующие микроорганизмы: 1. Биоразнообразие, влияние на минеральное питание растений и их продуктивность // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4 (28). С. 159–182.

3. 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 : Вятский государственный университет, 2023. С. 186–190.

4. Сырчина Н. В., Козвонин В. А., Сазанов А. В. Глауконитовые пески Вятско-Камского месторождения и перспективы их практического использования в сельском хозяйстве // Почвы России: вчера, сегодня, завтра : сб. статей по материалам Всерос. с междунар. участием науч. конф., посвящённой Году экологии и 90-летию со дня рождения профессора В. В. Тюлина. Киров : Вятский государственный университет, 2017. С. 108–113.

5. Сырчина Н. В., Богатырева Н. Н. Перспективы эксплуатации Вятско-Камского месторождения фосфоритов в современных условиях // 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. 258–262.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Химическая деградация земель под воздействием отходов животноводства DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-219-225 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 219–225.

10. 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.

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

СТРУКТУРА МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПОД ПОСЕВАМИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*Т. В. Кузнецова, А. А. Утомбаева, И. В. Князев, Л. К. Каримуллин,
Ю. А. Игнатьев, А. М. Петров*

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
г. Казань, Россия, kuznetsovatatyana@mail.ru*

Анализ почвенных образцов под посевами монокультур одно- и двудольных растений и их смеси, выращенных в чистой и загрязненной различными дозами нефти серой лесной среднесуглинистой почве, позволил выявить качественные и количественные изменения в микробном сообществе и ряд общих закономерностей влияния углеводородного загрязнения на формирование данных микробоценозов. Показано, что культивирование растений на загрязненных нефтью почвах способствует увеличению численности чувствительных к поллютанту микроорганизмов, стимулирует развитие ответственных за разложение органических веществ природного и техногенного характера групп микроорганизмов.

Ключевые слова: почвенный микробоценоз, нефтепродукты, серая лесная почва, вика посевная, рожь посевная.

Основой современной технологии биологической рекультивации нефтезагрязненных объектов окружающей среды является микробная деградация углеводов. Основанием использования растений для ремедиации почв служит эффект повышенной биодеградации поллютантов в корневой зоне. Обладающие гибким метаболизмом и уникальными ферментными системами растительно-микробные ассоциации имеют преимущества при выживании в неблагоприятных условиях окружающей среды, обусловленные не только более высокой толерантностью к ксенобиотикам, но и способностью к активному удалению токсикантов. Особенности ризосферы как экологической ниши (насыщенность питательными веществами, повышенная численность и физиологическая активность микроорганизмов) предполагают иной характер реакций микрофлоры на загрязнение в сравнении с почвой без растений. Исследование структуры и функций микробного сообщества корневой зоны растений в условиях углеводородного загрязнения позволяет выяснить причины и следствия интенсификации процессов деградации нефтяных углеводов в почве с растениями, которое лежит в основе эффекта фиторемедиации [1–3].

Цель исследований – изучение влияния культивирования одно- и двудольных сельскохозяйственных растений и их смеси на микробный пул нефтезагрязненной серой лесной среднесуглинистой почвы.

Исследования проводились на чистой и предварительно нефтезагрязненной технически рекультивированной серой лесной среднесуглинистой (СЛ) почве Республики Татарстан (горизонт А1), в которую до технической рекультивации была искусственно внесена добытая на юго-востоке Республики Татарстан парафинистая, сернистая смолистого типа нефть. Определенное ИК-спектрометрическим методом [4] остаточное содержание нефтепродуктов (НП) в опытных вариантах (О1, О2, О3 и О4) после технической рекультивации составляло: 1,3; 6,1; 11,6 и 15,4 г/кг, соответственно. Контролем (К) служила исходная СЛ почва.

Контрольный и опытные варианты были разделены на 3 части, в которые для проведения хронических исследований высевали: на первую – рожь посевную (опыт Р); на вторую – вику посевную (опыт В); на третью – смесь рожь + вика (опыт РВ).

В вегетационных опытах были использованы однодольное – рожь посевная (*Secale cereale* L.) и двудольное – вика посевная (*Vicia sativa* L.) растения, выбор которых определялся результатами ранее проведенных исследований [5]. Хронические опыты были проведены в лабораторных условиях при следующих параметрах: – температура окружающего воздуха 19–25 °С; – влажность почвы 20–25% от полной влагоемкости; – освещение растений в течение 16 часов в сутки фитолампами с интенсивностью – 4000 Лк. Растения выращивались в пластиковых емкостях высотой 9 см, объемом 550 мл, содержащих по 400 г почвы. Количество повторностей в вариантах – 3. В опыте РВ растения высевали в соотношении 1:1, общее количество растений в каждой повторности всех опытов было одинаковым. Через 42 дня культивирования растения удалялись, после чего изучался состав микробного пула чистых и загрязненных нефтью почвенных образцов. При проведении исследований определяли общую численность микроорганизмов (ОМЧ), численность углеводородокисляющих (УОМ), актиномицетов (АМ) и микромицетов (ММ), бактерий усваивающих минеральный азот (БУМА), нитрификаторов (НФ) и целлюлозоразрушающих (ЦРМ) микроорганизмов [6]. Численность исследуемых групп выражали в КОЕ/г абсолютно-сухой почвы.

Предварительная техническая рекультивация загрязненных нефтью почвенных образцов привела к увеличению численности гетеротрофных, углеводородокисляющих микроорганизмов, микромицетов, бактерий утилизирующих минеральный азот, снижению численности актиномицетов, нитрификаторов и целлюлозоразрушающих микроорганизмов (табл.), что в целом согласуется с ранее проведенными исследованиями [2, 7].

Исходный состав микробных сообществ контрольного и опытных вариантов серой лесной почвы (КОЕ/г)

Группа микроорганизмов	Варианты				
	К	О1	О2	О3	О4
ОМЧ $\times 10^7$	2,6	19,5	15,6	16,2	25,2
УОМ $\times 10^6$	3,4	16,4	19,2	24,1	28,0
Актиномицеты $\times 10^5$	29,7	12,6	12,8	12,7	11,5
Микромицеты $\times 10^4$	0,9	17,2	31,0	27,4	32,5
БУМА $\times 10^6$	45,9	151,7	88,4	86,8	114,7
Нитрификаторы $\times 10^2$	3,2	0,6	0,6	0,6	0,6
Целлюлозоразрушающие $\times 10^4$	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1

Культивирование вики посевной на исходной СЛ почве привело к увеличению численности ММ (в 5,9 раза), и БУМА (в 1,3 раза), значительному снижению содержания УОМ, НФ и ЦРМ (рис. 1). В отличие от контроля в загрязненных нефтью почвенных образцах численность большинства групп микроорганизмов увеличилась, содержание НФ в вариантах О2–О4 снизилось на 70%.

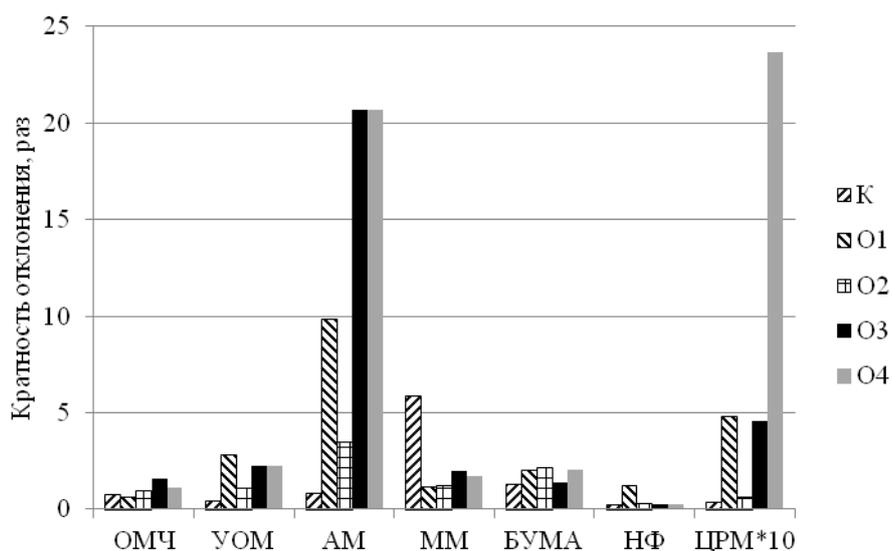


Рис. 1. Изменение численности микроорганизмов в образцах серой лесной почвы после выращивания вики посевной

Результатом культивирования ржи посевной на исходной СЛ почве явилось увеличение ОМЧ и БУМА в 1,3 раза, ММ в 5,9 раз, НФ в 2,7 раза. Также как и в опыте с викой, снизилась численность УОМ и ЦРМ (рис. 2). В нефтезагрязненных образцах закономерно повысилась численность УОМ и являющихся деструкторами поллютантов АМ. Культивирование ржи в вариантах О2–О4 способствовало развитию гетеротрофных микроорганизмов и являющихся важной составляющей почвенных микробиоценозов чувствительных к поллютанту БУМА и ЦРМ. Снижение пресса поллютанта в вари-

анте О1 привело к 4,8-кратному увеличению численности НФ, что также является положительным фактором.

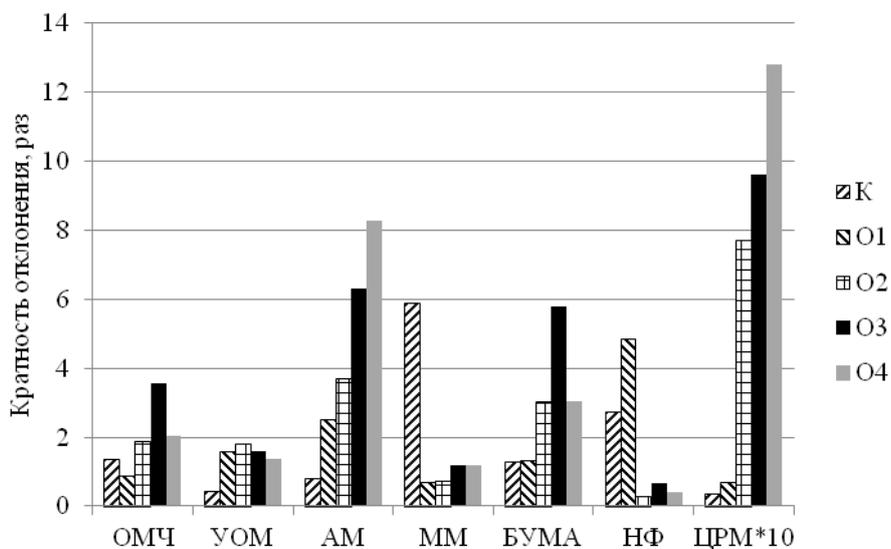


Рис. 2. Изменение численности микроорганизмов в образцах серой лесной почвы после выращивания ржи посевной

При выращивании смеси растений на исходной СЛ наблюдалось увеличение численности ММ, НФ и ЦРМ. Снижение токсического действия поллютанта при совместном культивировании ржи и вики посевной привело к значительному увеличению численности ЦРМ во всех опытных вариантах, НФ в вариантах О1–О3, что указывает на активизацию окислительных процессов, улучшение свойств почв (рис. 3). Следует отметить, что в загрязненных НП опытных образцах, инкубированных в течение 42 суток без растений, численность НФ и ЦРМ осталась на исходном низком уровне.

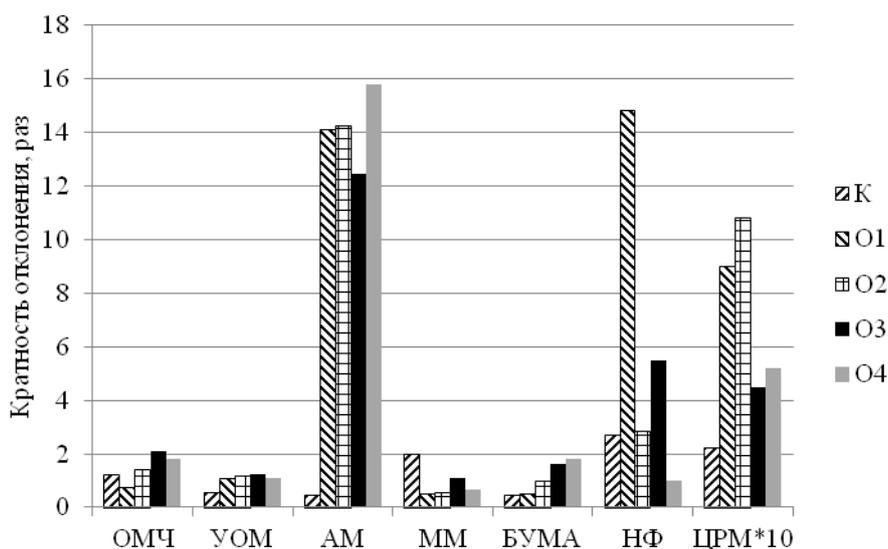


Рис. 3. Изменение численности микроорганизмов в образцах серой лесной почвы после выращивания смеси растений

Проведенные опыты показали, что культивирование растений на загрязненных нефтью почвах способствует снижению токсического действия, стимулирует развитие и увеличение численности ответственных за разложение органических веществ природного и техногенного характера групп микроорганизмов.

Выращивание монокультур выбранных растений на нефтезагрязненной серой лесной почве дает положительный эффект, который различается по уровню воздействия на разные группы микроорганизмов в зависимости от содержания поллютанта. Использование при фиторекультивации смеси растений нивелирует различия во влиянии монокультур и способствует более равномерному развитию исследованных групп микроорганизмов в испытанном диапазоне содержания поллютанта.

Библиографический список

1. Муратова А. Ю. Растительно-микробные ассоциации в условиях углеводородного загрязнения : спец. 03.02.03 : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Саратов, 2013. 48 с.
2. Состав микробных сообществ при разном содержании нефтепродуктов в серых лесных почвах / Т. В. Кузнецова, А. М. Петров, И. В. Князев, Р. Э. Хабибуллин // Вестник технологического ун-та. 2016. Т. 19, № 14. С. 165–168.
3. Использование комплексной фиторемедиации для очистки почвы, загрязненной нефтешламом / А. Ю. Муратова, А. Д. Бондаренкова, Л. В. Панченко, О. В. Турковская // Биотехнология. 2010. № 1. С. 77–84.
4. ПНД Ф 16.1.2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. М., 1998. Издание 2005. 13 с.
5. Скрининг растений для фиторемедиации нефтезагрязненных почв / А. А. Утомбаева, Э. Р. Зайнулгабидинов, Т. В. Кузнецова, А. М. Петров. DOI: 10.24852/2411-7374.2022.1.68.75 // Российский журнал прикладной экологии 2022. № 1. С. 68–75.
6. Егоров Н. С. Практикум по микробиологии. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1976. 307 с.
7. Биологическая активность и состав микробного пула серой лесной почвы в условиях длительного воздействия нефтяного загрязнения / А. М. Петров, Л. К. Каримуллин, А. А. Вершинин, Т. В. Кузнецова // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 2. С. 26–30.

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННОЙ МИКРОБИОТЫ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Е. Е. Гаевский, В. А. Габриялович
Белорусский государственный университет,
г. Минск, Республика Беларусь, gaevski@rambler.ru

Представлены данные о численности почвенных микроорганизмов в почвах в условиях различного антропогенного воздействия. На примере почв газонов города Минска вдоль автомагистрали.

Ключевые слова: биоиндикация, городские почвы, микробиота, загрязнение.

Городские почвы отличаются от сельскохозяйственных почв во многих отношениях, включая их гетерогенность, уникальные поступления органического вещества, физическую структуру, химический состав, температурный и водный режимы, а также воздействие прошлой и настоящей антропогенной деятельности [1].

Даже незначительные нарушения в городской почве могут существенно повлиять на микробное сообщество. Существует множество стрессовых факторов, которые всказываются на почвенных микроорганизмов в городских условиях. К таким факторам относятся повышенные температуры, измененный водный режим и высокий уровень загрязнения как неорганическими, так и органическими соединениями. Антропогенное воздействие может влиять как на количественные, так и на качественные параметры почвенных микробных сообществ.

Микробная реакция на антропогенное воздействие является быстрой и хорошо дифференцированной, что помогает в короткие сроки определить наиболее уязвимые экологические зоны, предсказать условия, при которых антропогенное воздействие будет сохраняться, и спрогнозировать меры, необходимые для смягчения этого воздействия [2].

Цель исследования – изучить структуру почвенных микробных сообществ и их особенности в условиях городской среды.

Объектами исследования являлись почвы урбанизированной территории (г. Минск), подвергающиеся разному по степени интенсивности антропогенному и техногенному давлению. В частности, были исследованы почвы газонов города вдоль автомагистрали (МКАД, магистраль М9), почвы рекреационных территорий. Пробы почв были отобраны на 4 участках: № 1 – газон по ул. Курчатова; № 2 – газон по ул. Наполеона Орды; № 3 – газон вблизи МКАДа; № 4 – газон вблизи корпуса биологического факультета Белорусского государственного университета. Далее места исследуемой почвы в тексте – 1, 2, 3, 4, соответственно.

Отбор образцов почвы проводили летом (июль) 2022–2023 гг. Определение численности осуществляли методом посева на селекционные питательные среды.

Наиболее бедным по количеству аммонификаторов оказался газон около МКАДа (№ 3), где их численность варьировала от 24,8 до 28, тыс. КОЕ/г почвы.

Промежуточное место по количеству аммонификаторов обнаружено в образцах № 1 (газон по ул. Курчатова) и № 2 (газон по ул. Наполеона Орды). Их количество колеблется от 37,3 до 62,2 тыс. КОЕ/г в почвенном профиле. Наибольшее количество выявлено в пробе № 4 (газон около биологического факультета БГУ). Такое распределение аммонификаторов по профилю связано, прежде всего, с содержанием богатых азотом органических веществ и растительных остатков, так как эти соединения подвергаются аммонификации.

Наибольшее количество олигонитрофилов обнаружено в образцах почвы № 3 (газон около МКАДа) и № 4 (газон около биологического

факультета). Высокое содержание микроорганизмов в почве, вероятно, обусловлено движением автотранспорта и связанными с этим сильными выбросами пыли, а также оксидами азота, содержащимися в выхлопных газах.

Численность денитрификаторов в почве варьировало в пределах 3,101 – 151,515 тыс. КОЕ/г почвы. Количество денитрификаторов в образце № 4 существенно отличается от остальных образцов. Вероятнее всего, этому способствуют внесение азотных удобрений и переувлажнение в результате искусственного полива и естественных осадков.

Наибольшая популяция актиномицетов была обнаружена в образце, собранном на газоне около МКАДа. Наименее заселенный участок был обнаружен в образцах, собранных на газоне около биологического факультета БГУ.

Такие результаты объясняется тем, что актиномицеты способны к биоремедиации (т.е. расщепление загрязняющих веществ на безвредные химические вещества). Выше было сказано, что почва вблизи автомагистрали загрязнена нефтепродуктами, а также тяжелыми металлами. Так как актиномицеты являются ведущей категорией разрушителей в некоторых загрязненных районах, можно сделать вывод: чем выше уровень загрязнения, тем больше количество актиномицетов в почве.

Известно, что микрогрибы играют особенно важную роль в деградации нефтепродуктов, являясь важным компонентом сообщества почвенных микроорганизмов. Их мицелиальная структура обеспечивает им большую площадь адсорбционной поверхности, что также важно при деструкции нефтяных углеводов.

Благоприятной средой для развития микроскопических грибов является почва газона около МКАДа (30,995 тыс. КОЕ/г абсолютно сухой почвы). Загрязнение почвы углеводородами может быть фактором, способствующим развитию микроскопических грибов.

Выявлено, что уровень загрязнения почв во многом определяет состав и разнообразие микробных сообществ в почвах исследуемых территорий.

Микробные сообщества городских почв претерпевают радикальные изменения и значительно отличаются от естественных почв тех же районов. Влияние антропогенных факторов, присутствующих в городе, приводит к изменениям как в численности, так и в составе почвенных микробных сообществ.

Библиографический список

1. Добровольский Г. В. Экологическая роль почвы в биосфере и в жизни человека. Роль почв в биосфере // Труды ИЭП МГУ имени М. В. Ломоносова. Вып. 8. М : МАКС-Пресс, 2007. 325 с.
2. Lehmann A., Stahr K. Nature and significance of anthropogenic urban soils // Journal of Soils and Sediments. 2007. Vol. 7. P. 247–260.

РАЗРАБОТКА ТЕСТ-СИСТЕМЫ ДЛЯ ВИДОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ СЕПТОРИОЗА ПШЕНИЦЫ, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

И. С. Бердычева (Агалакова)

*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, agalakova1998@mail.ru*

В статье представлены результаты видовой идентификации возбудителей септориоза методом локус-специфичной ПЦР. Предложенная тест-система подтверждена на препаратах геномной ДНК коллекционных штаммов данных патогенов. Подобраны праймеры для идентификации видов *Sep-toria tritici*, *Parastagonospora avenae* и *P. nodurum*, наиболее часто выявляемые на территории Российской Федерации.

Ключевые слова: возбудители септориоза, генетические маркеры, полимеразная цепная реакция, видовая идентификация.

Септориоз является повсеместно распространенным заболеванием злаковых культур растений, наносящим огромный вред сельскому хозяйству. Поэтому важно контролировать распространение возбудителей септориоза, идентифицировать и типировать штаммы возбудителей, оценивать их вирулентные свойства, оценивать устойчивость возделываемых сортов растений к актуальным штаммам возбудителей и выявлять резистентные сорта и линии растений.

Оценка биологических свойств возбудителей септориоза на конкретных территориях, а также разработка специфических тест-систем для молекулярно-генетических исследований по идентификации возбудителей септориоза и оценке их вирулентных свойств позволит выявлять резистентные к данному штамму возбудителя септориоза линии растений.

Целью данной работы является разработка тест-системы для видовой идентификации возбудителей септориоза пшеницы, характерных для территории Кировской области.

Для достижения цели понадобилось решить следующие задачи:

1. Провести анализ структуры генетических локусов, используемых для молекулярно-генетической характеристики возбудителей септориоза.
2. Обосновать праймеры для видовой идентификации характерных для России возбудителей септориоза пшеницы методом локус-специфичной ПЦР.
3. Выделить препараты геномной ДНК коллекционных штаммов возбудителей септориоза, а также препараты геномной ДНК с пораженных септориозом листьев различных сортов пшеницы.
4. Оценить специфичность работы обоснованных праймеров на препаратах ДНК идентифицированных коллекционных штаммов возбудителей септориоза.

5. Применить разработанную тест-систему для идентификации природных изолятов возбудителей септориоза.

Объект исследования: ДНК возбудителей септориоза пшеницы, выделенные из чистых культур и природных изолятов; генетические маркеры для видовой идентификации несовершенных грибов семейств *Mycosphaerellaceae* и *Phaeosphaeriaceae*.

Методы исследований: выделение геномной ДНК из культур возбудителей септориоза, ПЦР анализ, гель-электрофорез ДНК в 8% полиакриламидном геле.

Анализ структуры пяти генетических маркеров, используемых для видовой идентификации отдельных групп грибов – возбудителей септориоза, показаны в таблице 1 [1–3].

Таблица 1

**Характеристика генетических маркеров,
используемых для видовой идентификации возбудителей септориоза**

Название маркера	Продукт	Длина фрагмента
<i>ITS</i>	Межгенный транскрибируемый спейсер в кластере генов рРНК	500–560 п. н.
<i>Btub</i>	бета-тубулин	250–340 п. н.
<i>EF-1 alfa</i>	Фактор-1 альфа элонгации трансляции	250–540 п. н.
<i>LSU</i>	28S рРНК эукариот	~ 700 п. н.
<i>RPB2</i>	большая субъединица РНК-полимеразы II эукариот	~ 340 п. н.

Анализ первичных структур 360 последовательностей каждого маркера в геномах возбудителей септориоза и септориозоподобных заболеваний показал, что маркер *RPB2* является наиболее оптимальным для обоснования тест-системы для видовой идентификации возбудителей септориоза, характерных для территории Кировской области.

Локус *RPB2* кодирует большую субъединицу РНК-полимеразы II эукариот [4–5]. Для исследования выбран фрагмент гена длиной около 340 нуклеотидов в районе 1200–1600 нуклеотидов по длине гена. Маркер проявляет степень гомологии среди 360 организмов возбудителей септориоза 64,99–86,65%, среди близкородственных *Parastagonospora avenae* и *P. nodorum* – 92–93%.

К вариабельным участкам локуса *RPB2* обоснованы праймеры для видовой идентификации возбудителей септориоза видов *P. avenae*, *P. nodorum* и *Septoria tritici* – целевых возбудителей септориоза на территории Кировской области. В таблице 2 указаны характеристики подобранных праймеров, специфичность праймеров проверена с использованием программы Blast.

Таблица 2

Характеристика праймеров для идентификации целевых возбудителей септориоза

№ п/п	Вид возбудителя	Структура праймера	Целевой маркер	Длина амплификата, п. н.
1	<i>S. tritici</i>	f 5`- GTAAGGACTTCAACATTGCG -3` r 5`- CAAATGACTCAAGGTCGAG -3`	<i>RPB2</i>	169
2	<i>P. nodorum</i>	f 5`- АТАСТСТТТГГССАСГГГТ -3` r 5`- СГАССААССГГСГТГТТС -3`	<i>RPB2</i>	137
3	<i>P. avenae</i>	f 5`- АТАСТСТТТГГССАСТГГС -3` r 5`- СГАССГАСТГГСГТГТТТ -3`	<i>RPB2</i>	137

В таблице 3 описан режим постановки ПЦР с использованием указанных праймеров.

Таблица 3

Режим локус-специфичной ПЦР для видовой идентификации целевых возбудителей септориоза

Стадия	Режим
1	96 °С, 5 мин
2 (30 циклов)	
Денатурация	96 °С, 1 мин
Отжиг	55 °С, 45 сек
Элонгация	72 °С, 30 сек
3	72 °С, 5 мин
4 (хранение)	10 °С

Оценивали специфичность и правильность работы обоснованных нами праймеров с помощью постановки локус-специфичной ПЦР на образцах геномной ДНК коллекционных штаммов возбудителей септориоза из коллекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (лаборатория молекулярной биологии и селекции) – *S. nodorum* 2-6; *S. tritici* НН-4-4; изолят п/а; *P. nodorum* NB 1-6; *P. nodorum* NB 2-5; *P. nodorum* Красноярск 1; *P. nodorum* Sibia, и на природных изолятах № 1–5 из коллекции кафедры микробиологии ВятГУ. Результаты оценки представлены на рисунках 1–3.

При постановке ПЦР с праймерами, специфичными к *S. tritici*, целевой продукт длиной около 170 п.н выявлен только у образца геномной ДНК коллекционного штамма *S. tritici* (рис. 1, дорожка 4). Результат ПЦР показывает, что обоснованные нами праймеры специфичны только к патогену *S. tritici*.

Пара праймеров для идентификации возбудителя *P. nodorum* также доказала свою работоспособность, об этом свидетельствуют электрофореграммы результатов ПЦР на рисунке 2. Амплифицированный целевой фрагмент расчетной длины около 137 п.н. выявляется у всех коллекционных видов, идентифицированных как *P. nodorum*, и отсутствует у возбудителя *S. tritici*.

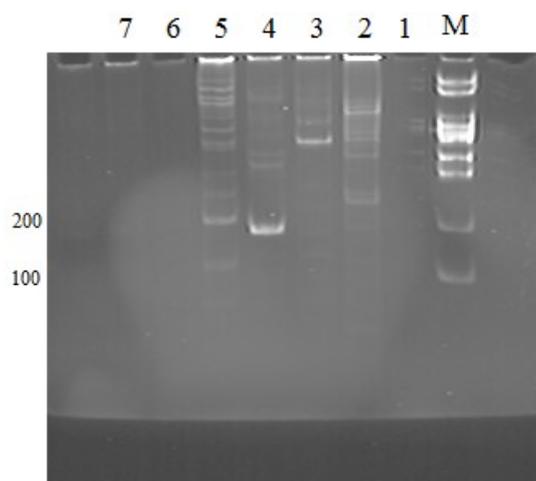


Рис. 1. Результаты ПЦР с использованием праймеров для идентификации фитопатогена *S. tritici*

Условные обозначения: М – маркеры ДНК, 1 – пустая дорожка, 2 – *S. nodorum* 2-6, 3 – изолят № 3, 4 – *S. tritici* НН-4-4, 5 – изолят n/a, 6 – природный изолят № 1, 7 – природный изолят № 2.

С помощью данной пары праймеров удалось идентифицировать пять природных изолятов, выделенных из пораженных листьев пшеницы.

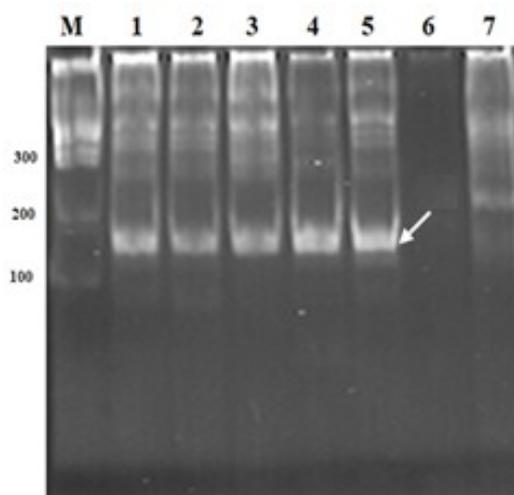


Рис. 2. Результаты ПЦР с использованием праймеров для идентификации фитопатогена *P. nodorum*

Условные обозначения: М – маркер; 1 – *P. nodorum* штамм 2-6; 2 – *P. nodorum* штамм NB 1-6; 3 – *P. nodorum* штамм NB 2-5; 4 – *P. nodorum* штамм Красноярск 1; 5 – *P. nodorum* штамм Sibia; 6 – пустая дорожка; 7 – *S. tritici*.

Постановка ПЦР с праймерами, специфичными к *P. avenae*. Не дала положительного результата на образцах ДНК возбудителей септориоза, идентифицированных как *P. nodorum* и *S. tritici*, но целевой амплификат правильной длины около 140 п. н. выявлен у природного изолята № 3 из коллекции кафедры микробиологии ВятГУ (рис. 3). Это дает нам основание идентифицировать изолят как *P. avenae*.

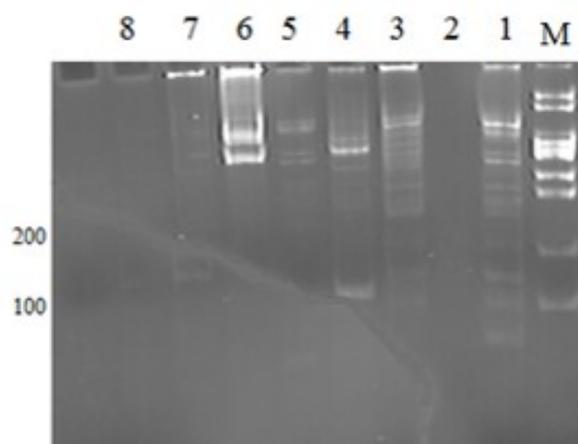


Рис. 3. Результаты ПЦР с использованием праймеров для идентификации фитопатогена *P. avenae*

Условные обозначения: М – маркеры ДНК, 1 – *S. nodorum* 2-6, 2 – *S. nodorum* Красноярск 1, 3 – изолят № 3, 4 – *S. tritici* НН-4-4, 5 – изолят n/a, 6 – природный изолят 1, 7 – природные изолят № 2, 8 – природный изолят № 4.

Важно, что *P. nodorum*, очень похожие и близкие к грибу *P. avenae*, с праймерами к *P. avenae* не реагируют. Т. е. подобранные нами праймеры очень специфичны и точны, так как разделяют эти 2 вида.

Таким образом, анализ геномов коллекционных штаммов показывает, что разработанная нами тест-система для видовой идентификации возбудителей септориоза, характерных для территории Кировской области, работает специфично и правильно.

С помощью разработанной тест-системы 4 природных изолята возбудителей септориоза, выделенных с пораженных листьев пшеницы, идентифицированы как *P. nodorum*, один изолят – как *P. avenae*.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю, канд. биол. наук И. А. Лундовских за оказанную помощь в проведении исследований.

Библиографический список

1. Shipton W. A., Boyd W. R. J., Rosielle A. A. The common *Septoria* diseases of wheat. DOI: 10.3114/sim0017 // Bot. Rev. 1971. Vol. 37. No. 2. P. 231–262.
2. Sizing up *Septoria* / W. G. J. M. Quaedvlieg, G. J. M. Verkley, H. D. Shin et al. DOI: 10.3114/sim0017 // Stud. Mycol. 2013. No. 75. P. 307–390.
3. Тетеревникова-Бабаян Д. Н. Грибы рода Септория в СССР : учеб. Ереван : Изд-во АН АрмССР, 1987. 479 с.
4. Turgeon B. G., Yoder O. C. Proposed nomenclature for mating type genes of filamentous ascomycetes. DOI: 10.1006/fgbi.2000.1227 // Fung. Genet. Biol. 2000. Vol. 31. No. 1. P. 1–5.
5. Sanderson F. R. A. *Mycosphaerella* species as the ascogensus state of *Septoria tritici*. DOI: 10.1080/0028825X.1972.10430256 // N. Z. J. Bot. 1972. Vol. 10. P. 707–709.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

В. С. Симакова¹, П. А. Стариков¹, Л. И. Домрачева^{1,2}

¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия,

vasilina.simakova.1989@mail.ru, ya.starikov-pavel@yandex.ru,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия, *dli-alga@mail.ru*

Проведена оценка токсичности различных синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) на примере автошампуней Концентрат, Uni, Felix и лаурил сульфат натрия (ЛСН) для различных групп микроорганизмов, используемых в качестве биоиндикаторов и тест-организмов. Показана возможность использования в качестве биоиндикаторов и тест-организмов бактерии рода *Azotobacter*, групповой состав фототрофных сообществ, бактерии рода *Bacillus* (*B. mesentericus* и *Bacillus* sp.) и микромицеты рода *Trichoderma*.

Ключевые слова: синтетические поверхностно-активные вещества, тест-организмы, организмы-биоиндикаторы.

К числу поллютантов, объём попадания которых в окружающую среду постоянно возрастает на 2–5% в год, относятся синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) [1]. Хотя определение степени их токсичности для живых организмов началось сравнительно недавно, установлено, что в некоторых случаях СПАВ являются более опасными загрязнителями среды, чем полагали ранее [2].

При этом, как и для других загрязняющих веществ, степень токсичности СПАВ для биоты проводят, используя тест-организмы и организмы-индикаторы различной систематической принадлежности [3].

Однако анализ литературных данных показывает, что среди тестируемых СПАВ практически отсутствуют автошампуни, популярность которых для мойки автомобилей возрастает с каждым годом так же, как и количество автомоек. Поэтому возникает необходимость проведения исследований, связанных с изучением экологических последствий циркуляции автошампуней в окружающей среде.

Цель работы – изучить возможность использования различных групп микроорганизмов в качестве организмов-индикаторов и тест-организмов для оценки токсичности автошампуней и химически чистого ЛСН.

В качестве объектов исследования были выбраны образцы городской почвы вблизи автомойки (для проведения полевых опытов) и образцы дерново-подзолистой полевой почвы (для проведения модельных опытов).

Тестируемыми видами СПАВ были ЛСН и 3-х марки автошампуней: Концентрат, Uni и Felix в следующих количествах от рекомендуемой дозы (1 р. д.): 0,25; 0,5; 1; 2 и 4 р. д.

По норме для мойки машин расчётная (рекомендуемая) доза (1 р. д.) химически чистого АПАВ ЛСН составляет 130 мг порошка на 1 л дистиллированной воды. Для автошампуней Концентрат (АПАВ + НПАВ), Uni (АПАВ + НПАВ) и Felix (КПАВ + АПАВ) 1 р. д. составляет 10, 40 г и 30 г на 1000 мл воды соответственно.

Для изучения токсичности исследованных СПАВ использовали методы биондикации и биотестирования. В частности, в исследуемой городской почве, расположенной на разном расстоянии от автомойки, проводили учет численности эукариот (водоросли) и прокариот (цианобактерии (ЦБ), и определяли их видовое разнообразие в различных вариантах [3–7].

При использовании бактерий р. *Azotobacter* в качестве биоиндикаторов в почву вносили ЛСН в разных концентрациях с последующим определением диаметра выросших колоний [4].

В качестве тест-организмов были выбраны ЦБ *Nostoc paludosum* Kütz № 18, 2 вида бактерий *Bacillus* (выделенные из гербарных образцов бурых водорослей) [5] и микромицеты рода *Trichoderma* К-01П (выделенные из почвенного образца, отобранного у берега реки Мостовицы в микрорайоне «Чистые пруды» г. Кирова) [6].

Учет численности ЦБ и микроводорослей в почве проводили методом прямого микроскопирования на мазках.

Изучение влияния токсичности СПАВ Felix на гриб р. *Trichoderma* проведено через 96, 238 и 384 ч после его посева.

Также был определен показатель динамики роста триходермы – скорость вегетативного роста (мм/сутки).

Линейную скорость роста *Trichoderma* вычисляли по формуле:

$$v = \frac{D_2 - D_1}{\Delta T} \cdot 24,$$

где v – линейная скорость роста, мм/сутки; D_1 – диаметр колонии при первом измерении (96 ч с момента посева), мм; D_2 – диаметр колонии при последующем измерении (384 ч с момента посева), мм; ΔT – промежуток времени между измерениями D_1 и D_2 , ч.

Все данные были статистически обработаны.

Городские почвы испытывают сильное воздействие от поллютантов различной природы, в частности, вблизи автомоек неизбежно накапливались автошампуни и продукты их распада (табл. 1).

Наиболее чувствительными оказались представители зелёных водорослей, которые полностью отсутствуют в почвенных образцах, отобранных на расстоянии 3 и 6 м от автомойки. К видам фототрофов относятся *Leptolyngbya angustissima* (W. et G.S. West) Anagn. et Kom., *Nostoc punctiforme* (Kütz.) Hariot (Cyanobacteria) и *Eustigmatos magnus* (B. Petersen) Hibberd (Xanthophyta). При этом, в фоновом варианте ЦБ составляют чуть больше 35% от общего видо-

вого обилия, а на расстоянии 3 м от автомойки этот показатель увеличился до 80%, а на расстоянии 6 м – 66,7%, т. е. в случае загрязнения почвы СПАВ наблюдается феномен цианобактериализации [5, 7, 8].

Таблица 1

**Биоиндикация состояния почвы
по видовому обилию микрофототрофов [7]**

Расстояние от автомойки, м	Нефтепродукты, мг/кг	Cyano-bacteria	Отделы водорослей			Число видов фототрофов / процентов от фона
			Clorophyta	Xanthophyta	Bacillariophyta	
3	6900±1700	4	–	1	–	5/29,4
6	1080±270	6	–	1	2	9/52,9
9	2200±500	6	3	1	3	13/76,5
Фон	24±9	6	5	3	3	17/100,0

Примечание: прочерк обозначает отсутствие представителей данного отдела водорослей.

При биотестировании определяли характер действия автошампуней на автотрофные и гетеротрофные бактерии и микромицеты.

Опыт, проведенный с ЦБ *N. paludosum* показал, что при внесении ЦБ в почву с одновременным внесением трех автошампуней происходит существенное снижение численности данного вида (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние синтетических поверхностно-активных веществ
на рост и развитие ЦБ *N. paludosum***

Вариант	Содержание фосфатов, мг/дм ³	Количество ЦБ по отношению к контролю, %
Контроль	н.о.	100,0
Автошампунь Uni	1,04±0,4	2,0
Автошампунь Концентрат	0,08±0,03	40,8
Автошампунь Felix	0,10±0,03	9,4

Примечание: н.о. – не определяли.

Результаты показывают, что наиболее токсичным для ЦБ *N. paludosum* являлся автошампунь марки Uni, так как в его составе находится наибольшее содержание органического фосфора [9]. Отсюда, данный вид можно ЦБ можно использовать в качестве тест-организма.

Следующей группой используемых тест-организмов явились 2 вида бактерий, которые относятся к наиболее адаптированным микробам к стрессам окружающей среды из-за способности к спорообразованию.

Внесение ЛСН в питательную среду (ГРМ-агар) в возрастающих концентрациях привело к резкому снижению численности изучаемых микробных группировок (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние ЛСН на численность бацилл, выделенных
из гербарных образцов бурых водорослей**

Вариант	Численность клеток, тыс. КОЕ/мл	
	<i>Bacillus mesentericus</i>	<i>Bacillus</i> sp.
Контроль	149,6±3,5	80,4±7,2
0,25 р. д.	14,3±1,9	5,5±0,4
0,5 р. д.	11,0±1,2	4,1±0,6
1,0 р. д.	6,3±0,96	0
2,0 р. д.	0,367±0,057	0
4,0 р. д.	0	0

Примечание: р. д. – рекомендуемая доза для мойки машин.

Сила угнетающего эффекта ЛСН на оба штамма бацилл увеличивалась по мере увеличения концентрации поллютанта: для *B. mesentericus* в 407 раз в варианте 2 р. д. и в 19,6 раз для *Bacillus* – при 0,5 р. д.

Полное угнетение роста бацилл наблюдалось при 4 р. д. для *B. mesentericus*. Чувствительность *Bacillus* sp. к данному поллютанту была намного сильнее: полное подавление роста наступало уже при 1 р. д. ЛСН.

Вычисленный коэффициент корреляции между дозами ЛСН и численностью бацилл составлял $r = -0,5$, что свидетельствует о средней отрицательной корреляции.

В качестве эукариотного тест-организма выбран микромицет р. *Trichoderma*, на примере которого испытывали токсичность возрастающих концентраций автошампуня марки Felix. В качестве маркерного признака определяли скорость линейного роста этого гриба при различных концентрациях СПАВ (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние возрастающих концентраций СПАВ Felix
на развитие и скорость линейного роста гриба р. *Trichoderma***

Вариант	Контроль	0,25 р. д.	0,5 р. д.	1,0 р. д.	2,0 р. д.	4,0 р. д.	r
96 ч, мм	75,75±2,06	7,88±0,25	5,0±0,82	5,0±0,01	2,38±0,75	0	-0,50
238 ч, мм	187,5±41,12	12,5±1,0	7,38±0,48	6,0±1,08	5,88±0,48	0	-0,91
384 ч, мм	н. о.	28,0±6,27	17,75±5,91	16,75±7,27	8,75±7,89	0	-0,94
Скорость роста, мм/сутки	18,89±6,87	1,68±0,5	1,06±0,47	0,53±0,12	0,5±0,14	0	-0,48

Примечание: н. о. – не определяли; р. д. – рекомендуемая доза для мойки машин
r – коэффициент корреляции между концентрацией СПАВ Felix и диаметром колоний микромицетов.

Рост колоний микромицетов в контрольном варианте происходит по всей поверхности чашке Петри к 10 суткам, а в опытных вариантах (0,25 до 2,0 р. д.) к 16 суткам незначительно увеличился.

При этом сохранялась тенденция снижения диаметра колоний гриба *r. Trichoderma* по мере увеличения концентрации испытуемого автошампуня. Однако при максимально высокой дозе СПАВ Felix (4,0 р. д.) рост диаметра колоний гриба в течение всего исследуемого времени не произошел, что говорит о сильном репрессивном действии данного СПАВ на триходерму ($r = -0,94$).

Следовательно, на протяжении всего процесса культивирования микромицетов при возрастании концентрации автошампуня происходит резкое снижение показателя линейной скорости роста в 37,78 раз по сравнению с контрольным вариантом. При 4 р. д. происходит полное подавление роста на 4-е сутки.

Заметное отставание в линейном росте гриба *r. Trichoderma*, вероятно, можно объяснить тем, что при добавлении СПАВ произошли глубокие изменения метаболических возможностей.

Интересным показалось сравнение результатов токсичности в возрастающих концентрациях ЛСН на тест-организм *N. paludosum* и биоиндикатор *Azotobacter* sp. (табл. 5).

Таблица 5

Сочетание методов биотестирования и биоиндикации

Вариант	Численность клеток <i>N. paludosum</i> по отношению к контролю, %	Средний диаметр колоний <i>Azotobacter</i> sp., см
Контроль	100,0	0,48±0,01
0,25 р. д.	78,4	0,38±0,04
0,5 р. д.	58,9	0,37±0,04
1,0 р. д.	23,5	0,34±0,03
2,0 р. д.	8,5	0,28±0,07
4,0 р. д.	0,3	0,04±0,01
r	-0,85	-0,98

Примечание: р. д. – рекомендуемая доза для мойки машин; прочерк обозначает отсутствие вида; н. о. – не определяли.

Как видно из таблицы 5, происходит стремительное снижение численности клеток ЦБ и диаметра колоний азотобактера.

Между концентрацией ЛСН и численностью клеток *N. paludosum* и диаметром *Azotobacter* sp. существовала высокая степень отрицательной корреляции (-0,85 и -0,98).

Таким образом, проведенные исследования показали, что используемые автошампуни представляют определенную опасность среды при бесконтрольном попадании их в почву.

Все результаты с использованными тест-организмами и организмами-индикаторами показали высокую степень токсичности данных препаратов как для прокариотных (цианобактерии и *Bacillus*) так и эукариотных (водоросли и микромицетов) организмов.

Библиографический список

1. Остроумов С. А. Биологические эффекты поверхностно-активных веществ в связи с антропогенными воздействиями на организмы : спец. 03.08.18: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2000. 17 с.
2. Маркина Ж. М. Действие детергентов и поверхностно-активных веществ на рост, физиологические и биохимические показатели одноклеточных водорослей (обзор) // Известия ТИНРО. 2009. Т. 156. С. 125–134.
3. Домрачева Л. И., Симакова В. С. Реакции про- и эукариотных микроорганизмов на действие синтетических поверхностно-активных веществ (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2018-1-005-017 // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 1. С. 5–17.
4. Симакова В. С., Коновалов А. Л., Домрачева Л. И. Бактерии рода *Azotobacter* как показатель состояния луговой почвы // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XIII Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием: в 2 кн. Кн. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2018. С. 16–19.
5. Биомониторинговые возможности микроорганизмов при оценке степени токсичности синтетических поверхностно-активных веществ / Л. В. Кондакова, Л. И. Домрачева, Т. Я. Ашихмина, В. С. Симакова. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-4-093-098 // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 4. С. 93–98.
6. Стариков П. А., Домрачева Л. И., Скугорева С. Г. Сравнительная оценка питательных сред для культивирования микромицетов рода *Trichoderma*. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-044-049 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 44–49.
7. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских почв / С. Г. Скугорева, Т. И. Кутявина, С. Ю. Огородникова и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-057-065 // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 57–65.
8. Симакова В. С. Определение фосфора фосфатов в автошампунях Концентрат, Felix и Uni // Знание молодых: наука, практика и инновации : материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых: в 2 кн. Кн. 2. Киров : Изд-во Вятская ГСХА, 2016. С. 65–68.
9. Симакова В. С. Комплексная оценка влияния синтетических поверхностно-активных веществ на рост и развитие микроорганизмов (на примере автошампуней) // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием: в 2 кн. Кн. 2. Киров : Изд-во Вятский государственный университет, 2023. С. 192–196.

АЛЬГОЦИАНОФЛОРА ЩЕЛОЧНЫХ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Л. В. Кондакова^{1,2}, Н. В. Сырчина¹

¹ Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, nvms1956@mail.ru,

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

Изучен состав и численность альгоцианофлоры щелочных засоленных почв. Всего в отобранных образцах почвы было выявлено 16 видов почвенных микрофототрофов, принадлежащих к следующим таксонам: Cyanobacteria – 10 видов; Chlorophyta – 2 вида; Bacillariophyta – 4 вида. Из цианобактерий наибольшее число видов относилось к порядкам Nostocales и Oscillatoriales.

Ключевые слова: щелочные засоленные почвы, почвенные микрорифототрофы, цианобактерии, диатомовые водоросли.

Прогрессирующее засоление обрабатываемых земель в районах с жарким засушливым климатом входит в число важнейших проблем современного сельского хозяйства. Процесс засоления стремительно распространяется по всему миру и в настоящее время охватывает более 100 стран. Ни один континент не свободен от этой проблемы. Точная статистика по масштабам засоления почв пока отсутствует, однако, имеющиеся оценки показывают, что около $0,34 \cdot 10^9$ га (23%) пахотных земель уже засолены и $0,56 \cdot 10^9$ га (37%) представляют собой солонцы. Один миллиард гектаров покрыт засоленными или солонцеватыми почвами, до 30% орошаемых земель засолены и практически непродуктивны в коммерческом отношении. Анализ текущей информации, предоставленной ФАО 118 странами мира, охватывающими 85% мировой суши, показывает, что более 424 млн га верхнего слоя почвы (0–30 см) и 833 млн га недр (30–100 см) подвержены засолению [1, 2].

Для ремедиации засоленных почв обычно используют технологии, включающие гидротехнические, агротехнические, химические, фитобиологические, культуртехнические и структурные мероприятия [3–5]. Выбор тех или иных технологий определяется особенностями засоления, а также природными и хозяйственными условиями территории. Наибольшую сложность для ремедиации представляют щелочные почвы с высоким содержанием соды [6]. Для восстановления плодородия таких почв широкое применение находят химические мелиоранты подкисляющего действия. Внесение соответствующих агрохимикатов в почву сопряжено с определенными экологическими проблемами. Более безопасными для окружающей среды являются биологические методы. Исследования последних лет показали, что революционную роль в восстановлении щелочных засоленных почв могут сыграть микроводоросли (МВ) и цианобактерии (ЦБ). Соответствующие микроорганизмы в экосистемах пустынь способны переносить суровые и быстро меняющиеся условия окружающей среды, интенсивное ультрафиолетовое излучение и недостаток воды. ЦБ и МВ являются важнейшими представителями биологических почвенных корок. Биокорки широко распространены в засушливых и полусушливых районах, где они могут покрывать более 70% межрастительной поверхности почвы. Соответствующие образования играют важную роль в процессах почвообразования, стабилизации почв и почвенном водном балансе (инфильтрация-сток, испарение и влажность почвы) [7–9]. Биокорки часто являются пионерными сообществами в экосистемах, деградировавших в результате естественной или антропогенной деятельности. Почвенные микрорифототрофы, в качестве первичных продуцентов, вносят существенный вклад в фиксирование атмосферного азота и углерода [10], а также синтезируют ценные экзометаболиты, к числу которых относятся органические кислоты, способные разрушать содержащиеся в почве растворимые карбонаты, снижая таким образом щелочность. Выявление обитающих в щелочных засоленных

почвах видов фотоавтотрофов представляет большой практический интерес для разработки перспективных биологических методов ремедиации.

Цель настоящей работы – определить состав альгоцианофлоры щелочных засоленных почв.

Для проведения исследований использовали образцы щелочной солонцевой почвы, которые отбирали с глубины 0–15 см из надсолонцового горизонта автоморфных бурых полупустынных солонцов. Основные характеристики субстрата: рН – $8,6 \pm 0,1$; удельная электропроводность – 260 ± 24 мкСм/см; содержание CO_3^{2-} – $0,11 \pm 0,02$ мг-экв/100г; содержание HCO_3^- – $0,75 \pm 0,11$ мг-экв/100г; доля анионов, обуславливающих щелочность – $24 \pm 3\%$ от общей суммы анионов.

Видовой состав микроводорослей определяли методами прямого микроскопирования почвы, постановкой водных и чашечных культур со «стеклами обрастания». Прямое микроскопирование поверхностных разрастаний позволяло определять виды, которые массово развивались на поверхности почвы. Инкубацию культур проводили при дневном освещении и в люминистате.

Все экспериментальные исследования выполняли в трёхкратной повторности. Для обработки полученных результатов использовали статистический пакет обработки данных *STATISTICA*.

Всего в отобранных образцах почвы было выявлено 16 видов микрофототрофов, принадлежащих к следующим таксонам: Cyanobacteria – 10 видов; Chlorophyta – 2 вида; Bacillariophyta – 4 вида.

Ведущую роль по видовому разнообразию играли ЦБ, второе место по этому показателю занимали диатомовые водоросли. Из ЦБ наибольшее число видов относилось к порядкам Nostocales и Oscillatoriales. Цианобактерии эволюционно адаптированы к засолению. Экотоксикоз почв, обусловленный избытком ионов Na^+ и Cl^- , переносится этой группой микроорганизмов легче, чем другими [11].

Данные о видовом разнообразии и численности выявленных в щелочной засоленной почве микрофототрофов приведены в таблице.

Доминирующее положение среди выявленных видов в поверхностных разрастаниях занимали микроорганизмы, принадлежащие к ЦБ и диатомовым водорослям: *Phormidium autumnale*, *Nostoc paludosum*, *Navicula pelliculosa*. Эти группы почвенных микрофототрофов относятся к так называемым кальцефилам, предпочитающим щелочную реакцию среды [12].

Результаты выполненных исследований показали, что в щелочных засоленных почвах наибольшее видовое разнообразие характерно для цианобактерий и диатомовых водорослей. Соответствующие микроорганизмы способствуют обогащению почвы органическим веществом, биодоступными формами азота и фосфора, улучшению структуры и физико-механических свойств. Синтезируемые почвенными микрофототрофами органические кислоты приводят к снижению щелочности почвенного раствора, а фитогормоны

– стимулируют развитие растений. Сочетание солеустойчивых растений и цианобактерий способствует удалению солей из почвы.

Таблица

Видовое разнообразие и численность выявленных в щелочной засоленной почве микрофототрофов

Таксон	Выявленные виды	Численность МО, тыс. кл./г почвы
Cyanobacteria	<i>Leptolyngbya angustissima</i> (W. et G.S. West) Anagn. et Kom.; <i>Leptolyngbya fragilis</i> (Gom.) Anagn. et Kom.; <i>Microcoleus vaginatus</i> (Vauch.) Gom.; <i>Microcoleus chthonoplastes</i> (Fl. Dan.) Thur.; <i>Nodularia harveyana</i> (Thwait.) Thur.; <i>Nostoc paludosum</i> Kütz.; <i>Nostoc punctiforme</i> (Kütz.) Hariot.; <i>Phormidium autumnale</i> (Ag.) Gom.; <i>Phormidium corium</i> (Ag.) Gom.; <i>Phormidium henningsii</i> Lemm.	46,4±9,1
Chlorophyta	<i>Chlorococcum</i> sp.; <i>Gongrosira debaryana</i> Rabenh.	502,3±61,5
Bacillariophyta	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun. in Cleve et Grun.; <i>Navicula</i> sp.; <i>Luticola mutica</i> (Kütz.) Mann in Round et al.; <i>Navicula pelliculosa</i> (Breb.) Hilse.	29,3±7,1

Обеспечение благоприятных условий для развития почвенных микрофототрофов можно рассматривать в качестве важного фактора восстановления засоленных почв. Существенным преимуществом рекультивации засоленных почв с помощью цианобактерий является экологичность процесса.

Библиографический список

1. FAO SOILS PORTAL. Global Map of Salt-affected Soils (GSASmap) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/> (дата обращения: 19.03.2024).
2. Экологическая оценка эффективности мелиоративных мероприятий / С. Калдыбаев, Ж. Нурсейтов, Б. А. Мурзабаев и др. // Почвоведение и агрохимия. 2020. № 4. С. 49–56.
3. Руководство по управлению засоленными почвами. План реализации Евразийского почвенного партнерства [Электронный ресурс]. – URL: https://ecfs.msu.ru/images/publications/Rukovodstvo_po_zasolen.pdf (дата обращения: 19.03.2024).
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Biocrusts positively affect the soil water balance in semiarid ecosystems / S. Chamizo, Y. Cantón, E. Rodríguez-Caballero, F. Domingo // Ecohydrology. 2016. № 9. P. 1208–1221.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. Техногенное засоление почв и их микробиологическая характеристика / В. С. Артамонова, Л. Ю. Дитц, Т. Н. Елизарова, И. В. Лютых // Сибирский экологический журнал. 2010. Т. 17. № 3. С. 461–470.

12. Флора почвенных водорослей и цианобактерий техногенно-засоленных территорий Башкирского Предуралья / А. В. Богданова, Л. А. Гайсина, А. И. Фазлутдинова, Н. В. Суханова // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. № 1–4. С. 989–992.

БАКТЕРИИ *LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS* КАК ОСНОВА БИОСЕНСОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ

М. М. Косаренина, С. В. Алферов
Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия, mari.kosarenina@mail.ru

Сформирован биосенсор для оценки интегральной токсичности на основе кислородного электрода и иммобилизованных бактерий *Lactobacillus acidophilus*. Определены значения полумаксимальных эффективных концентраций для Cr^{3+} , Fe^{3+} и трихлоруксусной кислоты (351, 393 и 567 мг/дм³ соответственно). Показано, что данные бактерии не уступают по чувствительности аналогам к токсическому действию тяжелых металлов и органических соединений, что позволяет использовать их в биосенсорных системах для оценки токсичности. Получены сопоставимые результаты токсичности образцов промышленно выпускаемых товаров из полимерных и текстильных материалов с использованием сформированного биосенсора и коммерческого анализатора «Биотокс-10М».

Ключевые слова: биосенсор, *Lactobacillus acidophilus*, кислородный электрод, интегральная токсичность.

Активный промышленный рост ускорил загрязнение окружающей среды во всем мире, что пагубно сказалось на экологии. Особого внимания заслуживает присутствие таких загрязнителей, как соединения тяжелых металлов и органических соединений, в связи с их повсеместным распространением в природной среде (почва, воздух, вода, растения и т. д.) и способностью

проникать сквозь клеточные мембраны, образуя прочные соединения внутри и на поверхности клеток [1]. Обнаружение и анализ токсичности химических соединений представляет довольно тяжелую задачу для исследований, вследствие многообразия их химической структуры и неодинаковой степени ингибирующего воздействия на разные типы живых организмов.

Для обнаружения токсикантов традиционно используются методы ультрафиолетовой спектроскопии и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) [2]. Эти аналитические методы характеризуются длительным временем анализа, дороговизной оборудования и позволяют определять только индивидуальные токсичные соединения, но не интегральную токсичность. Нормативно закрепленные методы определения токсикантов, основанные на применении тест-объектов [3, 4], имеют крайне длительный единичный анализ и дают неоднородные результаты. Поэтому необходимо разработать экспрессный и эффективный способ определения интегральной токсичности, которым может служить биосенсор [5].

Биосенсоры базируются на использовании биологических элементов, таких как ферменты, микроорганизмы и др. Однако для оценки интегральных показателей правильнее использовать целые микробные клетки (в частности, бактериальные клетки), ингибирование активности набора ферментов которых отражает комплексное воздействие токсичных веществ, содержащихся в пробе, на живой организм. В связи с этим целью данной работы – исследовать эффективность применения биосенсора на основе кислородного электрода и бактерий *Lactobacillus acidophilus* для определения интегральной токсичности.

Для формирования биосенсора суспензию бактерий *L. acidophilus* с использованием диализной мембраны закрепляли на амперометрическом датчике растворенного кислорода (типа Кларка), подключенного к прибору «ЭКСПЕРТ-009». Управление прибором проводилась с помощью встроенной программы «EXP2PR».

Токсичность представляет собой интегральную величину. EC_{50} – это та концентрация токсиканта, при которой происходит 50% ингибирование дыхательной активности микроорганизмов под влиянием этого токсиканта.

Для того, чтобы понять, может ли выбранный микроорганизм быть использован для определения интегральной токсичности, было изучено влияние отдельных модельных токсикантов на дыхательную активность микроорганизмов (трихлоруксусная кислота, ионы металлов Cr^{3+} и Fe^{3+}). Для выявления токсического эффекта вещества на окислительную активность бактерий строили кривые «концентрация токсиканта – индекс токсичности», описывающие процент ингибирования в зависимости от концентрации (рис.) и фиксировали значение EC_{50} (табл. 1). Индекс токсичности рассчитывали по формуле 1:

$$T = \frac{R_{\text{ГЛЮКОЗА}} - R_{\text{ГЛЮКОЗА+ТОКСИКАНТ}}}{R_{\text{ГЛЮКОЗА}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где T – индекс токсичности, %; $R_{\text{глюкоза}}$ – ответ биосенсора на добавление глюкозы, $\text{мгО}_2/\text{дм}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; $R_{\text{токсикант+глюкоза}}$ – ответ биосенсора на добавление глюкозы в присутствии токсиканта, $\text{мгО}_2/\text{дм}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

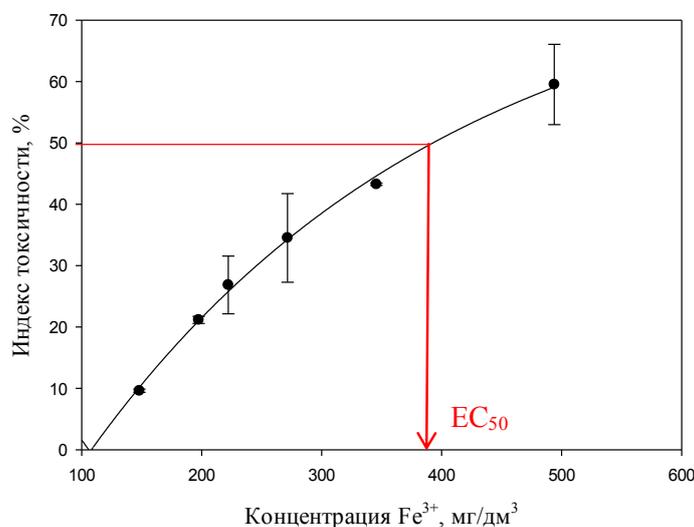


Рис. Зависимость индекса токсичности от концентрации Fe^{3+} для биосенсора на основе бактерий *L. acidophilus*

Таблица 1

Данные (EC_{50}) исследуемых токсикантов

Токсиканты	EC_{50} , мг/дм ³	EC_{50} Аналога, мг/дм ³
ГХУ	567	49,5 – 1702,6 / <i>Lemna gibba</i> ; <i>Myriophyllum</i> spp. [6]
Fe^{3+}	393	297/ <i>Photobacterium leiognathi</i> Sh1 [7]
Cr^{3+}	351	301 – 374/ <i>Bacillus cereus</i> KM-21; <i>Bacillus mesentericus</i> KM-6 [8]

Сформированный кислородный биосенсор на основе бактерий *L. acidophilus* не уступает по чувствительности аналогам к выбранным модельным токсикантам, что делает его перспективным для дальнейшего измерения интегральной токсичности товаров народного потребления.

Для измерения интегральной токсичности проб был использован не только биосенсорный метод, но и референтный метод на основе люминесцентных бактерий с использованием коммерческого анализатора «Биотокс-10М», рассчитывающий оценку токсичности по формуле 2:

$$T = \frac{I_k - I_o}{I_k} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где I_k – интенсивность люминесценции контрольного образца бактерий, а I_o – интенсивность люминесценции бактерий после добавления водной вытяжки исследуемого образца.

В обоих методах исследования при превышении индекса токсичности более 20% образец считали токсичным, при превышении 50% – высокотоксичным [9]. Сравнение результатов анализа образцов биосенсорным с ис-

пользованием бактерий *L. acidophilus* и референтным методами представлено в таблице 2.

Таблица 2

**Сравнение результатов анализа образцов,
полученных биосенсорным и референтным методами**

Образец (материал)	Биосенсор (<i>L. acidophilus</i>)	Биотокс-10М
Бутылка из-под воды (пластик)	Не токсично (T = 0%)	Не токсично (I _y = 0%)
Контейнер пищевой (пластик)	Не токсично (T = 0%)	Не токсично (I _y = 0%)
Перчатки обливные (поливинилхлорид, полиуретан, текстиль)	Токсично (T = 93±4%)	Токсично (I _y = 100±1%)

Результаты анализа трех образцов продукции из текстильных и полимерных материалов с помощью сформированного биосенсора на основе бактерий *L. acidophilus* и референтным методом оказались сопоставимыми между собой.

Таким образом, биосенсор на основе кислородного электрода и бактерий *L. acidophilus* не уступает по чувствительности рассмотренным тест-системам, что позволяет использовать его для оценки интегральной токсичности.

Библиографический список

1. Charkiewicz A. E., Backstrand J. R. Lead toxicity and pollution in Poland. DOI: 10.3390/ijerph17124385 // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020. Vol. 17. No. 12. Article No. 4385.
2. Лойт А. О. Общая токсикология. СПб. : ЭЛБИ-СПб., 2006. 224 с.
3. Захаров И. С., Алешин И. В. Методы и средства микробиотестирования токсичности водных сред // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2022. Т. 8. № 2. С. 75–95.
4. ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06 Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности дафний (*Daphnia magna* Straus). М., 2006. 46 с.
5. Electrochemical Biosensors for Express Analysis of the Integral Toxicity of Polymer Materials / N. Y. Yudina, T. N. Kozlova, D. A. Bogachikhin et al. DOI: 10.3390/bios13121011 // Biosensors. 2023. Vol. 13. No. 12. Article No. 1011.
6. Hanson M. L., Solomon K. R. Haloacetic acids in the aquatic environment. Part I: macrophyte toxicity // Environ. Pollut. 2004. Vol. 130. No. 3. P. 371–383.
7. Самолюк В. В., Кацев А. М. Биосенсоры на основе природных люминесцентных бактерий для анализа экотоксичности лекарственных веществ // Молодежный инновационный вестник. 2021. Т. 10. № S1. С. 227–229.
8. Селивановская С. Ю., Галицкая П. Ю. Оценка токсичности почв с использованием контактного метода биотестирования // Токсикологический вестник. 2006. № 4 (79). С. 12–15.
9. МР 01.018-07. Методика определения токсичности химических веществ, полимеров, материалов и изделий с помощью биотеста «Эколюм». М. : ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве», 2007.

СТРУКТУРА МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА И АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ СОЛЕНОГО ОЗЕРА МАНЫЧ-ГУДИЛО

Д. С. Воропина, Е. А. Пучкина, Т. Н. Ажогина, И. С. Сазыкин
Южный федеральный университет,
Академия биологии и биотехнологии имени Д. И. Ивановского,
г. Ростов-на-Дону, Россия, daria.voropina@gmail.com

В настоящее время наблюдается увеличение степени устойчивости к антибиотикам не только у возбудителей инфекций, но и у бактерий естественных микробных сообществ. Резистентность к антибиотикам становится значимой биологической характеристикой микроорганизмов, а оценка наличия генов, продуцирующих устойчивость к антибиотикам, в бактериальных сообществах является важным аспектом мониторинга экосистем. Исследование антибиотикорезистентности естественных штаммов микроорганизмов в экстремально соленых водных экосистемах представляет значительный интерес. Цель данного исследования заключается в выделении и идентификации микроорганизмов из озера Маныч, а также в определении их антибиотикоустойчивости.

Ключевые слова: антибиотики, галофильные микроорганизмы, антибиотикорезистентность, соленые озера.

На юге России есть соленые озера, донные отложения которых обладают лечебными свойствами. Одним из них является озеро Маныч-Гудило, расположенное в Ростовской области, Республике Калмыкия и Ставропольском крае. Долгое время озеро Маныч-Гудило оставалось малоизученным, равно, как и другие соленые озера, ввиду того что долгое время они считались абсолютно безжизненными [1, 2]. Тем не менее, в таких экстремальных условиях могут существовать различные галофильные микроорганизмы. Галофилы относятся к древнейшей группе экстремофильных микроорганизмов, обитающих в чрезвычайно соленых местах [3]. Галофилы обладают крайне высокой чувствительностью к изменениям в окружающей среде. В связи с этим микробные сообщества галофильных микроорганизмов представляют значительный интерес для исследования [4, 5].

На сегодняшний день отмечается тенденция увеличения устойчивости к антибиотикам как у возбудителей заболеваний, так и у бактерий естественных микробоценозов, то есть почвенных и водных экосистем. По этой причине одной из ключевых характеристик в исследовании микроорганизмов становится их резистентность к антимикробным препаратам [6]. В результате колоссального рекреационного антропогенного воздействия на экосистему озера Маныч возникают условия, способствующие приобретению и распространению устойчивости к антибиотикам. Горизонтальный перенос генов ан-

тибиотикорезистентности может привести к формированию в водной среде эпидемически опасных микроорганизмов, резистентных к антибактериальным препаратам. Данный процесс сопровождается повышением микробной вирулентности и способности приводить к тяжелым инфекционным заболеваниям, которые практически не поддаются лечению антибиотиками. В связи с этим, крайне важно контролировать появление устойчивости к антимикробным препаратам у микроорганизмов, обитающих в окружающей среде [7].

Поэтому цель данного исследования заключалась в определении структуры микробного сообщества соленого озера Маныч и определении антибиотикорезистентности его представителей.

В работе были использованы стандартные микробиологические методы идентификации микроорганизмов, а также метод MALDI-TOF и секвенирование 16S рРНК. Для определения антибиотикорезистентности был использован диско-диффузионный метод [8, 9].

В результате проведенного исследования из воды и донных отложений озера Маныч-Гудило были выделены 19 штаммов галофильных микроорганизмов.

Как показали результаты исследования, чувствительность ко всем исследованным антибиотикам проявили штаммы, относящиеся к роду *Bacillus*. Наименьшая чувствительность к воздействию антибиотиков наблюдалась у культуры *Staphylococcus lentus*, так как зона задержки роста отсутствовала при воздействии девяти антибиотиков.

В результате исследования антибиотикорезистентности было установлено, что все культуры устойчивы к действию оксациллина и тетрациклина. Следует отметить, что антибиотики класса пенициллина не эффективны по отношению к исследованным микроорганизмам озера Маныч, так как слабое действие они оказали на культуры *Kocuria varians* и *Serratia ficaria*, среднее – на культуру *Pasteurella pneumotropica*. Помимо этого, слабым действием на все культуры обладает полимиксин. Аналогичным действием обладают ванкомицин и фузидиевая кислота для культур *Pasteurella pneumotropica* и *Serratia ficaria*. Антибиотики рифампицин и левофлоксацин слабо подавили рост всех культур озера Маныч. Единственным эффективным антибиотиком, значительно подавляющим рост колоний всех культур, является левомицетин.

Из данных метабаркодирования генов 16S рРНК следует, что в микробном сообществе преобладают бактерии, относящиеся к типам *Proteobacteria*, *Bacteroidota*, *Firmicutes*, *Desulfobacterota*.

Ввиду природной уникальности и ценности оз. Маныч-Гудило необходим постоянный экологический мониторинг его экосистемы.

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. Держинский Е. А. Биология экстремофильных микроорганизмов. Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2021. С. 10–13.
2. Сахно О. Н., Трифонова Т. А. Экология микроорганизмов : учебное пособие: в 3 ч. Ч. 2. Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. С. 21–27.
3. Microbial community dynamics of extremophiles/extreme environment / P. Singh, K. Jain, C. Desai et al. DOI: 10.1016/b978-0-12-814849-5.00018-6 // Microbial diversity in the genomic era. Cambridge : Academic press, 2019. P. 323–332.
4. Гусев М. В., Минеева Л. А. Микробиология : учебник для студ. биол. специальностей вузов. М. : Издательский центр «Академия», 2003. 464 с.
5. Калёнов С. В. Биотехнология и применение микроорганизмов, выделенных из гиперсоленых сред : спец. 999.095.03 : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М. : РХТУ имени Д. И. Менделеева, 2021. 34 с.
6. Лысак В. В. Микробиология : учеб. пособие. Минск : БГУ, 2007. 430 с.
7. Маталыгина О. А. Антибиотикорезистентность как широкий и многогранный биологический феномен // Медицина: теория и практика. 2020. Т. 5. № 3. С. 39–44.
8. ГОСТ 31942-2012 Вода. Отбор проб для микробиологического анализа : действ. с 01.01.2014. М., 2013. [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293783/-4293783520.pdf> (дата обращения: 23.03.2024).
9. Воропина Д. С., Сазыкина М. А. Структура микробного сообщества и антибиотикорезистентность культивируемых изолятов солёного озера Пелёнкино // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения : сб. науч. трудов IV Всерос. науч.-практ. конф. в рамках IV Всерос. науч.-общественного форума. (г. Саратов, 26–28 октября 2022 г.). Саратов : Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., 2022. С. 175–178.

ВЛИЯНИЕ РОСТОСТИМУЛИРУЮЩЕГО ПРЕПАРАТА МИЛЕФУНГ™+Mo+V НА РАЗВИТИЕ ФОТОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПОСЕВАХ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО

Л. В. Кондакова^{1,2}, А. П. Кислицына³

*¹ Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, ecolab2@gmail.com,*

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия,

*³ ФГБНУ ФАНЦ НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
г. Киров, Россия*

В полевых опытах лаборатории агрохимии и кормопроизводства ФАНЦ Северо-Востока изучалось влияние инокуляции Risovert и ростостимулирующего препарата Милефунг™+Mo+V на развитие фототрофных микроорганизмов в ризосфере люпина узколистного. Чувствительность к данному препарату проявили цианобактерии и охрофитовые водоросли снижением видового разнообразия.

Ключевые слова: люпин узколистный, водоросли, цианобактерии, ризосфера, Risovert, ростостимулирующий препарат Милефунг™+Mo+V.

Люпин узколистый является ценной кормовой культурой и отличается высоким содержанием белка в зерне и в зелёной массе. Люпин способствует повышению плодородия почвы, улучшает ее физическое, агрохимическое и фитосанитарное состояние [1–3]. Современная концепция развития сельского хозяйства предусматривает использование регуляторов роста для повышения урожайности культурных растений. Биоорганические удобрения, стимуляторы роста способствуют усилению роста и развития растений, повышают их устойчивость к негативному воздействию от различных стрессов [4]. В то же время в литературе практически отсутствуют исследования о действии данных препаратов на развитие фототрофных микроорганизмов почвы. Наиболее тесный контакт высшего растения и почвенной микрофлоры происходит в ризосфере – пространстве вокруг корня. Развитие микроорганизмов в этой зоне стимулируется корневыми экссудатами и ризодепозитами. Масса корневых выделений может составлять более 30–40% продуктов фотосинтеза. В ризосфере растений идет накопление бактерий, грибов, актиномицетов и водорослей. Считается, что, получая часть энергетического материала от растений, микроорганизмы отдают займы легкоусвояемый азот, фосфор, железо, ряд важных, физиологически активных веществ [5]. Водоросли, являясь фототрофными микроорганизмами, способны к миксотрофному питанию [6]. Согласно опубликованным данным, ризосферные зоны разных видов растений могут различаться количеством видов микроризотрофов и таксономическим составом фототрофов [7–11]. На развитие водорослей в ризосфере оказывает влияние температура и влажность почвы, возраст и физиологическое состояние растений, поражение болезнями и механические повреждения.

Цель исследований – дать оценку развития фототрофной микрофлоры в ризосфере люпина узколистого при инокуляции Risovert и ростостимулирующим препаратом МилефунгTM+Mo+V.

Исследования проведены в полевом опыте лаборатории агрохимии и кормопроизводства ФАНЦ Северо-Востока. Изучалось влияние инокуляции Risovert и ростостимулирующего препарата МилефунгTM+Mo+V на развитие фототрофных микроорганизмов в ризосфере люпина узколистого. В опыте был использован сорт люпина узколистого Брянский кормовой селекции ВНИИ люпина (г. Брянск). Исследования проводились на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока (с. Красное). Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, сильноокислая, содержание подвижного фосфора (P_2O_5) – 150,0 мг/кг и обменного калия (K_2O) – 143,0 мг/кг почвы по (ГОСТ 206207-91), низким содержанием гумуса – 1,67% (ГОСТ 26213-91), средней обеспеченностью бором – 0,4 мг/кг почвы, низкой – молибденом – 0,09 мг/кг почвы. Общая площадь делянки 15 м², повторность 4-х кратная. Предшественник озимая пшеница. Осенью проведена вспашка на глубину пахотного слоя с оборотом пласта. Весной было проведено ранневесеннее боронование, культивация с прикатыванием и посев семян сеялкой точного высева. Перед культивацией общим фоном внесены фосфорно-калийные удоб-

рения в дозе $P_{30}K_{60}$ в виде простого суперфосфата и хлористого калия. Посев проведён 3 мая.

Отбор почвенных проб проведён в фазу начала цветения в июле (04.07.23) с соблюдением требований, предъявляемых к микроскопическим исследованиям. При отборе проб на каждом варианте опыта у 5 экземпляров растений люпина узколистного брали корневую систему, встряхиванием освобождали от свободной почвы и помещали в стерильные пакеты. Постановка водных и чашечных культур со «стеклами обрастания» проводилась в соответствии с методикой [6]. Повторность опыта 3-кратная. Варианты опыта: 1 – почва без люпина; 2 – люпин без удобрений; 3 – люпин + $P_{30}K_{60}$ (фон); 4 – люпин + (фон) + инокуляция Risoverm; 5 – люпин + (фон) + ростостимулятор Милефунг[™] с микроэлементами (В, Мо); 6 – Люпин + (фон) + инокуляция + ростостимулятор Милефунг[™] с микроэлементами (В, Мо).

Метеорологические условия 2023 г. были крайне контрастными. Дождливая и холодная погода в начальный период вегетации и прохладная и сухая погода июня привели к переуплотнению почвы и не способствовали образованию и развитию клубеньковых бактерий на корнях люпина и соответственно росту растений.

Всего в ризосферной почве опытных и контрольного участков выявлено 41 вид водорослей и ЦБ (табл.).

Большее число видов в ризосферной почве люпина отмечено в контрольном варианте. В пахотной почве без удобрения и люпина выявлено всего 10 видов почвенных микрофототрофов, а в почве без удобрения с люпином – 24. В контрольном варианте – люпин $P_{30}K_{60}$ (фон) – видовое разнообразие микрофототрофов было наибольшим из всех вариантов – 29 видов. Видовое разнообразие водорослей и ЦБ в опытных вариантах оказалось ниже контроля и составляло почти одинаковое число – 20 и 21. Различия между вариантами выражались в таксономическом составе микрофототрофов. Число видов ЦБ в ризосферной почве люпина при инокуляции препаратом Risoverm снизилось с 8 до 3, желтозеленых водорослей – с 5 до 3. Обработка растений люпина ростостимулятором Милефунг[™] с микроэлементами (В, Мо) также несколько снизила видовое разнообразие ЦБ (с 8 до 6) и охрофитовых водорослей (с 5 до 3).

Опыты показывают чувствительность почвенных фототрофных микроорганизмов к инокуляции препаратом Risoverm и обработкой ростостимулятором Милефунг[™] с микроэлементами (В, Мо). Видовое разнообразие микрофототрофов в ризосферной почве опытных вариантов было ниже контрольного.

Сравнение альгоцианофлоры контрольных и опытных вариантов при помощи коэффициентов Жаккара показало умеренное сходство вариантов.

**Число видов водорослей и цианобактерий
в контрольных и опытных вариантах (1 – число видов; 2 – процент)**

№	Варианты опыта	Cyanobacteria		Chlorophyta + Streptophyta		Ochrophyta		Bacillariophyta		Всего	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Почва без люпина	3	30	3	30	1	10	3	30	10	100
2	Люпин без удобрения	11	45,8	6	25,0	4	16,7	3	12,5	24	100
3	Люпин – P ₃₀ K ₆₀ (фон)	8	27,6	11	37,9	5	17,2	5	17,2	29	100
4	Люпин (фон)+ инокуляция Risovertm	3	15,0	10	50,0	3	15,0	4	20,0	20	100
5	Люпин (фон) + Милефунг [™] +В+Мо	6	28,6	8	38,1	3	14,3	4	19,0	21	100
6	Люпин (фон) + инокуляция + Милефунг [™] +В+Мо	2	10,0	10	50,0	3	15,0	5	25,0	20	100

Реакция почвенных фототрофных микроорганизмов на инокуляцию люпина узколистного препаратом Risovertm и обработку ростостимулятором Милефунг[™] с микроэлементами (В, Мо) проявилась в понижении видового разнообразия цианобактерий и охрофитовых водорослей в ризосферной почве по отношению к контролю.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги» (государственная регистрация в ЕГИСУ № 122040100032-5).

Библиографический список

1. Инновационный опыт производства кормового люпина / И. П. Такунов, Т. Н. Слесарёва, М. И. Лукашевич и др. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. 80 с.
2. Люпин – селекция, возделывание, использование / В. М. Косолапов, Г. Л. Яговенко, М. И. Лукашевич и др. Брянск : Брянское областное полиграфическое объединение, 2020. 304 с.
3. Оценка сортов люпина узколистного по урожайности и адаптивности в условиях Кировской области / А. П. Кислицына, Ф. А. Попов, Е. А. Светлакова, А. Ю. Софронова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24. № 2. С. 267–275.
4. Яхин О. И., Лубянов А. А., Яхин И. А. Биостимуляторы в агротехнологиях: проблемы, решения, перспективы // Агрехимический вестник. 2016. № 1. С. 15–21.
5. Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. М. : Наука, 1976. 144 с.
6. Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв : учебник. М. : Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
7. Штина Э. А. Водоросли дерново-подзолистых почв Кировской области // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. Сер. 2. 1959. Вып. 12, С. 36–141.

8. Новичкова-Иванова Л. Н. Водоросли в ризосфере // Методы изучения продуктивности корневых систем и организмов ризосферы. Л., 1968. С. 131–135.
9. Metting B. The systematics and ecology of soil algae // Bot. Review. 1981. Vol. 47. No. 2. P. 195–312.
10. Алексахина Т. И., Штина Э. А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 148 с.
11. Кондакова Л. В. Специфика альгофлоры в ризосфере ячменя и сорных растений. DOI: 10.25750/1995-4301-2011-2-065-069 // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 2 С. 65–69.

ОКСИДАТИВНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДНК БАКТЕРИАЛЬНОЙ КЛЕТКИ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТИБИОТИКОВ

О. Д. Лановая, Т. Н. Ажогина, М. А. Сазыкина, И. С. Сазыкин
Южный федеральный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия, lanovaia@sfedu.ru

В данной работе было исследовано окислительное повреждение бактериальной ДНК, вызванное действием антибиотиков (цефтриаксон, азитромицин, ампициллин, рифампицин, тетрациклин), на примере штаммов *Acinetobacter calcoaceticus* и *Pseudomonas putida*. В результате исследования была выявлена зависимость оксидативного повреждения ДНК от времени инкубации и типа антибиотика.

Ключевые слова: окислительный стресс, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Pseudomonas putida*, повреждение ДНК.

Со времен открытия пенициллина Александром Флемингом в 1928 г. и дальнейших исследований микроорганизмов, синтезирующих антибиотики, последние получили широкое распространение. Однако с распространением применения антибиотиков выросло и количество бактерий, имеющих к ним резистентность [1]. Показано, что действие бактерицидных препаратов вызывает в клетке окислительный стресс, в ходе которого повреждаются компоненты бактериальной клетки, в том числе ДНК, белки, липиды [2]. Понимание механизмов действия антибиотиков на бактерии может помочь в разработке новых антимикробных препаратов и замедлению распространения резистентности к ним.

Целью данной работы было исследование повреждения бактериальной ДНК в ходе окислительного стресса, вызванного антибиотиками, на примере микроорганизмов *Acinetobacter calcoaceticus* и *Pseudomonas putida*.

Объектами исследования служили штаммы грамотрицательных бактерий *Acinetobacter calcoaceticus* и *Pseudomonas putida*. В исследовании были использованы такие антибиотики как цефтриаксон, азитромицин, ампициллин, рифампицин, тетрациклин.

Штаммы бактерий 24 часа культивировали в жидкой среде LB (плотность заселения – $0,5 \times 10^6$ кл/мл), после чего к исследуемым культурам добавляли один из перечисленных выше антибиотиков в концентрации МИК50 (минимальная ингибирующая концентрация, которая подавляет рост 50% бактерий), установленной опытным путем для каждого взятого в опыт штамма (табл.) повторностях. Кроме того, для каждой серии опыта производился посев отрицательного контроля (культуры без добавления антибиотика).

Таблица

Концентрации антибиотиков, добавляемые к исследуемым культурам

Антибиотик	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	<i>Pseudomonas putida</i>
Цефтриаксон	12,5 мкг/мл	1,25 мкг/мл
Азитромицин	12,5 мкг/мл	1,25 мкг/мл
Ампициллин	100 мкг/мл	100 мкг/мл
Рифампицин	100 мкг/мл	100 мкг/мл
Тетрациклин	1,25 мкг/мл	1,25 мкг/мл

По истечению времени инкубации (3 и 6 ч) полученную суспензию лизировали и анализировали повреждение ДНК.

На рисунках 1 и 2 представлены данные по повреждению ДНК у *A. calcoaceticus* и *P. putida*, возникающие из-за окислительного стресса под действием исследуемых антибиотиков. На оси X указаны условные единицы (за 1 у.е. было взято количество повреждений ДНК в контрольной пробе).

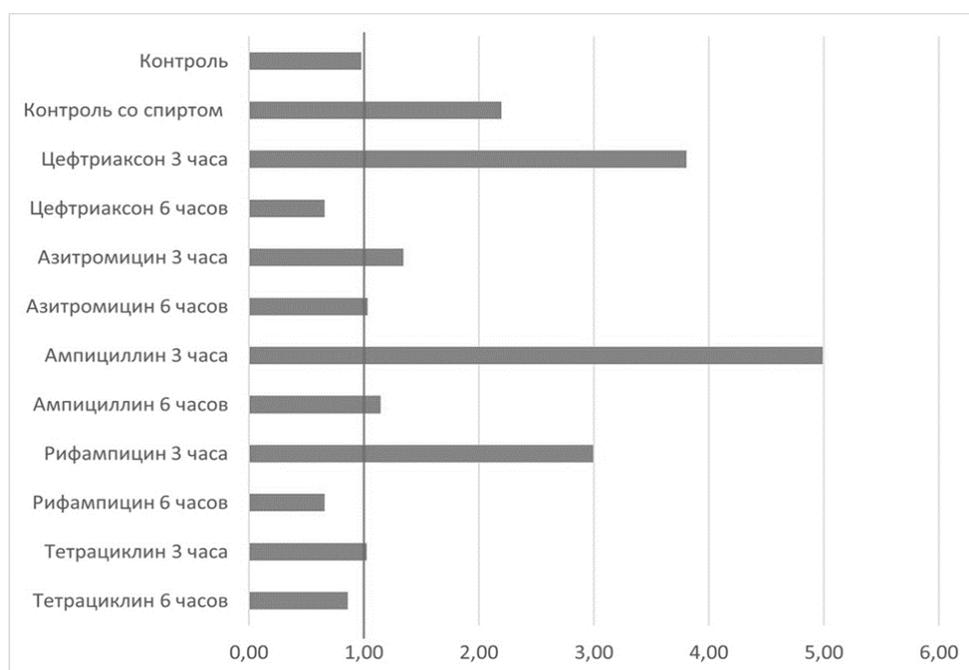


Рис. 1. Повреждение ДНК (у. е.) *A. calcoaceticus* при воздействии исследуемых антибиотиков

Как видно из рисунка 1, наибольшее повреждение ДНК *A. calcoaceticus* наблюдалось в опыте с азитромицином, действующим на данный штамм 3 ч,

далее по убывающей воздействию цефтриаксоном и рифампицином, время инкубации со штаммом которых также равно 3 ч.

Незначительно превышают контрольные значения результаты, полученные под действием азитромицина и тетрациклина, действующих на данный штамм 3 ч, и азитромицина (время инкубации с культурой 6 ч).

Уменьшение окислительных повреждения ДНК данного штамма при инкубации в течение 6 часов по сравнению с более короткой инкубацией (3 ч), свидетельствуют о высокой эффективности репаративной системы *A. calcoaceticus*. Полученные данные согласуются с работой Gregg-Jolly and Ornston [3], в которой этот же штамм демонстрирует необычайно высокую способность к гомологичной репарации ДНК, и, в результате, низкую мутагенную изменчивость.

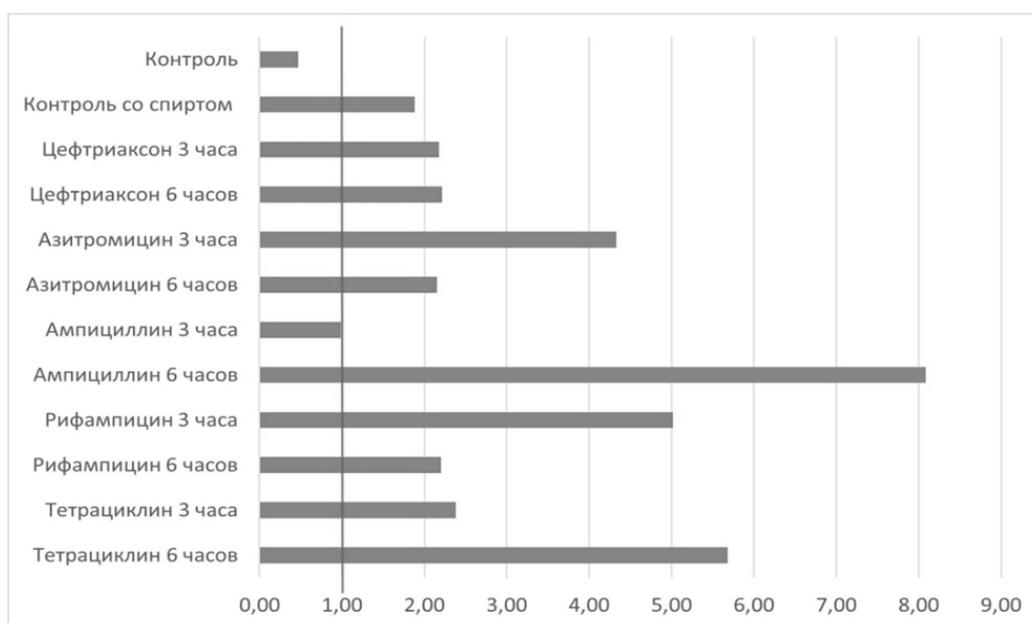


Рис. 2. Повреждение ДНК (у. е.) *P. putida* при воздействии исследуемых антибиотиков

Как видно из данных, приведённых на рисунке 2, к повреждению ДНК *P. putida* приводили действия всех антибиотиков. Наибольшее повреждение при инкубации штамма с ампицилином в течение 6 ч, далее по убывающей – с тетрациклином (время инкубации составило 6 ч), рифампицином и азитромицином (оба антибиотика действовали на штамм в течение 3 ч).

Меньший уровень повреждения ДНК наблюдается при инкубации штамма с тетрациклином (3 ч), цефтриаксон (3 и 6 ч), азитромицин (6 ч) и рифампицин (6 ч). Самое низкое разрушающее действие на ДНК оказал ампициллин (3 ч).

При сравнении двух графиков заметно, что результаты повреждения ДНК двух представленных культур значительно отличаются друг от друга. Данные по повреждению ДНК на культуре *P. putida* в несколько раз больше тех, что получены на культуре *A. calcoaceticus*. Исключением являются полученные повреждения, вызванные ампициллином (3 ч), которые у *P. putida* в 5

раз меньше, чем у *A. calcoaceticus*, и повреждения, вызванные цефтриаксоном (3 ч) – у *P. putida* почти в 2 раза меньше, чем у *A. calcoaceticus*.

Полученные результаты схожи с результатами, полученными в работе Belenky et al., 2015 [4]. Мы предполагаем, что такие повреждения ДНК лучше всего объясняются окислением нуклеотидов после образования АФК, генерацией их окисленных форм [5], в основном 7,8-дигидро-8-гидроксигуанозина (чаще всего в работах указывается как 8-гидроксигуанозин). Высокий уровень окислительных модификаций этого соединения в результате окислительного стресса связан с тем, что гуанин в ДНК обладает самым низким окислительно-восстановительным потенциалом среди природных азотистых оснований, из-за чего является главной мишенью для АФК в ДНК. Гуанин легко окисляется супероксид-анионом в положении С8. В дальнейшем включение этих нуклеотидов в ДНК приводит к двухцепочечным разрывам [5, 6].

Полученный нами высокий уровень повреждения ДНК после обработки клеток антибиотиками может говорить о том, что даже невысокий уровень образования окисленных модификаций ДНК (в частности, 8-гидроксигуанозина), может приводит к разрыву цепи ДНК. Этот вывод согласуется с работами, проводимыми в том же направлении. В них исследователи приходят к выводу, что даже очень низкие эндогенные уровни 8-гидроксигуанозина (т. е. низкие уровни окислительных модификаций в ДНК) в ДНК могут оказаться смертельными, если клетки гипериницируют репликацию ДНК [6]. Кроме того, повышение уровня ДНК-полимеразы 4, участвующей в репликации, может привести к летальному исходу из-за повышенного включения в 8-гидроксигуанозина ДНК [7].

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. Яковлев С. В. Новая концепция рационального применения антибиотиков в амбулаторной практике // Антибиотики и химиотерапия. 2019. Т. 64. № 3–4. С. 47–57.
2. Imlay J. A. Diagnosing oxidative stress in bacteria: not as easy as you might think. DOI: 10.1016/j.mib.2015.01.004 // Curr. Opin. Microbiol. 2015. P. 124–131.
3. Gregg-Jolly L. A., Ornston L. N. Recovery of DNA from the *Acinetobacter calcoaceticus* chromosome by gap repair. DOI: 10.1128/jb.172.10.6169-6172.1990 // J. Bacteriol. 1990. Vol. 172. No. 10. P. 6169–6172.
4. Bactericidal antibiotics induce toxic metabolic perturbations that lead to cellular damage / P. Belenky, J. D. Ye, C. B. Porter et al. DOI: 10.1016/j.celrep.2015.09.059 // Cell Reports. 2015. P. 968–980.
5. Экзогенный 8-оксо-7,8-дигидро-2'-дезоксигуанозин: биомедицинские свойства, механизмы действия, терапевтический потенциал / А. В. Черников, С. В. Гудков, А. М. Усачева, В. И. Брусков // Успехи биологической химии. 2017. Т. 57. С. 267–302.
6. Dumont E., Monari A. Understanding DNA under oxidative stress and sensitization: the role of molecular modeling. DOI: 10.3389/fchem.2015.00043 // Front. Chem. 2015. Vol. 3. Article No. 43.

7. Vaishampayan A., Grohmann E. Antimicrobials functioning through ROS-mediated mechanisms: current insights. DOI: 10.3390/microorganisms10010061 // Microorganisms. 2021. Vol. 10. No. 1. Article No. 61.

ОКИСЛЕНИЕ КРАСНОГО ФОСФОРА ГРИБАМИ АСПЕРГИЛЛАМИ

*А. З. Миндубаев*¹, *Э. В. Бабынин*², *Э. Л. Гоголашвили*³, *А. Р. Галимова*⁴
¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, Россия, *mindubaev-az@yandex.ru*,
² Татарский НИИАХП ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань, Россия,
³ Институт органической и физической химии имени А. Е. Арбузова –
обособленное структурное подразделение ФГБУН
«Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр
Российской академии наук», г. Казань, Россия,
⁴ Казанский национальный исследовательский технический
университет имени А. Н. Туполева г. Казань, Россия

Показаны первые количественные данные по биодegradации красного фосфора *Aspergillus niger* AM1. Эти данные свидетельствуют о достоверном увеличении скорости окисления красного фосфора, выраженном через накопление фосфат-ионов – конечного продукта окисления, под воздействием метаболизма растущего в культуральной среде аспергилла. По сравнению с контролем – стерильной средой, содержащей красный фосфор, скорость возрастает в 1,25 раз.

Ключевые слова: биодegradация, красный фосфор, элементный фосфор, *Aspergillus niger* AM1.

Красный фосфор значительно менее опасен в обращении, чем белый, и попытки использовать его в качестве высококонцентрированного фосфорного удобрения делались уже полвека назад [1]. Тем не менее, продукты горения красного фосфора токсичны для человека и других организмов. Причём, пары красного фосфора после охлаждения трансформируются в белый фосфор, обладающий высокой огнеопасностью и токсичностью. Помимо этого, красный фосфор более термодинамически устойчив в сравнении с белым и, следовательно, должен медленнее и с большим трудом подвергаться биологической, ферментативной деструкции.

В более ранних работах дано исключительно качественное описание биодegradации красного фосфора. Разумеется, количественные показатели данного процесса имеют важнейшее значение, поскольку, только получив их, можно с полным правом говорить о метаболизме данного вещества. Представленная работа стала первой попыткой измерения скорости биодegradации красного фосфора.

Колориметрический анализ фосфат-ионов в водной среде проведен по методике [2]. Нижний порог определения 0,01 мг/л. Спектрометр Esoviev В-1100. Государственных стандартных образцов (ГСО) растворов фосфатов в наличии не было, но ГОСТ позволяет самостоятельно готовить растворы из соли. Анализ длится 1,5–2 ч.

Анализ проводили в трех вариантах. Контроль – стерильная среда с красным фосфором. Опыт – посев АМ1 на красный фосфор. Третий вариант – посев гриба АМ1 в среду без источников фосфора. Посев производили в фальконы с 3 мл культуральной среды состава (г/л) NaCl – 2,5, MgSO₄ – 0,5, KNO₃ – 2,0, глюкоза – 8,0. В контроли и опыты добавляли по 0,1 г порошка красного фосфора. Поскольку красный фосфор нерастворим в воде, внесение навесок одинакового веса представляло сложность.

Культивировали при 28 °С. Все посеы проводили в трех повторах, итого девять проб. Анализ проводили дважды: в день посева (нулевая точка) и спустя две недели (14 суток), когда биомасса гриба созрела. Второй анализ проводили только с контролем и опытом – предполагалось, что в третьем варианте концентрация фосфат-ионов заведомо не изменится. Итого, общее количество фальконов с пробами – пятнадцать.

Кроме того, проанализировали в трех повторах состав культуральной среды с глюкозой в качестве источника углерода, но без источников фосфора. Предполагалось, что глюкоза степени чистоты Ч могла содержать примесь фосфатов.

Красный фосфор ЧДА приобретен в АО «Камтэкс-Химпром», г. Пермь. Имеет консистенцию порошка, хранится в пластиковой заводской таре.

Для определения содержания фосфора в органических удобрениях широко используется метод, предложенный Дениже [3].

Биомассу гриба АМ1 на красном фосфоре наращивали четырьмя посевами, чтобы накопить количество, достаточное для анализа фосфатов в золе. Дорастивали до спорообразования. Биомассу хранили в пяти пробирках Эппендорфа, в замороженном виде, при -20 °С. Перенос биомассы из фальконов в эппендорфы осуществляли прокаленной в пламени спиртовки микробиологической петлей. При этом, с биомассой в пробирки попадало очень незначительное количество культуральной среды. Жидкость, скапливающаяся в эппендорфах – вероятно, не культуральная среда, а внутриклеточная жидкость, освободившаяся после замораживания и оттаивания биомассы. Перед анализом биомассу объединили шпателем в чашку Петри, высушили при 105 °С до постоянного веса, затем озолили в муфельной печи при 500 °С.

Определенная сложность заключалась в том, что мы не знали, с какой скоростью окисляется красный фосфор в среде, и какая концентрация фосфат-ионов присутствует в среде изначально.

Оказалось, что красный фосфор сильно загрязнен фосфатами. Прибор показывает «зашкал» даже при 200-кратном разведении. Впрочем, в отличие от белого фосфора, красный фосфор полностью очистить от фосфатов нельзя. Будучи полимерным веществом, он всегда содержит окисленные фосфатные

группы на концах макромолекул. К тому же, красный фосфор при хранении, особенно в присутствии следов влаги, медленно диспропорционирует до фосфорной кислоты и фосфина (специфический запах последнего исходит от красного фосфора, с которым ведется работа).

В замеры через 14 дней разбавляли пробы в 2500 раз, чтобы избежать «зашкала». В целом, в опытах концентрация фосфата выше, чем в контролях. Однако, разброс значений между повторами велик. Это связано со сложностью внесения красного фосфора в культуральную среду. Он нерастворим в воде, поэтому внести точную концентрацию в объеме раствора не удастся.

Для точной оценки биodeградации красного фосфора требовалось к измеренной концентрации фосфат-ионов в культуральной среде прибавить содержание фосфатов в биомассе гриба, поскольку живой организм интенсивно поглощает фосфат-ионы из окружающей среды. Соответственно, можно предполагать, что с учетом фосфатов в биомассе разница между контролем и опытом должна быть существенной.

Итого, разница концентрации фосфат ионов в опыте (среда с грибом аспергиллом) и контроле (стерильная среда) составляет 1,2–1,3 раза. Результат статистически значимый и свидетельствует о соответствующем увеличении скорости окисления красного фосфора до фосфорной кислоты в присутствии живого микроорганизма. Следует отметить, что в нулевой точке концентрация фосфатов в стерильной среде с красным фосфором составила 87,56 мг/л; в среде с красным фосфором и спорами – 85,57 мг/л, а со спорами без источников фосфора – 1,36 мг/л. Эти величины усреднены из трех повторов, и указывают на то, что концентрация фосфат-ионов в стерильной среде изначально даже превышала таковую в среде со спорами гриба. То есть, более интенсивный рост концентрации фосфата действительно связан с жизнедеятельностью аспергилла. Концентрация фосфат-ионов в стерильной среде без источников фосфора составила всего 0,56 мг/л – следовые количества, которыми можно пренебречь.

Это означает, что красный фосфор действительно подвергается биodeградации [4]. Можно предполагать, что если бы красный фосфор изначально не был бы сильно загрязнен фосфорной кислотой, как в данном случае, возможно, скорость микробного метаболизма этого вещества была бы еще выше, а разница с контролем еще значительнее. Но в присутствии избыточных концентраций фосфатов гриб просто не нуждается в биodeградации элементного фосфора, и это отрицательно сказывается на скорости его биологического окисления.

Следует особо подчеркнуть, что сравнительно низкая химическая активность красного фосфора делает полученные результаты более достоверными. В случае белого фосфора сложно разделить процессы ферментативного и неферментативного, спонтанного окисления кислородом.

Библиографический список

1. Red Phosphorus as Fertilizer / A. V. Sokolov, N. D. Talanov, K. F. Gladkova et al. // Khim. Sel'sk. Khoz. 1976. Vol. 14. P. 22–24.
2. Брехова Л. И., Стахурлова Л. Д. Методы количественного анализа удобрений : учебно-методическое пособие для вузов. Воронеж : Изд-во ВГУ, 2006. 39 с.
3. ГОСТ 1 № 8309-2014. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ. 2014.
4. Биотрансформация красного фосфора в фосфаты при помощи *Aspergillus niger* / А. З. Миндубаев, А. Р. Галимова, О. Н. Кузнецова и др. DOI: 10.55421/1998-7072_2023_26_10_41 // Вестник технологического университета. 2023. Т. 26. № 10. С. 41–45.

СЕКЦИЯ 7 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

ФЛОРА ВЫСШИХ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ В БАССЕЙНЕ РЕКИ М. КОЖВА – НОВОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ ВКЛЮЧЕНИЯ В СЕТЬ ООПТ РЕСПУБЛИКИ КОМИ (ПОДЗОНА СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ)

В. А. Канев

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия,
kanev@ib.komisc.ru*

Исследована флора высших сосудистых растений территории, перспективной для создания и включения в сеть ООПТ Республики Коми (РК). Она расположена в подзоне северной тайги, где выявлен большой массив охраняемого вида и включенного в Красную книгу РК – сосны сибирской или кедровой (*Pinus sibirica* Du Tour) на северо-западной границе ареала.

Ключевые слова: флора, сосудистые растения, перспективная ООПТ, структура флоры, подзона северной тайги, охраняемые растения.

Сегодня во всем мире признано, что максимально эффективный способ сохранения природных комплексов – создание систем особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В Республике Коми с конца 1950-х гг. ведутся систематические исследования по вопросу формирования природно-заповедного фонда. Исследование и мониторинг биоты ООПТ, которые имеют ключевое значение для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия как основы биосферы, рассматриваются в мире в качестве важнейшего приоритета. Республика Коми, где ландшафты мало трансформированы деятельностью человека, представляет собой уникальный полигон для сохранения и изучения биологического разнообразия. В регионе созданы 244 ООПТ, четыре из которых – Печоро-Илычский государственный природный биосферный заповедник, национальный парк «Югыд ва», национальный парк «Койгородский», государственный природный заказник «Параськины озера» – имеют федеральный статус, остальные – региональное (республиканское) подчинение. Общая площадь природно-заповедного фонда составляет свыше 5,7 млн. га, что составляет 13,7% от площади республики [1].

Однако, анализ сформированности сети ООПТ в Республике Коми (РК) показывает, что при наличии большого числа охраняемых природных территорий сама региональная сеть особо охраняемых объектов не может быть

признана в полной мере соответствующей требованиям, предъявляемым к сетям ООПТ на международном уровне [2, 3]. Во многих природных зонах республики отсутствуют резерваты для сохранения типичных ценозов, характерных для данной природной зоны с видами растений, которые здесь встречаются и также, которые включены в Красную книгу РК. Например, в северной тайге отсутствует резерват для сохранения таежных лесов с окружающим его ландшафтом и биотой. В связи с этим, в РК проводятся мероприятия по выявлению новых территорий, перспективных для организации природных резерватов.

В 2023 г. в МО ГО «Печорский» проведены полевые исследования территории, перспективной для создания там резервата для сохранения лесов северной тайги, где произрастает большой массив сосны кедровой или сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) разного возраста, на северо-западной границе распространения. Территория, предлагаемая для создания лесного заказника, находится в 35 км на юг от г. Печора, на водоразделах рек Лунвож и Войвож (бассейн р. Малая Кожва), притоки второго порядка р. Печора. Сосну сибирскую в нашей республике начали охранять с 1959 г., и тогда же была запрещена рубка в Коми. До этого времени *Pinus sibirica* рубили повсеместно, даже в западных районах республики, где сейчас она отсутствует, и ареал сосны сибирской до ее рубки был намного больше, чем сейчас. Сейчас *Pinus sibirica* включена в Красную книгу региона, со статусом охраны 2, как сокращающийся в численности вид, который при дальнейшем воздействии факторов, снижающих численность, может в короткие сроки попасть в категорию находящихся под угрозой исчезновения. Для охраны мест произрастания популяций этого вида целенаправленно создана сеть заказников (31) и памятников природы (14) регионального значения. Кроме того, вид также охраняется в двух ООПТ федерального значения – Печоро-Илычский государственный природный биосферный заповедник и национальный парк «Югыд ва» [2, 3].

Район исследований находится в подзоне северной тайги Республики Коми и по геоботаническому районированию РК [4] относится к округу еловых, елово-сосновых и елово-лиственничных лесов Притиманья и бассейна средней Печоры. По геоботаническому районированию, принятому в России, исследуемая территория находится в Кольско-Печорской подпровинции Североевропейской таежной провинции Евразийской таежной области с преобладанием еловых лесов [5]. Растительность представлена в основном заболоченными ельниками сфагновыми, кустарничково-сфагновыми и кустарничково-зеленомошными; березовыми и березово-еловыми заболоченными редколесьями. Большую площадь, почти до половины ее площади, занимают верховые и переходные сфагново-кустарничковые и осоково-кустарничковые болота. По берегам рек и ручьев хорошо развиты ивняковые заросли. Луговая растительность представлена очень слабо и располагается узкой полосой вдоль рек в виде крупнотравных сообществ. Рельеф полого-увалистый. Исследуемая территория находится на Малокожвинской возвышенности, с абсолютными отметками высот от 100 до 200 м над у. м.

Флору сосудистых растений на данной территории изучали с использованием стандартных подходов к исследованию локальных флор маршрутным методом с обследованием всех встречающихся местообитаний и типов растительности (лесная, болотная, кустарниковая, травяная) внутри предполагаемой ООПТ (800 га), а также по периметру границы и буферной зоны будущего резервата. Списки видового состава документированы гербарными сборами, хранящимися в УНУ Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO). Для всех образцов, а также находок редких видов с помощью GPS-навигаторов определены географические координаты в системе WGN 84. Растения определены с использованием монографии «Флора Северо-Востока европейской части СССР», других сводок и определителей [6]. Данная сводка использована и при отнесении вида к географическим группам ареалов. Латинские названия растений приводятся по работе [7].

В результате полевых исследований в этом районе выявлено, что здесь произрастает 127 видов сосудистых растений (споровые, голосеменные, покрытосеменные), относящихся к 86 родам и 43 семействам. Почти все выявленные виды являются характерными для таежной зоны и встречены в типичных для них местообитаниях – болота, леса; небольшое число видов находится на границе своего ареала – *Pinus sibirica*, ольховник кустарниковый (*Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar), перловник поникший (*Melica nutans* L.) и другие.

К споровым растениям относится 10 видов, которые представлены папоротниками, хвощами и плаунами. Три вида принадлежат к папоротникам – *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs, *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm. Пять видов относятся к хвощам – *Equisetum arvense* L., *E. fluviatile* L., *E. palustre* L., *E. pratense* Ehrh., *E. sylvaticum* L. Хвощи довольно обычны и часто встречаются во всех сообществах. Два вида – это представители плауновидных – *Lycopodium annotinum* L., *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub, которые обычны в еловых и сосновых лесах. Пять видов принадлежат к голосеменным растениям, которые представлены хвойными растениями – *Abies sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sylvestris* L., *P. sibirica*, *Juniperus communis* L. *Picea obovata* и *Pinus sylvestris* являются основными породами в лесных сообществах, а *Pinus sibirica* и *Abies sibirica* отмечаются как примесь или в виде подроста в еловых лесах. Остальные виды (112) относятся к покрытосеменным или цветковым растениям, из которых 38 видов – представители однодольных (семейства Scheuchzeriaceae Rudolphi, Poaceae Barnhart, Cyperaceae Juss., Juncaceae Juss., Melanthiaceae Batsch, Convallariaceae Horan., Orchidaceae Juss.), 74 вида – двудольные (семейства Salicaceae Mirb., Betulaceae S. F. Gray, Polygonaceae Juss., Caryophyllaceae Juss., Ranunculaceae Juss., Brassicaceae Burnett, Saxifragaceae Juss., Parnassiaceae S. F. Gray, Grossulariaceae DC., Rosaceae Juss., Fabaceae Lindl., Geraniaceae Juss., Oxalidaceae R.Br., Callitrichaceae Link, Empetraceae S.F. Gray, Violaceae Batsch, Onagraceae Juss., Apiaceae Lindl., Cornaceae Dumort., Pyrolaceae Dumort., Ericaceae Juss., Primulaceae Vent., Menyanthaceae Dumort.,

Boraginaceae Juss., Scrophulariaceae Juss., Rubiaceae Juss., Caprifoliaceae Juss., Adoxaceae Trautv., Valerianaceae Batsch, Asteraceae Dumort.). Соотношение двудольных и однодольных составляет 1,9:1.

Наибольшим разнообразием отличаются семейства Роасеае и Сурерасеае с 14 видами каждое, Rosaceae с 11, Asteraceae, Ericaceae, Ranunculaceae и Salicaceae с 6 видами каждое. Всего десятка ведущих семейств включают более половины всех видов флоры. Среди ведущих родов наибольшим числом видов представлены *Carex* L. и *Salix* L. с 11 и 5 видами каждое. Также большим видовым разнообразием обладают следующие роды: *Equisetum* L., *Poa* L., *Eriophorum* L., *Rubus* L., *Stellaria* L., *Vaccinium* L., *Galium* L.

Географический анализ флоры по составу широтных групп показал преобладание бореальных видов, к числу которых относится 76,3% выявленных сосудистых растений. Большинство бореальных видов являются широко распространенными, нередко доминирующими и ценообразующими почти всех сообществ – *Betula pubescens* Ehrh., *Picea obovata*, *Calamagrostis purpurea* (Trin.) Trin., *Carex aquatilis* Wahlenb., *Carex globularis* L., *Bistorta major* S. F. Gray, *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Crepis sibirica* L. Суммарное участие северных широтных групп составило 15,8%. Арктических видов в нашей флоре нет. Из аркто-альпийских видов (0,8%) отмечена только *Alchemilla murbeckiana* Bus. Из гипоарктических видов (15%) выявлены следующие – *Avenella flexuosa* (L.) Drejer, *Eriophorum vaginatum* L., *Carex paupercula* Michx., *Euphrasia frigid* Pugsl., *Betula nana* L., *Ranunculus pro-pinquus* Tzvel. и др. Большинство видов северных широтных групп являются реликтами перигляциальной флоры и обитают в основном в холодных тундроподобных сообществах. Южные широтные группы представлены неморально-бореальными видами, которых насчитывается три таксона (2,4%) – *Melica nutans*, *Crepis paludosa* (L.) Moench и *Milium effusum* L. Видов с полизональным распространением, т.е. которые встречаются в нескольких природных зонах, – составляют 5,5% флоры. Эти виды являются сорными и водными – *Equisetum arvense*, *E. palustre*, *Poa annua* L., *Cerastium holosteoides* Fries, *Callitriche cophocarpa* Sendtner.

В составе флоры среди долготных групп преобладают виды с широкими евразийскими и голарктическими ареалами (их доли участия одинаковы – соответственно 40,1%), которые обычны во всех сообществах и нередко являются доминантами и содоминантами: *Carex rostrata* Stokes, *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Rubus chamaemorus* L. и др. К азиатским видам относятся всего 8%, это основные древесные породы – *Picea obovata*, *Abies sibirica*, *Pinus sibirica* – и некоторые травянистые растения – *Calamagrostis purpurea*, *Rubus humilifolius* C. A. Mey. Видов с европейскими ареалами – 10,2%: *Dryopteris carthusiana*, *Trollius europaeus* L., *Angelica archangelica* L. Космополитных видов всего два – *Poa annua*, *Callitriche cophocarpa*, – которые являются сорными.

Основной жизненной формой являются травы (77,1%), к которым относится свыше трех четвертей биоморфологического состава флоры. Большая

часть трав многолетние (72,4%): *Trollius europaeus*, *Viola epipsila* Ledeb., *Veronica longifolia* L. Они встречаются во всех сообществах (лесных, луговых, водных, болотных, сорных) и некоторые из них являются доминантами. Однолетних растений немного – 4,7%, часть из которых – сорные, произрастающие на сорных местах, обочинах дорог, вырубках – *Poa annua*, *Alopecurus aequalis* Sobol. и др. Все древесные жизненные формы насчитывают 22,9% видов, из них деревьев 9 видов (7,1%) – *Picea obovata*, *Pinus sylvestris*, *Abies sibirica*, *Pinus sibirica*, *Betula pubescens*, *Populus tremula* L., *Salix caprea* L., *Sorbus aucuparia* L. Большинство древесных растений являются лесообразующими породами, образуют первый ярус и, соответственно, еловые, сосновые, березовые леса; другая часть деревьев входят во второй древесный ярус. Кустарников примерно столько же – 10 видов (7,9%) – *Rosa acicularis* Lindl., *Salix myrtilloides* L., *Salix phylicifolia* L., *Juniperus communis* и др. Кустарники играют важную роль в растительном покрове лесов и лугов, и нередко являются доминантами в сообществах, – это виды рода *Salix* sp. Кустарничков столько же, как и кустарников – 10 видов (7,9%) – *Empetrum hermaphroditum* Hagerup, *Andromeda polifolia* L., *Linnaea borealis* L., *Oxycoccus palustris* Pers., *Vaccinium uliginosum* L., *V. myrtillus* L., *V. vitis-idaea* L. и др. Некоторые из них играют существенную роль в растительном покрове лесов, болот, где иногда образуют почти сплошной покров в некоторых типа леса.

На данной территории, где были проведены исследования, выявлены два вида растений, которые включены в Красную книгу РК [8] – *Pinus sibirica* и *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo. *Pinus sibirica* встречается повсеместно по всей территории, во всех лесных сообществах и по окраинам болот, в разных онтогенетических состояниях: от проростков до семеносящих деревьев в количестве более 5 тыс. экз. Представитель семейства Orchidaceae – *Dactylorhiza incarnata* – имеет категорию статуса охраны 3, встречен на двух низинных болотах в осоково-хвощово-вахтово-сфагновых сообществах в количестве около 50–100 экз. популяция каждая. Один вид нуждается в биологическом надзоре и включен в приложение к Красной книге РК – *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, он произрастает совместно с *Dactylorhiza incarnata* на тех же двух низинных болотах.

В результате анализа флоры выявлено, что она имеет типичные бореальные черты, большинство показателей систематического, географического и биологического анализов характерны для северотаежных флор; сорных видов немного, что говорит о слабом антропогенном воздействии. Чужеродные, заносные и карантинные виды растений в нашей флоре отсутствуют. В результате исследований выявлено произрастание двух видов растений, включенных в Красную книгу РК, один вид нуждается в биологическом надзоре и включен в приложение к ней. По результатам исследований на данной территории рекомендовано создать новый резерват для охраны участков лесных и болотных сообществ, и встречающихся здесь охраняемых растений.

Исследования проведены в ходе выполнения темы государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Оценка эколого-ценотического, видового

и популяционного разнообразия растительного мира ключевых особо охраняемых природных территорий Республики Коми», № государственной регистрации 122040600026-9.

Библиографический список

1. Особо охраняемые природные территории (ООПТ) [Электронный ресурс]. – URL: <http://mpr.rkomi.ru/deyatelnost/osobo-ohranyaemye-prirodnye-territorii-oopt> (дата обращения: 28.03.2023).
2. Дёгтева С. В., Ермаков А. А. Схема развития и размещения особо охраняемых природных территорий Республики Коми // Изв. Коми НЦ УрО РАН. Сер. Экспериментальная биология и экология. 2021. № 5 (51). С. 5–12.
3. Кадастр особо охраняемых природных территорий Республики Коми / под ред. С. В. Дёгтевой, В. И. Пономарева. Сыктывкар : Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2014. 425 с.
4. Козубов Г. М., Таскаев А. И. Леса Республики Коми. М. : ДиК, 1999. 332 с.
5. Исаченко Т. Н., Лавренко Е. М. Ботанико-географическое районирование // Распространенность европейской части СССР. Л., 1980. С.10–20.
6. Флора Северо-Востока европейской части СССР. Л., 1974. Т. I. 257 с.; 1976. Т. II. 316 с.; 1976. Т. III. 293 с.; 1977. Т. IV. 312 с.
7. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / под ред. Г. С. Розенберга, С. В. Саксонова. СПб. : Мир и семья, 1995. 990 с.
8. Красная книга Республики Коми: третье издание, официальное / под общ. ред. С. В. Дёгтевой. Сыктывкар : ООО «Коми республиканская типография», 2019. 768 с.

МАТЕРИАЛЫ К БИОТЕ ДЛЯ ВОЗМОЖНОГО СОЗДАНИЯ ОСОБО ОХРАНЯЕМОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ В КИРОВО-ЧЕПЕЦКОМ РАЙОНЕ

*Ю. В. Гудовских, Ю. О. Бушуева, А. А. Сорокина,
Т. Л. Егошина, С. И. Оботнин
ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства
имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, Россия,
etl@inbox.ru*

В работе приведены результаты комплексного обследования биоты участков, планируемых к созданию особо охраняемой природной территории для сохранения участков малых рек в пойме р. Чепца.

Ключевые слова: ООПТ, Кировская область, флора, редкий вид.

Система особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Кировской области играет важную роль в решении проблемы сохранения генофонда редких видов растений, животных и грибов, однако она далека от совершенства. Важными проблемами являются неравномерность размещения ООПТ и, зачастую, их незначительная площадь. В силу этого недостаточно эффективно в пространственном и временном аспектах ООПТ выполняют функцию сохранения биоразнообразия.

Сохранение и изучение биологического разнообразия наиболее эффективно осуществляется в системе ООПТ, объектами охраны в которой являются как отдельные виды, так и сообщества, и их комплексы.

Сведения по современному состоянию флоры и растительности Кировской области в целом и на ООПТ недостаточны [1–4]. Данные по Кирово-Чепецкому району представлены в основном материалами по редким и охраняемым объектам природы [5–8].

Проведено комплексное обследование флоры и растительности территории (рис. 1) методом заложения пробных площадей и радиальных маршрутов. Исследования осуществляли в июне–сентябре 2022–2023 гг.

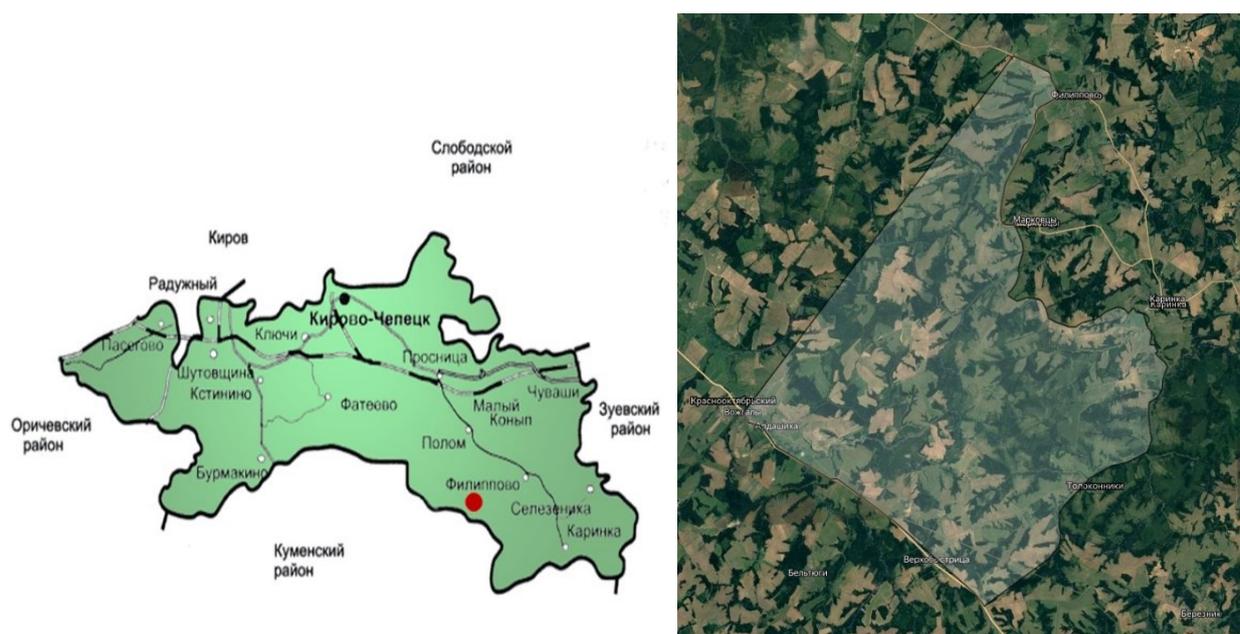


Рис. 1. Картосхема участка исследования

Описание растительности и выявление таксономического разнообразия сосудистых растений проводили с использованием общепринятых геоботанических методов [9].

Всего в составе выявленной естественной флоры отмечено 246 видов сосудистых растений, относящихся к 54 семействам. Это составляет 17% от видового состава растений области (1470 видов) с учетом видов-вселенцев и культурных растений [10]. Основу флоры исследуемой территории составляют покрытосеменные, причем двудольных в почти в четыре раза больше (183 вида, или 79%), чем однодольных (50 видов, или 21%).

Видовое разнообразие голосеменных невелико: на территории исследований отмечено четыре вида. Однако, некоторые из них (*Pinus sylvestris* L., *Picea obovata* Ledeb., *Picea × fennica* (Regel) Kom.) определяют облик ландшафтов территории.

Систематическая структура флоры имеет некоторые особенности, проявляющиеся в спектре ведущих семейств. 11 ведущих семейств объединяют свыше половины видов (56%). В то же время одна седьмая часть семейств –

моновидовые. Это свидетельствует об относительной сформированности флоры исследуемой территории.

Систематическая структура флоры имеет некоторые особенности, проявляющиеся в спектре ведущих семейств. 11 ведущих семейств объединяют свыше половины видов (56%). В то же время одна седьмая часть семейств – моновидовые. Это свидетельствует об относительной сформированности флоры исследуемой территории.

В систематической структуре флоры преобладают семейства Asteraceae Dumort. (32 вида), Poaceae Barnhart (21 вид), Rosaceae Juss. (15 видов), Fabaceae Lindl. (14 видов), Ranunculaceae Juss. (12 видов), Cyperaceae Juss. (11 видов). По 9 видов приходится на семейства Caryophyllaceae Juss. и Lamiaceae Lindl., по 8 видов – на семейства Plantaginaceae Juss. и Salicaceae Mirb., по 6 видов – на семейства Apiaceae Lindl., Brassicaceae Burnett и Onagraceae Juss., по 5 видов – на семейства Ericaceae Juss. и Polygonaceae Juss. (рис. 2).

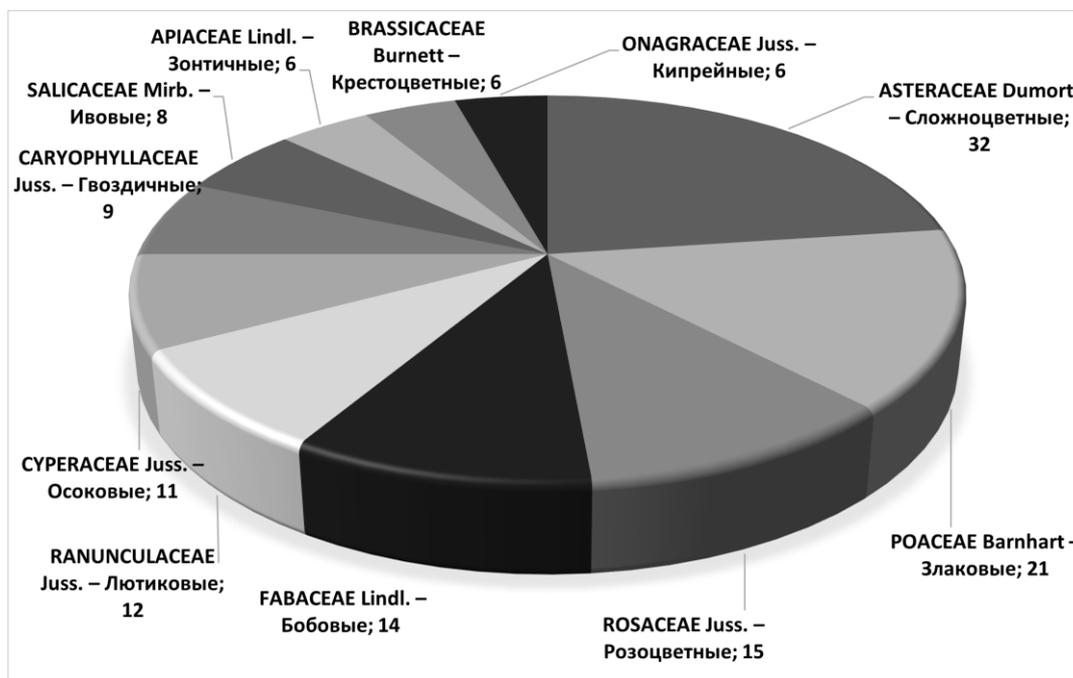


Рис. 2. Ведущие семейства в систематической структуре исследуемой территории

На долю моновидовых семейств – Thelypteridaceae Pic.Serm, Aristolochiaceae Juss., Asparagaceae Juss., Athyriaceae Alst., Boraginaceae Juss., Campanulaceae Juss., Convolvulaceae Juss., Cupressaceae Gray, Cystopteridaceae Shmakov, Juncaceae Juss., Lycopodiaceae Beauv. ex Mirb., Melantiaceae Batsch., Orchidaceae Juss., Oxalidaceae R.Br., Rhamnaceae Juss., Saxifragaceae Juss., Sparganiaceae Rudolphi., Typhaceae Juss. и Urticaceae Juss. – приходится 19 видов.

В целом, флора исследуемой территории имеет бореальный характер, несет в себе элементы европейской и азиатской флор.

На территории исследования обнаружено 43 вида грибов из 12 семейств, среди которых большинство видов (95%) относится к отделу

Basidiomycota Whittaker ex Moore, на отдел Ascomycota Caval.-Sm. приходится всего 5%. Наибольшим количеством видов представлено семейство Russulaceae Lotsy (23 вида). Моновидовыми являются 8 семейств: Discinaceae Benedix, Amanitaceae R. Heim ex Pousar, Entolomataceae Kotl. & Pouzar, Fomitopsidaceae Jülich, Ganodermataceae Donk, Polyporaceae Fr. ex Corda, Thelephoraceae Chevall. и Clavariadelphaceae Corner.

На территории обследования зафиксировано 13 видов лишайников. Выявленные таксоны относятся к трем семействам. Таксономический анализ семейств представлены на рисунке 3.

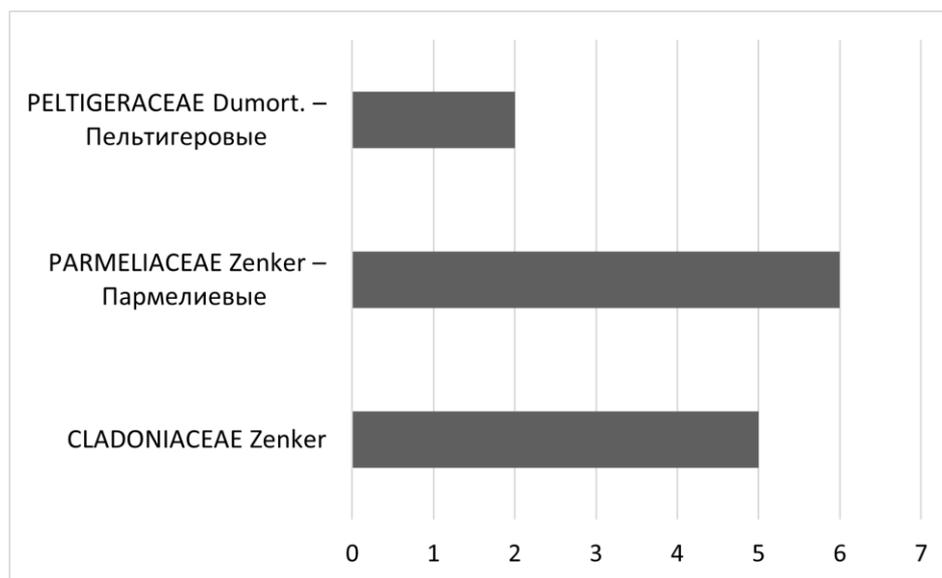


Рис. 3. Таксономический анализ лишайнобиоты (по оси ординат представлено количество видов в семействе)

Бриофлора представлена 10 видами, относящимися к 7 семействам. В систематической структуре флоры преобладают семейства: Dicranaceae Schimp., Hylocomiaceae (Broth.) M. Fleisch. и Polytrichaceae Schwägr. Почти половина семейств являются моновидовыми (Climaciaceae Kindb., Mniaceae Schwagr., Pylaisiaceae Schimp., Bryaceae Schwägr.).

Во флоре проектируемого ООПТ выявлено два вида растений, занесенных в Приложение 2 «Список редких и уязвимых видов животных, растений и грибов, не внесенных в Красную книгу Кировской области, но нуждающихся на территории области в постоянном контроле и наблюдении» [11]: княжик сибирский (*Atragene sibirica* L.) и любка двулистная (*Platanthera bifolia* (L.) Rich).

A. sibirica на обследованной территории встречался единично, в кислицево-хвощевых и костянично-мертвопокровных ельниках; в разнотравных березняках; на залежах, зарастающих березняком. Состояние и жизнеспособность популяций хорошие.

Популяции *P. bifolia* приурочены к злаково- и любково-разнотравным лугам, формирующимся на зарастающих полях. Растение образует многочис-

ленные популяции (более 900 особей), жизненность особей в них оценена как стабильная и хорошая.

Флора и микобиота участков исследования разнообразна. На территории исследования обнаружено 246 видов растений, 43 вида грибов, 13 видов лишайников, 10 видов мохообразных.

Таким образом, территория обследования уникальна по природному, эстетическому и рекреационному потенциалам и выступает как одних из важных элементов регионального экокаркаса в формирующейся системе ООПТ Кировской области.

Библиографический список

1. Тарасова Е. М. Конспект флоры сосудистых растений Кирово-Чепецкого района Кировской области. Киров, Кирово-Чепецк, 2000. 54 с.

2. Тарасова Е. М. Флора государственного природного заказника «Былина». Киров, 2005. 248 с.

3. Бушуева Ю. О. Чиркова Н. Ю., Егошина Т. Л. Материалы к флоре сосудистых растений правобережной поймы реки Вятки на примере ООПТ «Озеро черное у д. Малая Субботиха» // Тобольск научный 2016 : материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Тобольск : Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения Российской академии наук, 2016. С. 34–38.

4. Егорова Н. Ю., Егошина Т. Л., Бушуева Ю. О. Оценка степени гемеробиальности флор особо охраняемых природных территорий правобережной поймы р. Вятки // Ботанико-географические исследования. Камелинские чтения. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. С. 53–56.

5. Ворончихин Е. И. По Вятскому краю: путеводитель по примечательным объектам природы. Киров, 2000. С. 125–127.

6. Соловьев А. Н. Перспектива // Сокровища вятской природы. Киров : Волго-Вятское кн. изд-во, Кировское отделение, 1986. С. 138.

7. Киселев С. Кирово-Чепецк может быть древней египетских пирамид? [история возникновения липово-дубовой рощи] // Кировец. 2008. № 36/37. С. 6.

8. Заповедная карта Кирово-Чепецкого района: примечательные объекты природы: информационный дайджест. Кирово-Чепецк, 2016. 24 с.

9. Методы изучения лесных сообществ. СПб. : НИИХимии, 2002. 240 с.

10. Тарасова Е. М. Флора Вятского края. Часть 1. Сосудистые растения. Киров : ОАО «Кировская областная типография», 2007. 440 с.

11. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. Изд. 2-е / под ред. О. Г. Барановой, Е. П. Лачохи, В. М. Рябова, В. Н. Сотникова, Е. М. Тарасовой, Л. Г. Целищевой. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.

ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА СЫРДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ (УЗБЕКИСТАН)

Н. Ю. Бешко, Н. Э. Даминова, З. З. Косимов, Х. Ш. Абулфайзов
Институт ботаники Академии наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан,
natalia_beshko@mail.ru, nazokat_botany@mail.ru

В статье представлены данные о флористическом разнообразии Сырдарьинской области Республики Узбекистан, особо охраняемых природных территориях и проблемах сохранения растительного мира данного административного региона.

Ключевые слова: биоразнообразие, Голодная степь, кадастр, заказник, Красная книга, особо охраняемые природные территории, охрана природы, Средняя Азия, трансформация экосистем, флора.

Республика Узбекистан, расположенная в центре Евроазиатского континента, характеризуется значительным ландшафтным и биологическим разнообразием. Около 80% территории страны занимают пустынные равнины, которые относятся к Туранской флористической провинции, а около 20% охватывают горные хребты Западного Тянь-Шаня и Памиро-Алая, которые относятся к Горносреднеазиатской флористической провинции Ирано-Туранской области Древнесредиземноморского подцарства Голарктического царства. Флора Узбекистана, по современным данным, насчитывает более 4 380 видов, в том числе большое число редких, эндемичных и экономически ценных, а также диких сородичей культурных растений [1].

В то же время, в Узбекистане весьма острой является проблема сохранения и устойчивого использования растительного разнообразия. Вследствие быстрого роста экономики и численности населения, антропогенный пресс на растительный покров неуклонно усиливается, и в настоящее время около 20% площади Узбекистана составляют трансформированные ландшафты. Негативное воздействие хозяйственной деятельности человека усугубляется процессами изменения климата и опустынивания. Вследствие действия этих факторов во многих регионах Узбекистана наблюдается катастрофическая деградация и сокращение природных экосистем и биоразнообразия, и в то же время, интенсивно распространяются адвентивные виды растений [2].

В этой связи, для рационального использования растительных ресурсов, а также для мониторинга и охраны эндемичных и редких видов большую актуальность имеют данные о распространении и состоянии популяций видов растений в разрезе административных регионов, т.е. государственный кадастр объектов растительного мира. Ведение кадастра растительного мира является одним из приоритетных направлений научной деятельности Института ботаники Академии наук Республики Узбекистан.

В настоящее время Институтом ботаники выполняется государственная программа «Кадастр флоры Сырдарьинской области». Порядок ведения государственного кадастра объектов животного и растительного мира в республике определен Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан № 914 от 07.11.2018 г., методика кадастровых исследований приведена в «Методическом руководстве по ведению государственного учета и мониторинга объектов животного и растительного мира Республики Узбекистан» [3]. Основным материалом для составления кадастра флоры Сырдарьинской области являются данные полевых экспедиций, фонды Национального гербария Узбекистана (TASH), источники литературы, в том числе региональная Красная книга [4], «Флора Узбекистана» [5–11], «Определитель растений Средней Азии» [12] и другие издания [13–15].

Сырдарьинская область Республики Узбекистан относится к числу регионов, где проблема охраны растительного мира стоит наиболее остро. Территория области расположена на левобережье реки Сырдарья в ее среднем течении. Сырдарьинская область была образована в 1963 году, ее современная площадь 4,28 тыс. км² (самая маленькая по площади из 12 административных областей Узбекистана). Она занимает большую часть Голодной степи (Мирзачуля) – слабо наклонной и плоской аллювиально-пролювиальной равнины, которая с севера и востока ограничена рекой Сырдарья, одной из крупнейших рек Средней Азии, с юга – предгорьями Туркестанского хребта, а с запада и северо-запада – пустыней Кызылкум. Высота местности над уровнем моря 230–385 м. В ботанико-географическом отношении территория Сырдарьинской области относится к Мирзачульскому району Средне-Сырдарьинского округа Туранской провинции [1]. В прошлом этот регион представлял собой практически безводную пустыню с эфемероидовой растительностью и с участками солончаковых понижений (наиболее крупным из них является Сардобинская впадина), использовавшуюся лишь в качестве весенних пастбищ для кочевого скотоводства. По своим природно-климатическим условиям территория Сырдарьинской области относится к зоне континентального семиаридного климата, который характеризуется жарким и сухим летом и довольно мягкой зимой.

В результате реализации масштабной программы по орошению Голодной Степи и строительства нескольких крупных каналов большая часть этого региона была обводнена и освоена под посевы хлопчатника и других сельскохозяйственных культур. В этой связи в настоящее время почти вся территория Сырдарьинской области занята антропогенными ландшафтами, за исключением нескольких небольших участков, где сохранились естественные экосистемы, в значительной степени деградированные. Преобладающим типом ландшафта области является агроландшафт, представленный плантациями различных однолетних и многолетних сельскохозяйственных культур (хлопчатника, пшеницы, риса, кукурузы, овощей, бахчевых, плодовых и др.), которые возделываются в

открытом грунте в условиях искусственного орошения, обеспечиваемого системой ирригационных и дренажных каналов.

В связи со значительной степенью антропогенной трансформации экосистем, во флоре Сырдарьинской области значительную роль играют аборигенные и адвентивные сорняки (*Aegilops cylindrica* Host., *Ae. triuncialis* L., *Bromus tectorum* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Convolvulus arvensis* L., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Datura innoxia* Mill., *D. stramonium* L., *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl, *Hordeum murinum* subsp. *leporinum* (Link) Arcang., *H. spontaneum* K.Koch, *Imperata cylindrica* (L.) Raeusch., *Lepidium draba* L., *L. latifolium* L., *Papaver pavoninum* C.A.Mey., *Peganum harmala* L., *Sisymbrium altissimum* L., виды родов *Atriplex*, *Carduus*, *Centaurea*, *Chenopodium*, *Xanthium* и др.), которые образуют синантропные сорнотравные и эфемерово-сорнотравные сообщества по межам, перелогам, обочинам дорог, окраинам полей, садов, виноградников и населенных пунктов.

Естественная растительность Сырдарьинской области представлена сильно фрагментированными остатками трех типов растительности – эфемерово-эфемероидной подгорных равнин и предгорий (Ephemerophyta), галофильной солончаков (Halophyta) и тугайной речных долин (Potamophyta) [14]. Тугайная растительность представляет собой один из наиболее уязвимых типов экосистем в Средней Азии, площадь которого катастрофически сократилась за последние 50–60 лет. Небольшие участки коренных сообществ тугайной растительности в среднем течении р. Сырдарьи произрастают в пойме и на надпойменной террасе реки, по берегам озер-старич, условно-коренные сообщества развиты по берегам ирригационных и дренажных каналов.

Тугаи долины Сырдарьи представлены сообществами тополя сизолистного или туранги (*Populus pruinosa* Schrenk), обычно с участием ивы (*Salix songarica* Andersson, *S. wilhelmsiana* M. Bieb.), лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.), различных видов гребенщика (*Tamarix* sp.), колючих кустарников чемыша серебристого (*Caragana halodendron* (Pall.) Dum. Cours.) и дерезы (*Lythrum ruthenicum* Murray, *L. dasystemum* Pojark.), с травяным ярусом из солодки (*Glycyrrhiza glabra* L.), тростника (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. & Steud.), прибрежницы солончаковой (*Aeluropus littoralis* (Gouan.) Parl.), других злаков (*Erianthus ravennae* (L.) P. Beauv., *Calamagrostis pseudophragmites* (Haller f.) Koeler, *Poa bulbosa* L. и др.), верблюжьей колючки (*Alhagi pseudalhagi* (M. Bieb.) Desv.), карелинии каспийской (*Karelinia caspia* (Pall.) Less.). В обилии присутствуют лианы (*Clematis orientalis* L., *Cynanchum acutum* subsp. *sibiricum* (Willd.) Rech. f., *Trachomitum scabrum* (Russanov) Pobed.), многолетние и однолетние солянки (*Ceratocarpus arenarius* L., *Halocharis hispida* (Schrenk) Bunge, *Halostachys belangeriana* (Moq.) Botsch., виды родов *Atriplex*, *Caroxylon*, *Climacoptera*, *Salsola*, *Suaeda*), другие галофиты (*Limonium otolepis* (Schrenk) Kuntze, *Zygophyllum oxianum* Boriss.).

Наиболее значительные участки тугаев в Сырдарьинской области охраняются в пределах двух небольших особо охраняемых природных

территорий (ООПТ): Сайхунского государственного заказника и Калгансырского государственного лесохозяйственного хозяйства, – которые в сумме составляют менее 1% территории региона. По классификации МСОП эти ООПТ относятся к IV и VI категории соответственно. Площадь заказника, созданного в 2019 году, составляет всего 372 га (из них 114 га – строго охраняемая зона), а площадь лесохозяйственного хозяйства, организованного в 1997 году, составляет 4115,8 га. На неохраняемой территории тугайные экосистемы среднего течения Сырдарьи быстрыми темпами уничтожаются в результате добычи песка.

В рамках реализации государственной программы «Кадастр флоры Сырдарьинской области» было установлено, что на территории области произрастает 526 видов растений из 280 родов и 67 семейств. В Красную книгу Узбекистана занесены 6 видов: *Climacoptera amblyostegia* (Botsch.) Botsch. – климакоптера тупопрцветничковая (Amaranthaceae), *C. malyginii* (Korovin ex Botsch.) Botsch. – климакоптера Малыгина, *C. merkulowiczii* (Zakirov) Botsch. – климакоптера Меркуловича, *Colchicum kesselringii* Regel – безвременник Кессельринга (Colchicaceae), *Nonea calceolaris* Nikitina & Pazij – noneя башмачковидная (Boraginaceae), *Tulipa korolkowii* Regel – тюльпан Королькова (Liliaceae). Эндемичный вид всего один – *Climacoptera malyginii* (Amaranthaceae). В результате инвентаризации флоры ООПТ Сырдарьинской области, для Сайхунского заказника был выявлен 141 вид из 127 родов 35 семейств, а для флоры Калгансырского лесохозяйственного хозяйства установлено 162 вида из 127 родов 41 семейства. В этих ООПТ преобладают виды растений, типичные для тугаев и водно-болотных местообитаний Узбекистана и Средней Азии в целом, четыре вида являются натурализовавшимися интродуцентами и 12 видов – заносные сорняки.

Таким образом, самая маленькая по площади из административных областей Узбекистана Сырдарьинская имеет довольно бедную флору, значительную часть которой составляют синантропные виды, что связано со значительной степенью антропогенной трансформации территории области и отсутствием заповедников и национальных парков в этом регионе.

Библиографический список

1. Botanical Geography of Uzbekistan / K. Sh. Tojibaev, N. Yu. Beshko, V. A. Popov et al. Pocheon : Korea National Arboretum, 2017. 250 p.
2. Шестой национальный доклад Республики Узбекистан о сохранении биологического разнообразия. Ташкент : ПРООН/ГЭФ/Госкомэкологии РУз, 2018. 198 с.
3. Методическое руководство по ведению государственного учета и мониторинга объектов животного и растительного мира Республики Узбекистан. Ташкент : Matrix, 2021. 280 с.
4. Красная книга Республики Узбекистан: Редкие и исчезающие виды растений и животных (в 2-х томах). Т. 1. Растения. Ташкент : Tasvir, 2019. 356 с.
5. Флора Узбекистана. В 6 т. Ташкент : Изд-во АН УзССР, 1951–1962.
6. Флора Узбекистана. 2-е изд. / под ред. А. Н. Сенникова. Т. 1. Ташкент : Навруз, 2016. xxviii + 121 с.

7. Флора Узбекистана. 2-е изд. / под ред. А. Н. Сенникова. Т. 2. Ташкент : Навруз, 2017. xxviii + 200 с.
8. Флора Узбекистана. 2-е изд. / под ред. А. Н. Сенникова. Т. 3. Ташкент : Маънавият, 2019. xii + 201 с.
9. Флора Узбекистана. 2-е изд. / под ред. А. Н. Сенникова. Т. 4. Ташкент : Фан, 2022. xviii + 238 с.
10. Флора Узбекистана. 2-е изд. / под ред. А. Н. Сенникова. Т. 5. Ташкент : Фан, 2023. xiv + 469 с.
11. Флора Узбекистана. 2-е изд. / под ред. А. Н. Сенникова. Т. 6. Ташкент : Маънавият, 2023. xiv + 209 с.
12. Определитель растений Средней Азии. В 11 т. Ташкент : Фан, 1968–2016.
13. Определитель дикорастущих растений Голодной степи / В. П. Бочанцев, А. Я. Бутков, А. И. Введенский и др. Ташкент : Изд-во ТашГУ, 1961. 216 с.
14. Растительный покров Узбекистана и пути его рационального использования: в 4-х томах. Ташкент : Фан, 1971–1984.
15. Сулейманов Н. О., Кушиев Х. Х., Шомуродов Х. Ф. Растения Сырдарьинского оазиса. Гулистан : Гулистанский гос. ун-т, 2015. 278 с.

КОЛЛИЗИИ В ЗАПОВЕДНОЙ ОХРАНЕ ВЯТСКОЙ ПРИРОДЫ

А. Н. Соловьев

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, Россия, biomon@mail.ru

Ситуация с положением подлежащих особой охране уникальных скальных обнажений рифовых известняков по берегу р. Немда в Советском районе Кировской области при их обезличивании под вывеской «природного заказника» «Пижемский» – пример формальной, лишённой научного обоснования «особой охраны» природной территории.

Ключевые слова: Кировская область, Немда, особо охраняемые природные территории, шиверекия подольская, «Утёсы на Немде».

Из существующих в нашей стране особо охраняемых природных территорий (ООПТ) памятники природы – самая незащищённая и безнадзорная категория. У большинства из них так и не появились указатели, и порой даже местные жители не ведают о достойных внимания природных объектах в своей округе. При таком положении они не выполняют своего главного назначения – познавательного. Количество памятников природы в Кировской области стало сокращаться. В 2001 году их ещё насчитывалось 187, а к 2024 г. осталось 151.

Анализ состояния и перспективы создания системы охраны природных территорий в Кировской области приводятся в работах [1–3].

Периодические инициативные наблюдения за состоянием подлежащих особой охране с 1962 г. как памятники природы скальных обнажений рифо-

вых известняков казанского яруса пермской системы по берегам реки Немды в Советском районе Кировской области осуществляются автором на протяжении полувека с 1974 г. Проводилось обследование и фотофиксация скальных обнажений и растительного покрова на них.

В 1976 г. в Кировской геологоразведочной партии был завершён первый этап изыскательских работ и сдана в эксплуатацию разведанная часть Берсвятского месторождения известняков. Границы охранных зон геологических памятников не были учтены. По предложению геологов отработка месторождений должна была начаться непосредственно с береговых обнажений, что дешевле – не надо тратиться на снятие вскрышных пород.

Удалось добиться сохранения этих обнажений от камнеразработок, вовремя вмешавшись на федеральном уровне и остановив процесс официального решения на разработку месторождений известняка от береговых обнажений. Принятым по «предложению» Министерства геологии СССР решением Кировского облисполкома «Об охране памятников природы по берегам реки Немды в Советском районе Кировской области» № 9/272 от 11 мая 1981 г. предписано организациям, *«осуществляющим разработку полезных ископаемых в Советском районе, при подготовке проектно-сметной документации на строительство горнодобывающих предприятий и при отработке площадей, примыкающих к районам расположения памятников природы, обеспечить их полную сохранность и рекультивацию нарушенных земель»*; геологическим поисковым партиям *«при проведении геолого-разведочных работ на территории Советского района и при балансовой оценке месторождений учитывать неприкосновенность площадей в местах расположения памятников природы»*.

Берега Немды с благодатными карбонатными почвами издревле были плотно заселены. Через каждые 2–3 км здесь стояли большие деревни. Хозяйственная деятельность способствовала сохранению в безлесном состоянии скал. Прогон скота по осыпи препятствовал её задернению, сдерживая сукцессионное развитие склоновой растительности на безлесных стадиях, для которых характерно присутствие наскальных растений.

Наличием скальных выходов известняков по берегу р. Немды обусловлено существование здесь редкого «краснокнижного» представителя «меловой флоры», плейстоценового реликта с дизъюнктивным сокращающимся ареалом, кальциефильного растения – шиверекии подольской (*Schivereckia podolica* (Bess) Andrz.). Этот ксероморфный вид со структурой светового растения присутствует исключительно в травяной ассоциации наскально-неморальных фитоценозов, лишь на ранних стадиях растительных сукцессий на известковых субстратах. Характерная для кальцефилов стеноэдафичность шиверекии проявляется в обитании на скудном, почти не затронутом почвообразовательным процессом известковистом субстрате, на участках без задернения и затенения.

Немдинское местообитание шиверекии подольской поддерживалось умеренной антропогенной нагрузкой в виде выпаса и прогона скота, вытап-

тывания растительного покрова и вырубки жердняка по склону местными жителями [4].

Первоначально режим охраны геолого-ботанических комплексов по берегам Немды разрабатывался при густой заселённости прибрежных деревень, интенсивном освоении прибрежных сельхозугодий и соответственно предусматривал традиционные меры – *«запретить заготовки лекарственного сырья, вырубку деревьев, прогон и выпас скота»*.

С исчезновением к началу 1980-х годов прибрежных деревень каменистые склоны стали зарастать древесно-кустарниковой порослью, по щебнистой осыпи начала формироваться дернина из корней злаковых растений, вытесняющих наскальную флору. Щебёночная осыпь стала быстро подниматься вверх, закрывая скальный массив и превращая обрывистые участки берега в характерные для этой реки крутопокатые склоны. С зарастанием склонов шиверекия, как светолюбивый вид, стала исчезать от затенения.

Дифференцированный подход к разработке режимов охраны популяций редких видов на основе эколого-географического анализа условий местообитания в историко-созологическом аспекте предполагает своевременное выявление лимитирующих по отношению к конкретной популяции факторов [4].

В целесообразности данного режима в 1986 г. пришлось убеждать три комиссии с выездом на Немду. В течение недели намечали, уточняли и наносили на топографическую основу границы ботанико-геологических комплексов по берегам Немды с максимальным обеспечением территориальной целостности рифовых массивов. Труднее всего оказалось убедить лесников в целесообразности вырубки древесно-кустарниковой поросли по осыпи скального массива у бывшей д. Камень и своде полосы соснового леса, поднявшегося по осыпи под известняковой «стенкой» у бывшей д. Береснята. У работников лесного хозяйства один аргумент – лес защищает склоны от эрозии. Но древесно-кустарниковая растительность укрепляет корнями склоны, сложенные рыхлыми породами – песчаными, глинистыми. Каменистую породу корни деревьев и кустарников разрушают. Молодая поросль из застревающих в расщелинах обнажений известнякового монолита семян деревьев, проникая корнями в мелкие трещины и постепенно расширяя их, как клинья, откалывая куски породы, ускоряет её разрушение и образование щебёночной осыпи, постепенно скрывающей обнажение. За подтверждающими примерами далеко ходить не пришлось – из многих трещин по скальному обнажению поднималась берёзовая поросль. При непосредственном знакомстве с ситуацией на скальных участках членов комиссии удалось убедить в условности данного постулата. Были найдены компромиссы, чтобы сохранить и скалы, и рентабельность добычи известняков. В результате значительно сократились площади разведанных запасов лишь двух месторождений, но почти полностью остались под разработку три других. С учётом этих границ геологам пришлось проводить балансовую переоценку запасов известняков, на год задержав сдачу проектной документации. Решение органа власти Кировской области «О дополнительных мерах по сохранению шиверекии подольской по

берегам р. Немды в Советском районе» утверждено 23.03.1987 г. № 186. По берегам р. Немды был официально утверждён охраняемый ботанико-геологический комплекс «Утёсы на Немде» (рис. 1).

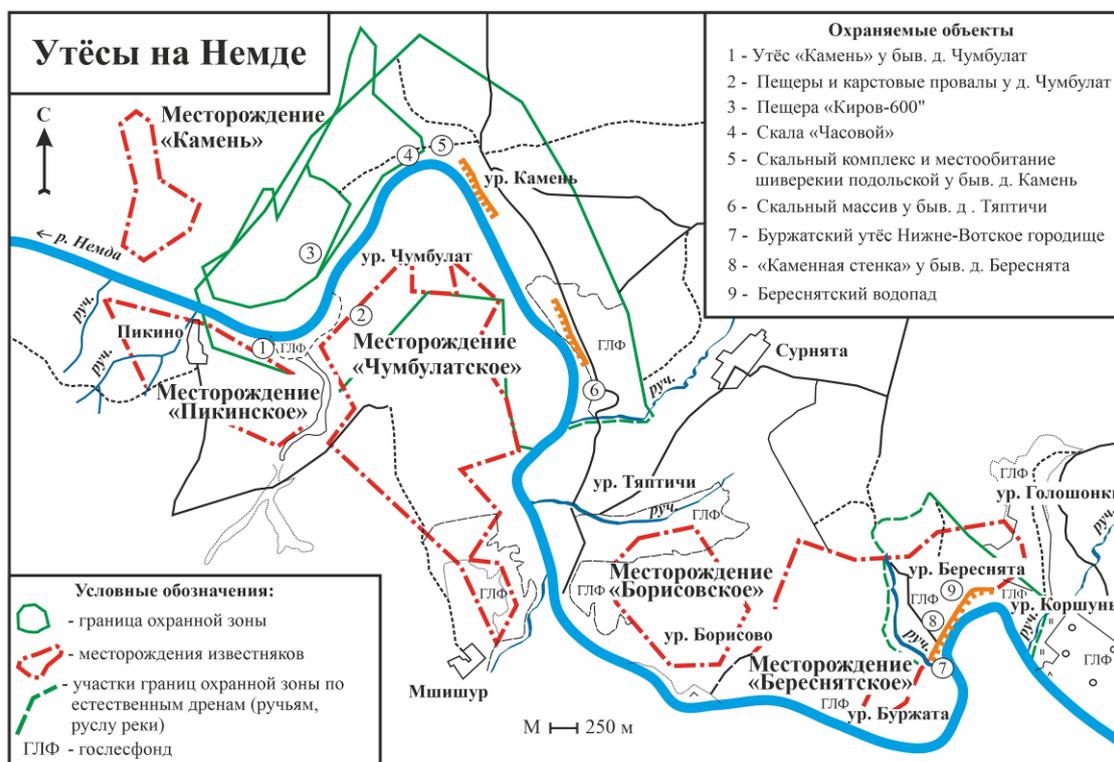


Рис. 1. Границы охранных зон на берегах реки Немды

Примечательно, что приглашённый на первую областную комиссию директор совхоза «Фокинский», центральная усадьба которого располагалась в селе Фокино в 3 км от Буржатского утёса, оказавшись под скалами, восторгался увиденным и сожалел, что раньше этого не видел, и не знал о взрыве Буржатского утёса по распоряжению бывшего директора этого совхоза для получения щебня на строительство дороги к телятнику, находившемуся под Буржатским утёсом. В результате уникальный для области природный объект был нарушен и совершенно напрасно: вместо камня получили осыпь мелкого щебня и пыли – рифовые известняки непригодны для мощения дорог. От взрыва обрушилась наиболее высокая часть утёса, образовался жёлоб, исчезли ступени и пещера...

Вопрос о правомерности полной или частично регулируемой заповедности в отношении местообитаний охраняемых видов к настоящему времени утратил дискуссионность, поскольку практика убедила специалистов в области охраны природы, что в определённых ситуациях полное заповедание может быть экологически рискованным [4, 5], что и подтверждает ситуация с охраной скалистых участков берега реки Немды.

Никто не воспротивился первоначальному решению геологов об отработке известняковых месторождений от береговых скал, на месте которых в

том случае давно был бы карьер. А вот для отмены с большими трудностями принятого решения «О дополнительных мерах...» – об осветлении береговых скал от древесно-кустарниковой поросли – организованной акции с «письмом трудящихся» оказалось достаточно. Обывательской аргументацией ограниченного в своих рассуждениях оппонента было: «пусть всё идёт своим чередом, если охранять, то ничего трогать нельзя». И не трогают. Скалы зарастают.

Обнажение у Тяптичей от реки уже не видно – заросло (рис. 2).



Рис. 2. Обнажение у бывшей деревни Тяптичи в 1987 и в 2018 году

До публикации «У водопада» в 1976 г. в газете «Кировская правда» даже туристы и плававшие по Немде байдарочники не ведали о существовании здесь водопада, наречённого Береснятским, и закрытой соснами каменной стенки с расщелиной между Буржатским утёсом и водопадом. Никому дела не было до состояния немдинских скал. Но, едва работники лесничества провели отвод под вырубку полосы диких зарослей по осыпи у подножия скального обнажения у бывшей д. Береснята, поднялась организованная кампания «в защиту утёсов» и областное природоохранное ведомство авторитарно приняло контррешение «не сводить лес в месте расположения водопада». Категорически возражая против вырубки деревьев под скалами, никто не возражал против вырубки леса в водоохранной зоне правого берега реки Немды ниже по течению от скал на трёх делянках размером 120–150х30–50 м в 80–100 м от русла реки. И никаких комиссий по этому поводу не было.

Только в безлесном состоянии это место уникально!

Не только погружающиеся в осыпь и зарастающие некогда живописные скальные участки берега Немды производят удручающее впечатление. Обезличиваются уникальные объекты на р. Немде. У немдинских обнажений не стало изначально установленных стенов с пояснительными текстами относительно их уникальности. В официальных сводках не стало «Утёсов на Немде». Уникальную достопримечательность вятской природы – ископаемые рифы – запрятали в какой-то фантом – заказник «Пижемский». Данному «заказнику» приписали все достоинства скалистого берега Немды и даже относящиеся к берегам Вятки в пределах пересечения ею Вятского Увала строки – «эти места часто называют «Вятской Швейцарией» из-за уникальной приро-

ды». Эта фраза не имеет отношения к мало привлекательным берегам Пижмы, протекающей среди преимущественно заброшенных сельхозугодий. Теперь на берегу Немды вместо прежних информационных щитов с характеристикой особенностей скалистых берегов установлены другие. Волею работников областного природоохранного ведомства в 1991 г. была оформлена под названием «заказник «Пижемский»» с трафаретной целью «охраны и восстановления уникальной природы Кировской области» территория в границах водоохранной зоны реки Пижмы в пределах пяти (!) районов на землях, не представляющих особой ценности, что мы констатировали при байдарочном проходе по р. Пижме в 1993 г. и при выездах на озёра Ахмановское, Шекень, Акшубень и территории в пределах водосбора Пижмы. Водоохранную зону объявили заказником (рис. 3).



Рис. 3. Границы заказника «Пижемский» в пределах водоохранных зон Пижмы и Немды

От немдинских скал до Пижмы – 20 км. Таких рек как Пижма немало в Кировской области, а обнажения ископаемых морских рифов – скалы на Немде – уникальные! Из надписей на новых стендах явствует, что это не охраняемый ботанико-геологический комплекс «Утёсы на Немде», а заказник «Пижемский», в состав которого входят следующие памятники природы (!?) и далее по списку ботанико-геологические комплексы на берегах р. Немды, озеро Ширей, озеро Лежнинское (за границей «заказника»). И ни одного объекта на берегах Пижмы! Причём здесь заказник «Пижемский»? Отнесение к нему немдинских скал – нонсенс. Обозначить «Утёсы на Немде» хотя бы как филиал «заказника» «Пижемский». Но эта несуряница теперь присутствует и в официальных сводках.

На плакате традиционно запрещается «полное, локальное или фрагментарное повреждение и уничтожение растительного покрова (древесно-кустарниковой растительности)», хотя не ивняки и древесная поросль привлекают сюда экскурсантов, а скальные обнажения, и чем больше топтать их, тем более привлекательными они будут! Или – пусть они зарастают, чтобы их не видно было?! Эта ситуация в Кировской области длится с 1989 г.

Во втором издании «Красной книги Кировской области» [6] в отношении шиверекии подольской указывается, что она произрастает не на скалах на Немде, а будто бы охраняется «в пределах заказника «Пижемский». Но она здесь никак не охраняется, поскольку для её сохранения необходимо поддерживать осветлённость мест произрастания. Известняковые обнажения по берегу Немды зарастают древесно-кустарниковой порослью.

Спасать скалы от камнеразработок пришлось по личной инициативе на общественных началах. Теперь же есть государственный природоохранный орган. Спасать здесь скалы нужно, прежде всего, от погружения их в осыпь. Когда обнажения погрузятся в облесённую щебнистую осыпь, то и охранять будет нечего, и на месте скал появятся карьеры по добыче известняков.

Ботанико-геологический комплекс «Утёсы на Немде» исчез из «Перечня действующих ООПТ на территории Кировской области по состоянию на 01.01.2024». В нём остались только «Зараменская пещера», находящаяся за пределами месторождений известняков, «Чимбулатский» и «Береснятский» ботанико-геологические комплексы. Обезличились в границах «природного заказника» «Пижемский» «Скальный массив «Камень» и «Каменная стенка» у д. Тяптичи в пределах Каменского месторождения известняков, с разработки которого изначально и предполагалось вести их добычу.

В плане благоустройства необходимо повысить рекреационную доступность скалистых участков, поддерживать подъезды к скалам, в частности, спуск у бывшей д. Камень, восстановить проходимость грунтовой дороги с выравниванием щебнем дорожного полотна по высокому берегу Немды от бывшей д. Камень до бывшей д. Тяптичи и до д. Сурнята.

Ситуация со скальными обнажениями на р. Немде в Советском районе Кировской области – пример бессмысленной охраны природной территории. Запрет на вырубку деревьев у скал лишён смысла. Нужно восстановить тот облик скалистых участков речного берега, для сохранения которого эта часть месторождения известняков и была изъята из разработок.

Фрагментарная вырубка деревьев по щебёночной осыпи шириной около 20 м у подножия скального массива протяжённостью около 200 м необходима, чтобы остановить затягивание его щебнем. Чтобы не только спасти скалы на Немде и их защитницу – шиверекию от исчезновения, но и сделать этот участок берега ещё более привлекательным – более высоким, с открытой каменной стенкой, нужно убрать щебёночную осыпь от подножий известняковых обнажений, и восстановится уникальный живописный облик скалистого берега.

Рекомендуется восстановить официальное название ООПТ «Утёсы на Немде».

Библиографический список

1. Соловьев А. Н. Сокровища вятской природы : монография. Киров, 1986. 159 с.
2. Соловьев А. Н. Памятники природы города Кирова. Киров, 2017. 136 с.
3. Соловьев А. Н. Заповедание территорий в аспекте природопользования. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2020. 250 с.
4. Соловьев А. Н. К методологии охраны ценопопуляций реликтовых видов в антропогенном ландшафте // Проблемы оптимизации и использования растительности и растительных ресурсов на Европейском Севере: тезисы докладов регион. науч. конф. : Восьмые Перфильевские чтения. Архангельск : Изд-во АГПИ, 1992. С. 137–139.
5. Торопова Н. А., Смирнова О. В. Экологический риск заповедания и пути его преодоления: обзор современных представлений // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19. Вып. 5. С. 1577–1580.
6. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. Изд. 2-е. Киров : ООО «Кировская обл. типография», 2014. 336 с.

***NITELLA MUCRONATA* (CHAROPHYTA) В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН**

Д. С. Любарский

*Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия,
lds57@mail.ru*

До настоящего времени в Среднем Поволжье харовые водоросли *Nitella mucronata* (Br.) Miquel были известны только по двум находкам в Чувашской республике. В 2020 г. обнаружено новое местонахождение *N. mucronata* в озере Малое Глубокое (г. Казань, Татарстан). Кратко описаны условия произрастания водорослей, морфология талломов и гаметангиев собранных образцов.

Ключевые слова: харовые водоросли, *Nitella mucronata*, Татарстан.

Харовые водоросли, несмотря на свои крупные размеры, имеют крайне слабую изученность как в Республике Татарстан, так и в целом по России [1, 2]. Их флористические находки редки и не регулярны, как пространственно, так и во времени [2, 3], и вероятность нахождения новых, особенно среди видов с широким ареалом, для республики весьма высока.

Nitella mucronata (Br.) Miquel имеет широкое распространение по миру – Центральная и Южная Америка, Африка, Азия, Европа [4], и повсеместное по России [5]. В Европейской части России известна из Ярославской области [6], где отмечается для рек и водохранилищ, из Владимирской и Московской областей [7], из Чувашии, в озерах государственного заповедника «Присурский» [8]. Находки *N. mucronata* исчисляются единицами, а для территории

Татарстана до настоящего времени вид не упоминался вовсе. Учитывая особенности экологии вида [9], вероятность его местонахождений в водных объектах данного региона весьма высока.

Так, новое местонахождение *N. mucronata* (координаты 55,847° с. ш., 48,964° в. д.) обнаружено в июне 2020 г. в озере Малое Глубокое, расположенном в городском лесопарке «Лебяжье» (г. Казань). Озеро карстово-суффозионного происхождения, находится в котловине, площадь открытой акватории составляет 1,1 га. Вода озера имеет хлоридно-сульфатный кальциево-магниевый состав, с общей минерализацией 0,046 г/дм³, очень мягкая (0,28 °Ж), слабокислая (6,74). По содержанию веществ органической природы характеризуется как грязная с показателем БПК₅ равным 5,5 мгО₂/дм³ (2,62 ПДК).

По периферии озера разорванными поясами распространены группировки макрофитов с доминированием *Typha latifolia*, *Alisma plantago-aquatica*, *Sagittaria sagittifolia*, перемежающиеся кустарниковой растительностью (*Salix*). Погруженная растительность представлена группировками с доминированием *Potamogeton natans*, *Ceratophyllum demersum* и *Elodea canadensis*, доходящие до глубины около 1 м. В восточной части акватории озера находится торфяная сплавина, формируемая *Menyanthes trifoliata*, *Comarum palustre* и сфагновыми мхами (*Sphagnum magellanicum* и *Sphagnum squarrosum*), зарастающая древесно-кустарниковой растительностью (виды *Salix*, *Betula*, *Frangula* и др.).

Харофиты *N. mucronata* (проективное покрытие (ПП) 1%) отмечены в северо-восточной оконечности акватории озера на глубине 0,1–0,3 м на оголённых илах, подстилаемых песками, с редким присутствием *E. canadensis* (ПП 5%).

Талломы небольшие, достигают 5–7 см высоты (рис.), ярко-зелёные, без инкрустации, гибкие. Стебли до 0,4 мм диаметром. Мутовки таллома состоят из 5–6 распростёртых вильчатых «листьев». «Листовые» клетки от 90 до 220 мкм в диаметре, концевые клетки 35–40 мкм в основании (рис.). Веточки с гаметангиями плотных головок не образуют.

Гаметангии многочисленные, находятся в развилках «листьев». Оогонии и антеридии объединенные (рис.). Оогонии расположены по одному, эллипсоидные – 350–450 мкм длиной, 300–420 мкм шириной. Ооспоры эллиптические, почти шаровидные, 250–300 мкм длиной, 240–300 мкм шириной, с 5–6 ребрами, желто-коричневые (рис.), с сетчатой структурой оболочки (рис.). Антеридии 280–300 мкм.

При повторном обследовании озера Малое Глубокое в 2023 г., популяцию *N. mucronata* обнаружить не удалось, это может указывать на не ежегодное развитие водорослей, что значительно усложняет выявление местонахождений вида.



Рис. *Nitella mucronata* из озера Малого Глубокого (г. Казань):
 1 – внешний вид гербаризированных талломов;
 2 – конечные клетки «листьев»; 3 – гаметангии; 4 – ооспора;
 5 – оболочка ооспор

В действующее издание Красной книги Республики Татарстан в список редких, нуждающихся в охране видов включены два представителя из отдела Charophyta: *Chara vulgaris* и *Nitella opaca*. С учетом вышеприведенных мате-

риалов, вид *N. mucronata*, впервые отмеченный на территории Татарстана, также может быть рекомендован к включению в список охраняемых.

Библиографический список

1. Жакова Л. В., Соловьева В. В. К изучению харовых водорослей водоемов Среднего Поволжья // Известия СамНЦ РАН. 2006. Т. 8 (1). С. 141–146.
2. Харовые водоросли (Charales, Charophyceae) Среднего Поволжья (Россия): конспект видов и оценка необходимости охраны / Р. Е. Романов, Е. В. Чемерис, Л. В. Жакова и др. // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2018. 3 (Suppl.2). С. 1–20.
3. Папченков В. Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль, 2001. 214 с.
4. Dąbbska I. Flora słodkowodna Polski. Vol. 13: Charophyta. Warszawa : PWN, 1964. 126 p.
5. Голлербах М. М., Красавина Л. К. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 14: Харовые водоросли – Charophyta. Л. : Наука, 1983. 190 с.
6. Харовые (Streptophyta, Charales) Ярославской области / Е. В. Чемерис, Р. Е. Романов, В. С. Вишняков, А. В. Тихонов // Ботанический журнал. 2015. Т. 100. № 6. С. 550–562.
7. Конспект харовых (Charophyceae) Верхнего Поволжья / Р. Е. Романов, Л. В. Жакова, Е. В. Чемерис и др. // Ботанический журнал. 2017. Т. 102. № 2. С. 147–162.
8. Романов Р. Е., Глушенков О. В., Владимирова Т. Г. *Chara contraria* и *C. globularis* (Charophyta, Characeae) – новые виды для флоры Чувашской Республики // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 2021. Т. 126. Вып. 6. С. 53–55.
9. Caisova L., Husak S., Komarek J. *Nitella mucronata* Br.) Miquel (Charophyta) in the Czech Republic // Fottea. 2008. Vol. 8. No. 2. P. 105–107.

БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТАРНИКА КАНАДСКОГО НА ЗАЛЕЖНОМ ЛУГУ В КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

С. С. Пронина, Л. А. Соколова, В. А. Васильева
Калужский филиал Российского государственного
аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Калуга, Россия,
pron.sofia@yandex.ru, chaika12@gmail.com, vasileva.vera.a@gmail.com

В статье представлены результаты исследования популяции инвазионного для Калужской области вида – золотарника канадского в нарушенной луговой экосистеме для определения возможности его сбора на лекарственное сырье. Исследование показало, что урожайность лекарственного сырья золотарника канадского в природной популяции может быть не меньше, чем в посевах.

Ключевые слова: золотарник канадский, инвазионный вид, лекарственное сырье.

Золотарник канадский – североамериканский вид, завезенный в Европу как декоративное растение в 17 веке. На территории Калужской губернии по-

явился во 2-й половине 19 века. В 21 веке внесен в Черные книги Московской, Калужской и сопредельных областей, как вид, который следует исключить из организованных посадок, поскольку он широко расселяется вне культуры вдоль автомобильных и железных дорог, около дач по залежам и сорным местам, в первую очередь, внедряясь в нарушенные сообщества [1]. В августе – сентябре аспектирует (то есть определяет цвет сообщества) по занятым местообитаниям. В Калужской области это уже составляет проблему, так как он занимает огромные территории, в определенной степени вытесняя местные виды. В тоже время, это ценное лекарственное растение [2]. Сотрудники ВИЛАР проводили опыты с золотарником канадским по введению его в культуру [3], изучали способы выращивания в одновидовых и двувидовых посевах [4]. Однако в условиях натурализации, быстрого разрастания и образования мощных зарослей, занимающих большие площади в нарушенных природных сообществах, становится актуальным изучение золотарника канадского и его учет как лекарственного растения в таких биогеоценозах. Отдельные клоны данного растения могут достигать возраста 100 лет [1], поэтому исследование золотарника на каждой конкретной территории вносит вклад в мировую базу данных об экологии этого вида.

В литературе приводятся данные по распространению золотарника канадского на территории европейской части России [5], по химическому составу, описываются его лекарственные и аллелопатические свойства [6]. Даются общие морфологические особенности золотарника канадского и его отличия от другого североамериканского вида – золотарника гигантского. Однако в литературных источниках отсутствуют показатели, которые бы обосновывали рентабельность или нерентабельность его сбора как лекарственного растения в природе. Для экономических расчетов необходимо определение некоторых биометрических показателей и массы лекарственного сырья золотарника, которую можно собрать в его зарослях. На территории Калужской области в таком аспекте золотарник канадский не изучался.

Целью исследования было определение биометрических показателей золотарника канадского, учитываемых при заготовке лекарственного сырья.

В задачи исследований входило определение основных биометрических характеристик золотарника канадского в природных сообществах Калужской области; определение биомассы лекарственного сырья с 1 побега; определение оптимальной высоты среза растений для заготовки лекарственного сырья; расчет массы лекарственного сырья с 1 м².

Исследования проводили в заросли золотарника канадского на левом высоком берегу р. Оки (координаты: долгота 36°8'9"; широта 54°31'49") по залежному лугу, площадь заросли 2,3 га. Луг несколько лет назад был распахан, боронование не проводилось, поэтому имеются борозды. Почва дерново-подзолистая легкосуглинистая. Изучение заросли золотарника канадского осуществляли в период массового цветения вида с третьей декады августа до второй декады сентября 2023 г. Биометрические показатели определяли по модельным экземплярам в соответствии с «Методикой определения запасов

лекарственных растений» [7], модельным экземпляром являлся побег. Процент площади, занятой золотарником в заросли, устанавливали на маршрутных ходах длиной 50 м. Полученные опытные данные обрабатывали математическими методами по Б. А. Доспехову, использовали калькулятор стандартных ошибок [8].

Золотарник канадский – многолетнее корневищное растение высотой 40–200 см, в наших исследованиях высота побегов колебалась от 80 см до 160 см, средняя высота составила 127,9 см (табл. 1). Стебли в верхней части опушенные, густо облиственные. По литературным данным число листьев на побеге может колебаться от 40 до 200. Мы отбирали образцы в начале сентября в фазу полного цветения данного вида. В соседстве с другими растениями нижние листья золотарника отмирают, поэтому количество зеленых листьев на 1 побег колебалось от 39 до 68, среднее составило 52,9 штук.

Лекарственным сырьем у золотарника является трава. Она включает листья, соцветия и одревесневшие части стебля не более 15% [6], поэтому в большей степени это листья и соцветия. Поскольку в качестве лекарственного сырья должна срезаться вся олиственная часть, важным показателем является определение высоты среза травы. В промышленных условиях золотарник убирают в посевах силосоуборочным комбайном, перерубая его побеги на отрезки величиной до 12 см, после высушивания твердые части отделяют от сырья. В наших исследованиях средняя длина неолиственной части стебля составила 51,4 см, олиственной – 54,2 см.

Средняя длина соцветия равнялась 23,3 см. Далекое не всегда соцветие несет веточки второго порядка. В нашем исследовании соцветия с веточками второго порядка составили 64%. Количество соцветий с ветвями 2-го порядка указывает на возраст кустов золотарника и условия его развития в данном сообществе.

Таблица 1

Биометрические показатели золотарника канадского (15.09.2023 г.)

Показатель	Величина
Средняя высота растений, см	127,9±11,3
Среднее количество листьев на побеге, шт.	52,9±4,9
Средняя длина олиственной части побега, см	54,2±5,1
Средняя длина неолиственной части побега, см	51,4±4,8
Средняя длина соцветия, см	23,3±2,0
Количество соцветий с ветвями 2-го порядка, %	64,0±6,1

Анализ соотношения сырой и сухой массы золотарника канадского показал, что с испарением воды теряется примерно 55% общей массы побега, причем сухая масса листьев и соцветий составляет около 40% от сырой, а для стеблей она равна 45,2% (табл. 2).

Общая масса стебля приближается к половине общей массы побега. Масса неолиственной части стебля золотарника почти вдвое больше массы олиственной части, ее необходимо учитывать для удешевления сбора и вывоза лекарственного сырья.

**Биомасса растений золотарника канадского по органам
в расчете на 1 побег (15.09.2023 г.)**

Орган растения	Сырая масса, г	Сухая масса, г	Отношение $M_{\text{сух.}}/M_{\text{сыр.}}$, %	Процент от общей массы побега (по сырой массе), %
Листья	6,81±0,63	2,72±0,26	39,8	26,7
Соцветия	6,10±0,59	2,32±0,21	38,0	23,9
Стебель, олиственная часть	4,53±0,44	2,32±0,23	51,2	17,7
Стебель, неолиственная часть	8,09±0,78	4,18±0,40	51,7	31,7
Общая масса стебля	12,62±1,22	6,50±0,63	51,5	49,4
Общая масса побега	25,53±2,34	11,54±1,12	45,2	
Масса лекарственного сырья (листья+соцветия)	12,91±1,23	5,04±0,49	39,0	50,6

Масса лекарственного сырья (листья + соцветия) составляет примерно половину общей массы побега. Масса соцветий в сыром виде примерно на 10% меньше, чем масса листьев; в сухом виде эта разница чуть меньше 5%. Масса олиственной части стебля, листьев и соцветий составила 68,3%,

Определение всех представленных показателей позволяет рассчитать массу лекарственного сырья золотарника канадского, которую возможно получить с 1 м² зарослей этого вида в нарушенных сообществах.

Среднее количество побегов на 1 м² в исследуемой заросли в г. Калуге составило 45. Поскольку урожайность лекарственного сырья (листья + соцветия) считается по нижнему пределу биомассы, она равнялась 525 г/м² по сырой массе и 205 г/м² по сухой массе. Следует отметить, что в коллекционном питомнике лекарственных и эфиромасличных растений СПбГАУ золотарник канадский размножали вегетативным путем: корневищные черенки с 4–5 почками высаживали в конце апреля 2014 г, по схеме 70 × 50 см, с осени вносили удобрения из расчета (NPK) 60 кг/га действующего вещества, при этом урожайность сухого сырья составила – 200 г/м² [9].

Таким образом, исследование природной популяции золотарника канадского, образованной в нарушенной луговой экосистеме, показало, что урожайность лекарственного сырья может быть равна или даже больше, чем в посевах. Получение лекарственного сырья с нарушенной луговой экосистемы не только помогает решать экологические задачи, но и экономически более выгодно, чем при использовании посевов, так как нет дополнительных затрат на посев и внесение минеральных удобрений.

Библиографический список

1. Решетникова Н. М., Майоров С. Р., Крылов А. В. Черная книга Калужской области. Сосудистые растения. Калуга : ООО «Ваш Домъ», 2019. 342 с.

2. Лекарственные и ядовитые растения центральной европейской части России и степной зоны Южного Урала / В. А. Васильева, А. В. Филиппова, Н. Ф. Гусев, Н. К. Сюняев. Оренбург : Издательский центр ОГАУ, 2016. 180 с.
3. Шуклин И. Ю. Рост и развитие золотарника канадского при возделывании в нечерноземной зоне России // Достижения науки и техники АПК. 2008. № 3. С. 25–27.
4. Семенихин В. И., Семенихин И. Д. Оптимизация агротехнологии получения промышленных плантаций золотарника канадского при совместных посевах с однолетними сельскохозяйственными культурами и ромашкой аптечной в условиях Московской области // Сельскохозяйственная биология. 2009. № 1. С. 99–105.
5. Шмелев В. М., Панкрушина А. Н. Особенности распространения инвазионных *Solidago* (Asteraceae) и их воздействие на природные виды // Вестник ТвГУ. Сер.: Биология и экология. 2019. № 3 (55). С. 130–135.
6. Сонова К. В. Использование золотарника в современной медицине // Научный медицинский вестник. 2015. № 2 (2). С. 61–67.
7. Методика определения запасов лекарственных растений / Приказ Гослесхоза СССР. М., 1986. 46 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.glavbukh.ru/npd/edoc/99_9032337 (дата обращения: 15.02.2024).
8. Калькулятор стандартных ошибок [Электронный ресурс]. – URL: <https://miniwebtool.com/ru/standard-error-calculator/> (дата обращения: 15.02.2024).
9. Найда Н. М., Ефремова М. А., Поленникова К. Ю. Урожайность и качество сырья золотарника канадского в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017. № 48. С. 24–30.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕНАЖНОЙ ПРОТОКИ ОЗЕРА СРЕДНИЙ КАБАН (РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН) ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФИТОПЛАНКТОНА

К. И. Абрамова, Р. П. Токинова

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, г. Казань, Россия, kseniaiv@yandex.ru*

В статье представлены результаты исследования экологического состояния Монастырской протоки оз. Средний Кабан г. Казани по структурным и количественным показателям летнего фитопланктона. Проведен сапробиологический анализ качества воды, дана оценка трофического статуса протоки.

Ключевые слова: фитопланктон, Монастырская протока, оз. Средний Кабан, качество воды.

Водные протоки играют важную экологическую роль в функционировании водоемов, выполняя функции водообмена, участвуя в перераспределении взвешенных и растворенных веществ, регулируя поддержание и сохранение разнообразия гидробионтов. Такие водные объекты нуждаются в мониторинге и рациональном управлении [1]. Исследование биологической составляющей является неотъемлемым этапом для оценки экологического состоя-

ния водоемов, где важное место занимает изучение состава и структуры фитопланктона.

Система озер Кабан (Нижний, Средний и Верхний) выполняет природно-эстетическое, рекреационное, экологическое значение, однако, располагаясь в центральной, промышленно-урбанизированной части г. Казани, испытывает высокую антропогенную нагрузку, принимая сточные воды предприятий и диффузный сток с водосборной территории. Монастырская протока является одним из элементов системы гидроинженерной защиты г. Казани и берет начало из оз. Средний Кабан, выполняя функцию регулирования уровня поверхностных вод озера. По сведениям ЕГРН на Публичной кадастровой карте обозначена как магистральная канава №1 протяженностью 3360 м и общей площадью 8148 м². Протока слабо изучена в гидробиологическом отношении, что обуславливает актуальность проведения исследований состояния ее фитопланктонного сообщества.

В 2021 г. объектом экологических исследований являлся верхний участок протоки, от ее истока из оз. Ср. Кабан до пересечения с ул. Варганова. Протяженность протоки на данном участке составила 480 м. Для изучения особенностей структурной организации фитопланктонного сообщества, таксономического состава и количественного развития, на акватории Монастырской протоки и прилегающего к ней участка оз. Ср. Кабан определены 5 станций (рис. 1), на которых в июне (15 и 17.06.2021 г.) с использованием плавсредств (лодки) проведен отбор проб из поверхностного слоя воды. На станции 1 (озеро) в дополнении к поверхностной пробе при помощи батометра Молчанова ГР-18 с горизонта 2-х метров отобрана подповерхностная проба. Всего проанализировано 6 проб в трехкратной повторности. Сбор и обработка этих материалов выполнены в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методами [2–6].

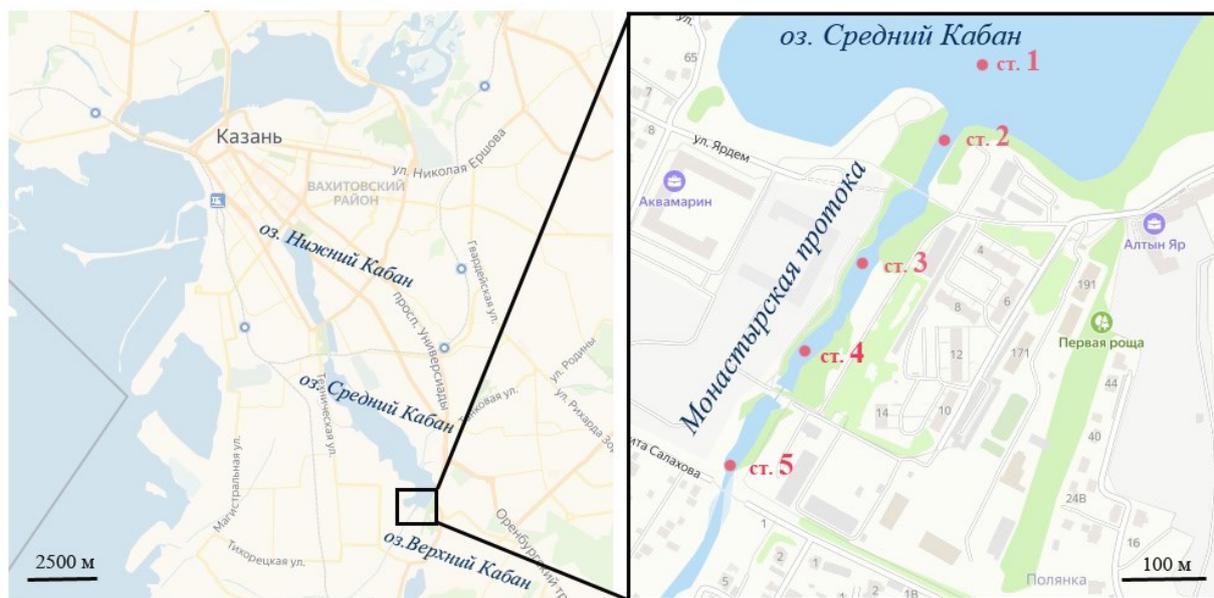


Рис. 1. Схема расположения гидробиологических станций

В фитопланктоне исследуемой акватории обнаружено 59 видов водорослей из шести отделов. Наиболее разнообразны в таксономическом отношении отделы Chlorophyta (29 видов) и Bacillariophyta (17). В эколого-географическом отношении основу флористического состава формируют широко распространенные, типично планктонные формы водорослей, индифферентные по отношению к уровню минерализации воды, относящиеся к β -мезосапробам.

Обследованные станции различались по числу обнаруженных видов и степени количественного развития водорослей (табл.). Сравнительно более высокое видовое разнообразие фитопланктона, 34 и 32 вида, наблюдалось на ст. 2 и 5. Это обусловлено присутствием здесь скоплений водной растительности, в которых планктонный комплекс видов обогащался за счет водорослей-обрастателей (на ст. 2 – из числа зеленых, на ст. 5 – диатомовых).

Таблица

Структурные и биоиндикационные показатели фитопланктона на исследованных участках Монастырской протоки и оз. Средний Кабан

Показатели / № станции	Ст. 1	Ст. 1*	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5
Число видов в пробе	24	25	34	25	26	32
Численность, N (млн кл./л)	30,08	26,76	10,55	16,46	14,19	1,76
Биомасса, B (мг/л)	1,35	1,79	0,51	1,03	0,59	0,05
Индекс сапробности, S	1,98	1,99	2,12	1,96	2,10	2,10
Зона сапробности (S)	β -мезосапробная, или умеренно-загрязненные воды					
Индекс Шеннона (по N)	1,72	2,38	2,36	2,29	1,92	1,57
Индекс Пиелу (по N)	0,52	0,66	0,66	0,66	0,64	0,61

Примечание: Ст. 1* – подповерхностный горизонт участка оз. Средний Кабан.

Наиболее низкие значения общей численности и биомассы фитопланктона (около 2 млн кл./л, 0,05 мг/л) отмечены в протоке на ст. 5, характеризующейся присутствием на значительной части акватории зарослей высших воздушно-водных растений (тростник, рогоз). Последние, создавая конкуренцию планктонным водорослям в борьбе за питательные биогенные вещества (азот и фосфор), препятствуют обильному развитию фитопланктона. Самые высокие показатели обилия (30 млн кл./л, 1,35 мг/л) отмечены в открытой акватории южной части оз. Средний Кабан на ст. 1, лишенной растительности. На участках протоки, расположенных между ст. 1 и ст. 5, количественные показатели фитопланктона находятся в промежутке между указанными максимальными и минимальными значениями.

В составе фитопланктона на всех пяти исследованных станциях преобладали зеленые водоросли (64–94% от общей численности, 85–99% от общей биомассы) (рис. 2).

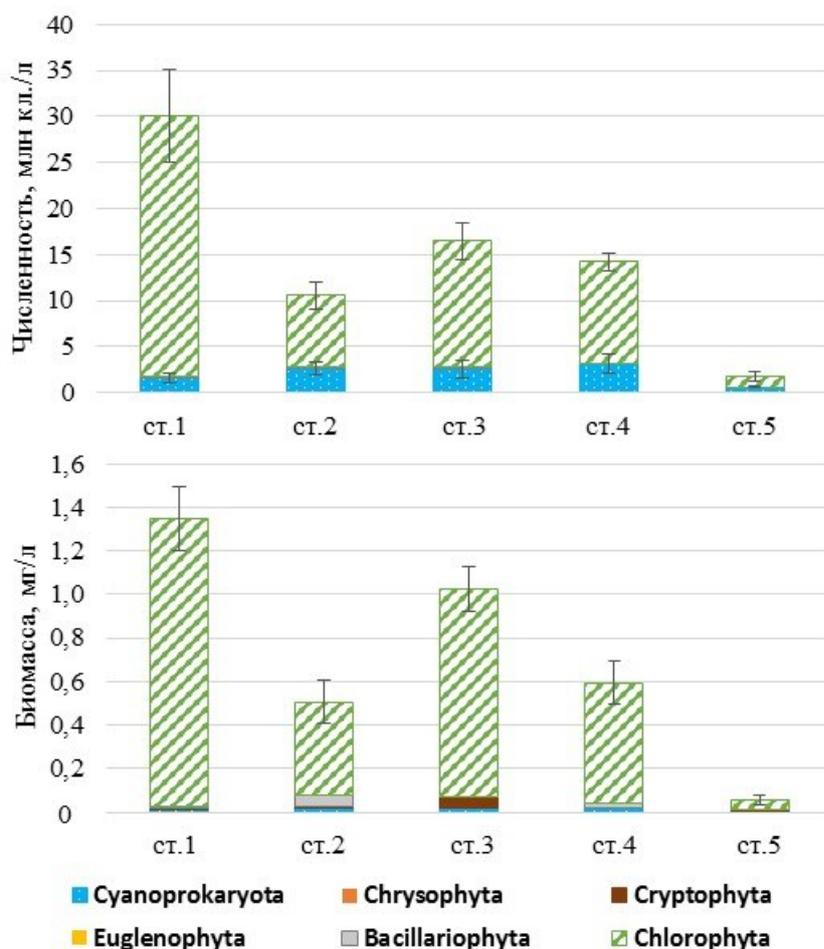


Рис. 2. Распределение отделов фитопланктона по численности и биомассе на станциях оз. Средний Кабан и Монастырской протоки

Доминирующий состав фитопланктона в поверхностных пробах характеризовался как зеленый с присутствием цианопрокариот. Наибольший вклад в количественные показатели сообщества вносили зеленая водоросль *Coelastrum microporum* (до 80% от общей численности и биомассы) и цианопрокариота *Romeria* sp. (до 30% от общей численности). Наиболее высокие количественные показатели *C. microporum* отмечались на ст. 1 (оз. Средний Кабан), *Romeria* sp. – на ст. 2–5 (Монастырская протока).

Следует отметить также присутствие в планктоне *Pediastrum duplex*, *Desmodesmus communis*, *Closterium acutum*, *Monoraphidium minutum* (Chlorophyta) и *Komma caudata* (Cryptophyta). Согласно функциональной классификации пресноводного фитопланктона сообщество акватории можно отнести к кодонам J, F, P, X1, X2, которые включают виды, свойственные мелководным, олиго-мезотрофным и высокоэвтрофным водоемам.

В оз. Средний Кабан (ст. 1) состав и обилие водорослей в поверхностном и подповерхностном слоях имеют различия. С увеличением глубины наблюдается незначительное снижение численности и такой же незначительный рост биомассы фитопланктона, обусловленные снижением доли зеленых

водорослей. К доминирующему комплексу (*C. microporum* и *Romeria* sp.) здесь присоединяется диатомея *Asterionella formosa* (доля от общей биомассы составила 17%) из функциональной группы С, к которой относятся виды, предпочитающие эвтрофные озера малых и средних размеров, толерантные к световому дефициту и чувствительные к истощению концентрации кремния в воде.

На основе экологических и функциональных свойств доминирующих видов фитопланктон исследованных участков протоки и озера можно охарактеризовать как комплекс видов, предпочитающих мелководные зоны водоемов. Изменчивость структуры функциональных групп определяется последовательной трансформацией комплекса видов (с доминированием *C. microporum*), свойственных высокоэвтрофным водоемам; от озерного участка (ст. 1), где этот вид наиболее многочисленен, к ст. 5 протоки, где его обилие существенно сокращается и к нему присоединяется комплекс видов, характерных для мезотрофных зон (*M. minutum* и *K. caudata*).

Согласно кластерному анализу количественного развития фитопланктона исследуемая акватория разделилась на три кластера (доля сходства менее 50%). В первый кластер вошел участок оз. Ср. Кабан (ст. 1), во второй – объединились станции протоки 2–4, в третий – нижняя часть протоки (ст. 5).

Анализ этих данных показывает, что по мере прохождения озерной водной массы по протоке, в ней происходит трансформирование структуры фитопланктонного сообщества. Процессы первичного продуцирования здесь, как и в озере, происходят преимущественно по фитопланктонному типу с развитием комплекса видов, характерных для мелководных высокоэвтрофных водоемов (ст. 2–4). И лишь в нижней части исследованного участка протоки (ст. 5), где глубина снижается и происходит зарастание высшими водными растениями, образование первичной продукции происходит преимущественно по макрофитному типу. Здесь заметно повышается биофильтрационная роль пояса воздушно-водной растительности. Обилие фитопланктона существенно снижается, а его функциональная структура трансформируется в комплекс видов, характерных для мелководных мезотрофных водоемов.

Анализ биоиндикационных показателей фитопланктона Монастырской протоки свидетельствует об удовлетворительном состоянии водоема в период исследования. Качество воды в Монастырской протоке определяется качеством воды поверхностных водных масс, сформировавшихся в оз. Средний Кабан. Для исследованных участков озера и протоки индексы сапробности, рассчитанные по индикаторным видам фитопланктона, изменяются в диапазоне 1,96–2,12, что является незначительными вариациями в пределах значений, соответствующих одной β -мезосапробной зоне, или «умеренно-загрязненным» водам. В Монастырской протоке качество воды довольно однородно по уровню органического загрязнения, что обусловлено небольшой протяженностью водного объекта (0,48 км) и отсутствием на протоке локальных источников загрязнения.

Видовое разнообразие планктонных сообществ исследованных участков протоки и южного участка озера, оцениваемое по среднему значению индекса Шеннона (2,05 бит/экз.), характеризуется на уровне средних для городских водоемов показателей.

Библиографический список

1. Суховило Н. Ю., Новик А. А. Роль речных проток в формировании гидрохимического режима озер национального парка «Браславские озера» // Природопользование. 2023. № 1. С. 41–53.
2. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / под ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовского. М. : Наука, 1975. 240 с.
3. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Archives für Hydrobiologie. Beiheft Ergebnisse der Limnologie. 1973. Vol. 7. No. 3. 218 p.
4. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
5. Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л. : Наука, 1990. 184 с.
6. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton / C. S. Reynolds, V. Huszar, C. Kruk et al. DOI: 10.1093/plankt/24.5.417 // J. Plankton Res. 2002. Vol. 24. No. 5. P. 417–428.

ВЫРАЩИВАНИЕ СПИРУЛИНЫ В УЗБЕКИСТАНЕ С ЦЕЛЬЮ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РЫБОВОДСТВЕ

*К. С. Туйчиев¹, Е. Н. Гинатуллина¹, Н. К. Атабаева²,
Р. А. Каримов¹, Ш. А. Хужамов³*

*¹ Научно-исследовательский институт рыбоводства,
Янгиюльский район, Ташкентская область, Республика Узбекистан,
tochiyevkatoliddin4@gmail.com, ginatullina@yandex.ru,
karimovrustambek87@gmail.com,*

*² Национальный университет Узбекистана,
г. Ташкент, Республика Узбекистан, atabaeva_nargis@inbox.ru,*

*³ Узбекско-Финский педагогический институт,
г. Самарканд, Республика Узбекистан, khujatovshaxboz479@gmail.com*

Выращивание спирулины для рыбоводства в Узбекистане имеет большое значение, так как использование этой водоросли в рыбном хозяйстве возможно для очистки органически загрязненных вод, а также в качестве основного питания для культивируемого зоопланктона, например, артемии. В качестве результата культивирования спирулины на культуральной среде Журдана, плотность сухой биомассы в 1 л суспензии равна 2,078±0,05 г/л.

Ключевые слова: аквакультура, спирулина, среда Журдана.

В настоящее время многочисленные исследования в аквакультуре сосредоточены на культивировании одноклеточных организмов, таких как бак-

терии, микроводоросли и грибы, которые используются в качестве добавок к кормам для рыб. Водоросли – это разнообразная группа водных фотосинтезирующих организмов, классифицируемых в аквакультуре либо как макроводоросли (морские водоросли), либо как микроводоросли (одноклеточные организмы) [1]. Спирулина (*Spirulina platensis*, *Arthrospira platensis*, *Spirulina jenniferi* var. *platensis* Nordstedt) – многоклеточная нитчатая синезеленая водоросль рода *Arthrospira* (синоним *Spirulina*, коммерческое название; рис.). Два распространенных вида более важны по своей питательной ценности: *Spirulina maxima* и *Spirulina plantensis* [2]. Нити представлены спирально закрученными трихомами сине-зеленого цвета. Развивается в пресноводной, высоко щелочной среде; встречается в пресноводных озерах Америки, Южной и Юго-Восточной Азии.

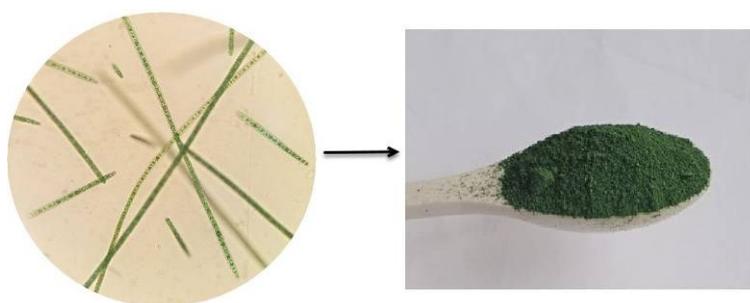


Рис. *Spirulina maxima* под микроскопом (НИИ рыбоводства, фото автора)

Пигментный состав представлен каротиноидами (β -каротин, зеаксантин, ксантофилл, миксооксоксантофилл, кантаксантин и др.), хлорофиллом *a*, фикобилинами (С-фикоцианин, аллофикоцианин и фикоэритрин), которые участвуют в обмене веществ. Наиболее значимым из них является фикоцианин – синий белковый комплекс. Он не только ингибирует окислительный стресс клетки, предотвращает перекисное окисление липидов, повреждение ДНК, разрушение клеточных мембран и гибель клетки, тормозит развитие раковых клеток, но также используется в качестве пищевого красителя [2–5].

В большинстве исследований спирулина использовалась для оценки прямого и косвенного положительного воздействия на водные организмы. Используется, например, как добавка в корма для форели, способная увеличить скорость роста и окраску радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), или для активации системы иммунной защиты белой креветки (*Litopenaeus vannamei*) [6]. В исследовании [7] установлено, что тилапия (*Oreochromis mossambicus*), которую кормили азолой и спирулиной, обладает высокой питательной ценностью, что, в свою очередь, может улучшить питательный статус человеческой популяции.

Настоящее исследование проводили в лаборатории «Корма и кормление рыб» НИИ рыбоводства Узбекистана. В опытах использовали *Spirulina maxima* из Института ионно-плазменных и лазерных технологий Узбекистана. Суспензию спирулины выращивали в стеклянных колбах (13 л) в течение 15 сут при температуре 28 ± 2 °C с фотопериодом 12/12 ч на модифицирован-

ной среде Журдана (табл. 1), содержащей 8,0 г/л NaHCO₃. Все пробы продували (барботировали) атмосферным воздухом в течение светового фотопериода, используя воздушные компрессоры для аквариумов SOBO SB-666 A (Китай) и стеклянные трубки. В качестве источника света использовали лампы LED Tube 600 mm 8w с обеих сторон колбы.

Таблица 1

Химический состав модифицированной среды Журдана

Реагенты	Концентрация (г/л)
CH ₄ N ₂ O	0,07
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0,2
FeSO ₄ · 7H ₂ O	0,005
K ₂ SO ₄	1,0
NH ₄ HPO ₄	0,1
KNO ₃	2,0
NaCl	10,0
NaHCO ₃	8,0

Для определения плотности клеток спирулины ее клетки выделяли из суспензии фильтрованием. Для этого 50 мл суспензии спирулины фильтровали на мерном беззольном бумажном фильтре. Биомассу промывали 50 мл дистиллированной воды для удаления солей, после чего фильтры высушивали при температуре 105 °С до постоянной массы. По разнице масс фильтров с высушенной биомассой спирулины и без нее определяли количество сухой биомассы в 50 мл суспензии, а затем полученный результат пересчитывали на 1 л [8].

Оптическую плотность образца измеряли с помощью спектрофотометра. Результатом измерений является интенсивность света с определенной длиной волны до и после его прохождения через образец. Разница между двумя измерениями использовалась для расчета оптической плотности образца. Чтобы рассчитать оптическую плотность по данным поглощения, сначала измеряли поглощение образца при определенной длине волны с помощью спектрофотометра UV/VIS 5100. Для расчета соответствующей оптической плотности использовали уравнению [9]:

$$D_{opt} = \log(I_0/I_t) = \varepsilon \cdot C \cdot l,$$

где D_{opt} – оптическая плотность, I_0 – это интенсивность падающего света, I_t – интенсивность проходящего света, ε – молярная поглощающая способность, C – концентрация вещества, l – длина пути света, проходящего через образец, см.

В наших экспериментах клетки спирулины культивировались в артезанской воде с общей жесткостью воды 13 мг/экв/л, общую жесткость воды проверяли по ГОСТ 4151-72.

Длину клеток спирулины измеряли при микроскопировании с объективом 10× с использованием программного обеспечения Micro Capture.

Клетки спирулины культивировали для выращивания артемий и дафний. Так как в наших экспериментах использовалась артезианская вода (повышенная минерализация и жесткость), к ней необходимо было адаптировать спирулину. Через 2 суток пребывания в приготовленной на артезианской воде питательной среде клетки адаптировались к новой среде, а затем культивировались в закрытых колбах в течение 15 суток. Через 1 неделю пребывания в суспензии значения рН культуральной среды стабильно составляли 8–9. На второй неделе исследования в суспензии рН был равен 8,66.

При определении оптической плотности суспензии после 15 дней выращивания на спектрофотометре (UV/VIS 5100) этот показатель составил 0,73, а плотность сухой биомассы суспензии – $2,078 \pm 0,05$ г/м³. Длина клеток спирулины составляла 0,33–0,55 мм.

При определении оптической плотности суспензии индекс поглощения равен в дистиллированной воде 0,0007, в суспензии спирулины 0,317. В следующем опыте суспензию разделяли через сито 25 микрон и определяли гидрохимические параметры воды (табл. 2).

Таблица 2

Гидрохимические показатели в суспензии и аквариумной воде

Среды	рН	Общая жесткость, мг/экв/л
Артезианская вода	6,5	13,02
Суспензия спирулины на артезианской воде	8	9,2

По нашим данным общая жесткость воды существенно снизилась на 3,82 мг/экв/л за 15 суток. Полученную биомассу использовали при выращивании артемий (*Artemia salina*) и дафнии (*Daphnia magna*). Эти представители зоопланктона важны в рыбоводстве в качестве стартового питания для мальков рыбы.

Результаты проведенного эксперимента показывают, что за 15 дней плотность клеток суспензии спирулины, полученная при выращивании на 10 г соли NaCl и с низким содержанием NaHCO₃, составляла $2,078 \pm 0,05$ г/л. Кроме того, при культивировании спирулины общая жесткость воды снизилась на 3,8 мг/экв/л.

Таким образом, суспензия спирулины может успешно использоваться в рыбоводстве Узбекистана для выращивания артемий, а также в солоноватых и жестких водах для очистки загрязненных вод, а в рыбоводных прудах также будет служить в качестве корма для зоопланктонных организмов.

Библиографический список

1. Nutritional profile of *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* and *Azolla pinnata* to novel protein source for aquaculture feed formulation / S. Radhakrishnan, P. S. Bhavan, C. Seenivasan, T. Muralisankar // Austin. J. Aquac. Mar. Biol. 2017. Vol. 2. No. 1. Article No. 1005.
2. Pamulapati S.V., Behera P. C. The Multifunctional dietary properties of *Spirulina* and its use in aquaculture [website] – URL: https://en.engormix.com/aquaculture/algae-supplements/the-multifunctional-dietary-properties_a35558/ (дата обращения: 19.03.2024).

3. Добронравова И. Полезные свойства и применение спирулины [Электронный ресурс]. – URL: <https://vitgid.ru/pitanie/superfoods/vodorosli/arthrospira/spirulina/> (дата обращения: 19.03.2024).

4. Исследование пигментов сине-зеленой водоросли спирулины платенсис для практического использования в технологиях кондитерских изделий / Т. К. Каленик, Е. В. Добрынина, В. М. Остапенко и др. DOI:10.20914/2310-1202-2019-2-170-176 // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 2. С. 170–176.

5. Zaid A. A. A., Hammad D. M., Sharaf E. M. Antioxidant and anticancer activity of *Spirulina platensis* water extracts. DOI: 10.3923/ijp.2015.846.851 // International Journal of Pharmacology. 2015. Vol. 11. P. 846–851.

6. Use of *Spirulina platensis* in treatment of fish farming wastewater / S. M. S. Nogueira, J. S. Junior, H. Maia et al. // Rev. Ciênc. Agron. 2018. Vol. 49. No. 4. P. 599–606.

7. Sakthivel M., Prakash Sahaya Leon J. Effect of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) and *Azolla pinnata* on growth performance and hematology of the freshwater fish *Oreochromis mossambicus* (*Tilapia*). DOI: 10.22376/ijpbs/lpr.2022.12.5.L156-164 // Int. J. Life Sci. Pharma Res. 2022. Vol. 12. No. 5. P. L156–164.

8. Вязов Е. В., Мананкина Е. Е., Филипчик Е. А. Эффективность повторного использования модифицированной питательной среды Заррука для культивирования спирулины (*Spirulina platensis*) // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. 2018. Т. 63. № 4. С. 426–436.

9. Nanotutes. Optical density from absorption data [Internet resource]. – URL: <https://nanotutes.blogspot.com/2020/06/optical-density-from-absorption-data.html> (assessed: 19.03.2024).

ПОЛУЧЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛО-КАРОТИНОВОГО КОНЦЕНТРАТА С ЦЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ХВОИ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ

Л. В. Хохрякова, Т. А. Адамович

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
ludmilahohrakova017@gmail.com*

В данной статье представлена методика получения хлорофилло-каротинового концентрата в виде пасты из хвои ели обыкновенной, результаты определения количественного содержания хлорофилла и каротина в полученном продукте. Исследовано соответствие препарата требованиям ГОСТ 21802 84.

Ключевые слова: хвоя, ель обыкновенная, хлорофилло-каротиновая паста, хлорофилл.

Хвойная хлорофилло-каротиновая паста – это фитонцидный поливитаминный препарат, который содержит хлорофилл, каротин, каротиноиды и другие биологически активные вещества. Препарат способствует стимулированию иммунной системы, обладает бактерицидными свойствами, оказывает антистрессорное, противоязвенное действие на организм. Хлорофилло-каротиновая паста также находит применение как витаминная кормовая до-

бавка в животноводстве и птицеводстве, в парфюмерной промышленности как биологически активный компонент [1, 2].

Хлорофилло-каротиновая паста вырабатывается из свежей древесной зелени сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), в соответствии с требованиями ГОСТ 21802 84 «Паста хвойная хлорофилло-каротиновая. Технические условия». Используемая в исследованиях хвойная паста, представляет собой однородную, густую, мазеобразную массу оливково-зеленого цвета [2].

Перспективным сырьём для производства биологически активных препаратов могут служить лесные ресурсы, рациональное использование которых предусматривает утилизацию всей биомассы леса. Таким сырьём является древесная зелень, наличие биологически активных веществ в которой делает её ценным продуктом. Однако хвоя на сегодняшний день используется ограниченно. Отходы лесозаготовок, оставленные на вырубках, приводят к снижению эффективности использования лесных ресурсов [3]. В том числе в Кировской области актуальна проблема рационального использования отходов коры и хвои.

В Кировской области лесом покрыто порядка 63% территории, а основными породами являются ель и сосна. Поэтому хорошо развита лесная промышленность, которая, как и любое производство, имеет отходы. Эти отходы, несмотря на то, что являются безопасными в случае отсутствия процесса утилизации, могут быть успешно переработаны с пользой. Одним из способов переработки является изготовление хлорофилло-каротиновой пасты, которая находит своё применение во многих отраслях промышленности и в сельском хозяйстве.

В данной работе использовали свежесобранную хвою ели обыкновенной. Растительное сырьё предварительно измельчали до размера частиц 0,7–1,0 см и извлекали из неё эфирное масло путём отгонки с водяным паром. Оставшийся твёрдый остаток хвои обрабатывали 60%-ным изопропиловым спиртом при температуре 50 °С в течение 8–24 часов. Полученный экстракт фильтровали и упаривали на электрической плитке до образования густой массы. Выход продукта составил 2% от начальной массы сырья.

Далее определяли рН водного раствора с массовой долей пасты 1% с помощью рН-метра. Полученное значение составило $4,5 \pm 0,1$. Данное значение выходит за пределы допустимых значений по ГОСТу. Среда раствора слабокислая.

В полученном продукте также было определено количественное содержание хлорофилла и каротина методом спектрофотометрии. Препарат растирали в ступке с 80%-ным ацетоном и добавлением небольшого количества карбоната магния для нейтрализации кислот клеточного сока и предотвращения феофитинизации пигментов. Определяли оптическую плотность D вытяжки при длинах волн 663 и 646 нм, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов a и b в 80%-м растворе ацетона. Для определения содержания каротиноидов измеряли оптическую плотность D вытяжки при $\lambda=470$ нм.

Концентрацию пигментов рассчитывают по следующим формулам (С – концентрация, D – оптическая плотность) [4]:

$$C_{\text{хла}}, \text{ мг/л} = 11,63 \cdot D_{663} - 2,39 \cdot D_{646},$$

$$C_{\text{хлб}}, \text{ мг/л} = 20,11 \cdot D_{646} - 5,18 \cdot D_{663},$$

$$C_{\text{хла+хлб}}, \text{ мг/л} = 6,45 \cdot D_{663} - 17,72 \cdot D_{646}.$$

Результаты количественного определения компонентов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание хлорофилла и каротина в полученном продукте

Компонент	Проба № 1	Проба № 2	Среднее содержание компонента, мг/г
Хлорофилл	$C_{\text{хла}}=1,2385 \text{ мг/л}$ $C_{\text{хлб}} = 1,9053 \text{ мг/л}$ $A_{\text{хла}}= 0,2683 \text{ мг/г}$ $A_{\text{хлб}} = 0,4127 \text{ мг/г}$ $A_{\text{хл.общ}} = 0,6810 \text{ мг/г}$	$C_{\text{хла}}=0,9353 \text{ мг/л}$ $C_{\text{хлб}} = 1,4878 \text{ мг/л}$ $A_{\text{хла}}=0,2091 \text{ мг/г}$ $A_{\text{хлб}} = 0,3327 \text{ мг/г}$ $A_{\text{хл.общ}} = 0,5418 \text{ мг/г}$	$A_{\text{хл.общ}} = 0,611 \pm 0,030$
Каротины	$C_{\text{кар}} = 1,0193 \text{ мг/л}$ $A_{\text{кар}} = 0,2210 \text{ мг/г}$	$C_{\text{кар}} = 1,1269 \text{ мг/л}$ $A_{\text{кар}} = 0,2520 \text{ мг/г}$	$A_{\text{кар}} = 0,237 \pm 0,030$

Если соотнести полученные результаты с требованиями ГОСТ, то полученная хлорофилло-каротиновая паста соответствует нормам второго сорта по показателю «массовая доля каротина, мг/100 г» (табл. 2).

Таблица 2

Показатели хвойной хлорофилло-каротиновой пасты

Наименование показателя	Нормы для сорта			Результаты анализа опытного образца
	высший	первый	второй	
Массовая доля воды, %, не более	40,0	40,0	40,0	–
pH водного раствора с массовой долей пасты 1%	8,0–9,0	8,0–9,0	8,0–9,0	4,5
Массовая доля производных хлорофилла, мг/100 г сухой пасты, не менее	1000,0	700,0	600,0	61,1
Массовая доля каротина, мг/100 г сухой пасты	45,0	30,0	20,0	23,7

Низкое содержание хлорофилла и каротина может быть обусловлено выбором экстрагента, в качестве которого использовался изопропиловый спирт. Для более мягкой экстракции возможно применение гексана или бензина. Однако сохранение всех биологически активных веществ в исходном количестве затруднено, поскольку стадии экстракции предшествует отгонка эфирных масел методом перегонки с водяным паром.

Методика изготовления пасты в дальнейшем будет совершенствоваться.

Библиографический список

1. Рунова Е. М., Угрюмов Б. И. Комплексная переработка зелени хвойных пород с целью получения биологически активных веществ // Химия растительного сырья. 1998. № 1. С. 57–60.
2. Тарабанова Е. В., Гаптар А. Л. Обоснование использования хвойной хлорофиллокаротиновой пасты в технологии производства леденцовой карамели // Научный и инновационный потенциал развития производства, переработки и применения эфиромасличных и лекарственных растений : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Симферополь, 13–14 июня 2019 г.). Симферополь : ООО «Изд-во Типография «Ариал», 2019. С. 348–354.
3. Воробьев А. Л., Калачев А. А., Залесов С. В. Использование отходов лесозаготовок в качестве сырья для получения кормовых добавок // Леса России и хозяйство в них. 2018. № 3 (66). С. 65–72.
4. Каташов Д. А., Хрянин В. Н. Влияние фитогормонов и селената натрия на содержание пигментов и продуктивность растений рапса сорта «Ратник» (*Brassica napus*) // ИВУЗ ПР Естественные науки. 2014. № 1 (5). С. 25–34.

СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПЛОДАХ, ЛИСТЬЯХ ЖИМОЛОСТИ И КАЛИНЫ

А. А. Тюлькина, Т. А. Адамович, М. А. Зайцев
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
alenatulkina2003@mail.ru

В статье представлены данные о содержании флавоноидов, антоцианов и аскорбиновой кислоты в замороженных и высушенных плодах, сухих листьях представителей семейства жимолостные (*Caprifoliaceae*) – калины и жимолости. Установлено, что листья данных растений содержат большее количество биологически активных веществ (БАВ) по сравнению с плодами.

Ключевые слова: плоды, листья калины и жимолости, аскорбиновая кислота, антоцианы, флавоноиды.

Изучение представителей семейства жимолостные проводится с целью расширения данных об отечественной сырьевой базе для фармацевтической промышленности. В Российской Федерации растения семейства *Caprifoliaceae* не получили широкого применения в лечебных целях как лекарственное растительное сырье, несмотря на большую популярность [1, 2]. Достоинство жимолости и калины состоит не только в высоком адаптивном потенциале и стабильности плодоношения. Их ценность заключается и в целебных свойствах плодов, чрезвычайно богатых БАВ различной химической природы. Одни из самых значимых – флавоноиды, антоцианы, аскорбиновая кислота, характеризующиеся антиоксидантной активностью и другими ценными свойствами. В настоящее время уровень их содержания в растительном сырье считается важнейшим показателем его биологической ценности [3].

Целью работы является сравнение содержания биологически активных веществ в плодах и листьях калины и жимолости.

К биологическим антиоксидантам относятся специфические ферменты и другие органические вещества, такие как витамин С и антоцианы, которые способны замедлить или предотвратить разрушительное воздействие окисления на ткани организма [4, 5]. Особенности антиоксидантного действия веществ определяются в первую очередь их химической природой. В химическом отношении витамин С является простейшим среди витаминов, но наличие в его молекуле ендиольной группировки создает основу для сложных окислительно-восстановительных процессов с участием стабильных промежуточных радикалов [6]. Антоцианы также являются сильными антиоксидантами, нейтрализуют действие свободных радикалов, подавляют рост опухолей, благотворно действуют на организм человека. Одним из перспективных источников фитопрепаратов считаются лекарственные растения, содержащие флавоноиды, которые обуславливают антиоксидантные, желчегонные, диуретические, нейротропные и другие важнейшие фармакологические свойства [7].

Плоды и листья жимолости и калины собраны в июне 2023 г. на территории Кировской области. Плоды хранили в замороженном виде при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ непосредственно до приготовления экстрактов, а также высушивали в условиях лаборатории. Листья также сушили в условиях лаборатории.

Количество антоцианов и флавоноидов определяли в спиртовых экстрактах засушенных, замороженных плодов и листьев исследуемых растений спектрофотометрическим методом при длине волны 541 и 410 нм соответственно. Определение содержания аскорбиновой кислоты проводили методом кулонометрического титрования.

Результаты проведённых исследований представлены в таблице.

Таблица

Содержание исследуемых веществ в плодах и листьях калины

Сырье		Флавоноиды, %	Антоцианы, %	Аскорбиновая кислота, мг/ 100 г
Сухие плоды	Калина	$0,150\pm 0,023$	$4,8\pm 0,5$	$6,4\pm 0,5$
Замороженные плоды		$0,006\pm 0,001$	$0,22\pm 0,04$	$7,6\pm 0,6$
Листья		$0,31\pm 0,04$	$0,36\pm 0,05$	$8,2\pm 0,6$
Сухие плоды	Жимолость	$0,148\pm 0,023$	$3,2\pm 0,4$	$6,7\pm 0,5$
Замороженные плоды		$0,015\pm 0,002$	$0,34\pm 0,05$	$3,62\pm 0,27$
Листья		$0,207\pm 0,032$	$5,2\pm 0,6$	$8,3\pm 0,6$

При анализе полученных данных установлено, что наибольшее количество аскорбиновой кислоты содержится в листьях калины и жимолости. В замороженных плодах калины содержание аскорбиновой кислоты в 2 раза больше, чем в жимолости. Минимальное содержание флавоноидов обнаружено в замороженных плодах жимолости и калины. Максимальное содержание флавоноидов – в листьях калины (0,31%).

Сумма антоцианов варьировала в диапазоне от 0,34 до 5,2%. Максимальное содержание отмечено в листьях жимолости. В замороженных плодах калины содержание антоцианов минимально.

По данным эксперимента можно сделать вывод о том, что листья калины и жимолости содержат большее количество определяемых биологически активных веществ, по сравнению с плодами.

Библиографический список

1. Исследование комплекса биологически активных веществ в плодах перспективных сортов жимолости голубой (*Lonicera caerulea* L.) / И. Б. Перова, К. И. Эллер, М. А. Герасимов и др. DOI:10.30901/2227-8834-2023-1-53-69 // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. № 184 (1). P. 53–69.

2. Blue honeysuckle fruit (*Lonicera caerulea* L.) from eastern Russia: phenolic composition, nutritional value and biological activities of its polar extracts / G. Caprioli, R. Iannarelli, M. Innocenti et al. DOI: 10.1039/c6fo00203j // Food and Function. 2016. Vol. 7. No. 4. P. 1892–1903.

3. Содержание биологически активных соединений в плодах калины и жимолости, произрастающих в Краснодарском крае / О. М. Евтухова, Н. Ю. Теплюк, В. М. Леонтьев, Г. В. Иванов // Химия растительного сырья. 2000. № 1. С. 77–79.

4. Gupta D: Methods for Determination of Antioxidant Capacity: A Review. DOI: 10.13040/IJPSR.0975-8232.6(2).546-66 // Int. J. Pharm. Sci. Res. 2015. Vol. 6. No. 2. P. 546–566.

5. Физико-химические методы изучения антиоксидантной активности растительного сырья и продуктов его переработки / С. П. Завадский, И. И. Краснюк (Мл.), Ю. Я. Харионов и др. // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. № 2. С. 214–221.

6. Тимирханова Г. А., Абдуллина Г. М., Кулагина И. Г. Витамин С: классические представления и новые факты о механизмах биологического действия // Вятский медицинский вестник. 2007. № 4. С. 158–161.

7. Куркин В. А., Куркина А. В., Авдеева Е. В. Флавоноиды как биологически активные соединения лекарственных растений // Фундаментальные исследования. 2013. № 11–9. С. 1897–1901.

СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В РАСТЕНИЯХ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ ЭКЗОМЕТАБОЛИТАМИ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ

**Е. В. Товстик^{1,2}, О. Н. Шуплецова²,
Ю. А. Злобина², Д. В. Попыванов²**

¹ Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
tovstik@inbox.ru

² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия

В статье представлены результаты оценки влияния экзометаболитов ксилотрофных базидиальных грибов: *Phellinus igniarius*, *Ganoderma multipileum*, *Ganoderma applanatum*, *Fomes fomentarius* и *Lentinula edodes* на содержание полифенолов в растениях пшеницы, полученных из асептически индуци-

рованных незрелых зародышей на питательной среде. Установлен неоднозначный характер влияния культуральной жидкости исследуемых видов грибов на общее содержание полифенолов в надземной массе (увеличение – *Ph. igniarius* (1:10), уменьшение – *F. fomentarius* (1:100)) и корнях пшеницы (увеличение – *F. fomentarius* (1:10), уменьшение – *G. multipileum* (1:100)). Более высокое содержание свободных полифенолов относительно контроля в случае надземной биомассы отмечено в вариантах опыта с *G. multipileum* (1:10 и 1:100); в корнях – *Ph. igniarius* (без разбавления) и *G. applanatum* (1:10).

Ключевые слова: *Phellinus igniarius*, *Ganoderma multipileum*, *Ganoderma applanatum*, *Fomes fomentarius*, *Lentinula edodes*, свободные полифенолы.

Адаптация растений к стрессорам окружающей среды представляет собой сложный процесс, включающий как физиологические, так и молекулярные механизмы. Изучение адаптационных механизмов имеет решающее значение для разработки новых стратегий, направленных на повышение стрессоустойчивости и первичной продуктивности растений [1].

В последние годы в селекции зерновых сформировалась тенденция, направленная на сочетание высоких биохимических и агрономических показателей в одном сорте. При этом зачастую у сортов, адаптированных к неблагоприятным условиям окружающей среды, отмечается корреляция между содержанием биологически активных соединений и устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам [2].

С определенными трудностями сопряжена адаптация растений, полученных *in vitro*, к нестерильным условиям. Особую чувствительность к переходному периоду проявляют растения-регенеранты зерновых культур (низкий уровень побегообразования и роста, некротизация и возможная гибель). Высокие потери регенерантного материала неизбежны, а его себестоимость в результате возрастает во много раз [3]. Необходимы особые приемы, направленные на максимально быстрый возврат устойчивости *ex vitro* растений к абиотическим и биотическим факторам внешней среды.

В лаборатории биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений ФАНЦ Северо-Востока изучается перспектива применения вторичных метаболитов ксилотрофных базидиальных грибов для стимуляции роста зерновых и повышения их устойчивости к абиотическим стрессорам. Для успешного внедрения биостимуляторов в сельское хозяйство необходима оценка их воздействия на морфофизиологические и биохимические показатели роста растений [4].

Полифенолы относятся к числу наиболее распространенных соединений вторичного метаболизма в растениях. Накопление и биосинтез полифенолов в растениях зависят от многих факторов, в том числе физиолого-биохимических и молекулярно-генетических процессов в растительной ткани, а также состояния окружающей среды [5]. В последние годы эти соединения

все чаще рассматривают в качестве биохимических маркеров стрессового состояния растений [6].

Цель работы – оценка влияния экзометаболитов ксилотрофных базидиальных грибов на содержание полифенолов в растениях пшеницы.

Объектами исследования служили растения пшеницы (генотип Е-27), полученные из асептически индуцированных незрелых зародышей на питательной среде. Проростки пшеницы в возрасте 4–5 недель высаживали в вегетационные сосуды, наполненные торфогрунтом (ООО НПФ «Агростим»). После высадки растений в почву и на 25 сутки их роста осуществляли прикорневое внесение культуральной жидкости (КЖ) ксилотрофных базидиальных грибов из коллекции лаборатории биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений ФАНЦ Северо-Востока: *Phellinus igniarius*, *Ganoderma multipileum*, *Ganoderma applanatum*, *Fomes fomentarius* и *Lentinula edodes*. Для культивирования грибов использовали пивное сусло, разведенное до 4° Баллинга. Процесс культивирования осуществляли на лабораторном шейкере (200 об/мин) 10 суток. Варианты опыта включали обработку нативной (вариант 1) и разбавленной дистиллированной водой КЖ в 10 раз (вариант 2), 100 раз (вариант 3); без обработки КЖ – контроль (вариант 4). Повторность опыта – 10 растений на вариант.

Выращивание растений осуществляли в климатической камере. Освещенность растений поддерживали на уровне 2000–3000 Лк с фотопериодом 18/6 ч. Для уменьшения испарения, растения накрывали пленкой.

По истечению 40 суток, растения извлекали из почвы. После отмывки корней от почвы, делили растения на структурные части (корни, стебли с листьями).

После высушивания и измельчения, составляли объединенную пробу растительного сырья, проводили экстрагирование полифенолов. Полифенолы (общее содержание) экстрагировали раствором 2Н NaOH при температуре 80 °С в течение 2-х часов. Полученные щелочные экстракты нейтрализовали 3М HCl. Экстрагирование свободных полифенолов проводили 70%-ым этанолом при температуре 5 °С в течение 16 часов. Определение содержания полифенолов осуществляли спектрофотометрически. В качестве стандарта использовали галловую кислоту.

Аналитическое определение полифенолов для каждой из проб осуществляли в трехкратной повторности. За результат принимали среднее значение ± стандартное отклонение. Достоверность различий при уровне значимости 0,05 между массивами данных отмечали на графиках латинскими буквами.

В результате исследования установлено, что в условиях корневой обработки пшеницы КЖ ксилотрофных базидиальных грибов общее содержание полифенолов в надземной биомассе пшеницы изменяется в пределах 16,8–25,4 мг/г; в корнях – 19,0–29,1 мг/г (табл.).

Общее содержание полифенолов в растениях пшеницы, мг/г

Обработка	Вариант опыта			Контроль
	культуральная жидкость			
	нативная	разведение 1:10	разведение 1:100	
Надземная биомасса				
<i>Phellinus igniarius</i>	20,0±1,6	25,4±2,0*	19,3±1,5	20,5±1,6
<i>Ganoderma multipileum</i>	21,5±1,7	22,0±1,8	22,2±1,8	
<i>Ganoderma applanatum</i>	22,7±1,8	21,5±1,7	21,0±1,7	
<i>Fomes fomentarius</i>	21,6±1,7	22,8±1,8	16,8±1,4*	
<i>Lentinula edodes</i>	20,4±1,6	22,0±1,8	20,7±1,7	
Корни				
<i>Phellinus igniarius</i>	25,8±2,1	27,3±2,2	27,2±2,2	24,8±1,9
<i>Ganoderma multipileum</i>	27,3±2,2	22,0±1,8	19,0±1,5*	
<i>Ganoderma applanatum</i>	28,0±2,2	23,7±1,9	25,2±2,0	
<i>Fomes fomentarius</i>	22,6±1,8	29,1±2,3*	26,4±2,1	24,8±1,9
<i>Lentinula edodes</i>	25,3±2,0	24,8±1,9	24,9±1,9	

Примечание: * – достоверно отличается от контроля ($p < 0,05$).

Значимые отличия от контроля, заключающиеся, как в увеличении, так и уменьшении общего содержания полифенолов в надземной биомассе пшеницы, отмечены в вариантах опыта с обработкой растений КЖ *Ph. igniarius* (1:10) и *F. fomentarius* (1:100) соответственно.

Достоверные отличия от контроля в общем содержании полифенолов в корнях были установлены в варианте опыта с обработкой пшеницы КЖ *F. fomentarius* (1:10) и *G. multipileum* (1:100). В первом случае отмечали увеличение, во втором – уменьшение содержания полифенолов в корнях пшеницы по сравнению с контролем.

В общей структуре полифенолов доля сводных полифенолов в надземной биомассе (23,7–43,1%) и корнях (5,1–8,2%) отличалась значительно, и не всегда зависела от обработки КЖ грибов (рис. а, б).

Более высокое содержание свободных полифенолов по сравнению с контролем, в случае надземной биомассы, отмечали в вариантах опыта с КЖ *G. multipileum* (1:10 и 1:100). В этом же варианте опыта в корнях пшеницы фиксировали снижение доли свободных полифенолов: контроль – 6,4%; КЖ 1:100 и 1:10 – 5,8%; нативная КЖ – 5,4%. Обратную зависимость наблюдали в вариантах опыта с КЖ *Ph. igniarius* и *G. applanatum*: увеличение доли свободных полифенолов в корнях пшеницы при обработке КЖ без разбавления и разбавленной 1:10 КЖ соответственно. В надземной биомассе в этих же вариантах опыта отмечали либо незначительное снижение, либо отсутствие достоверных изменений в содержании свободных полифенолов.

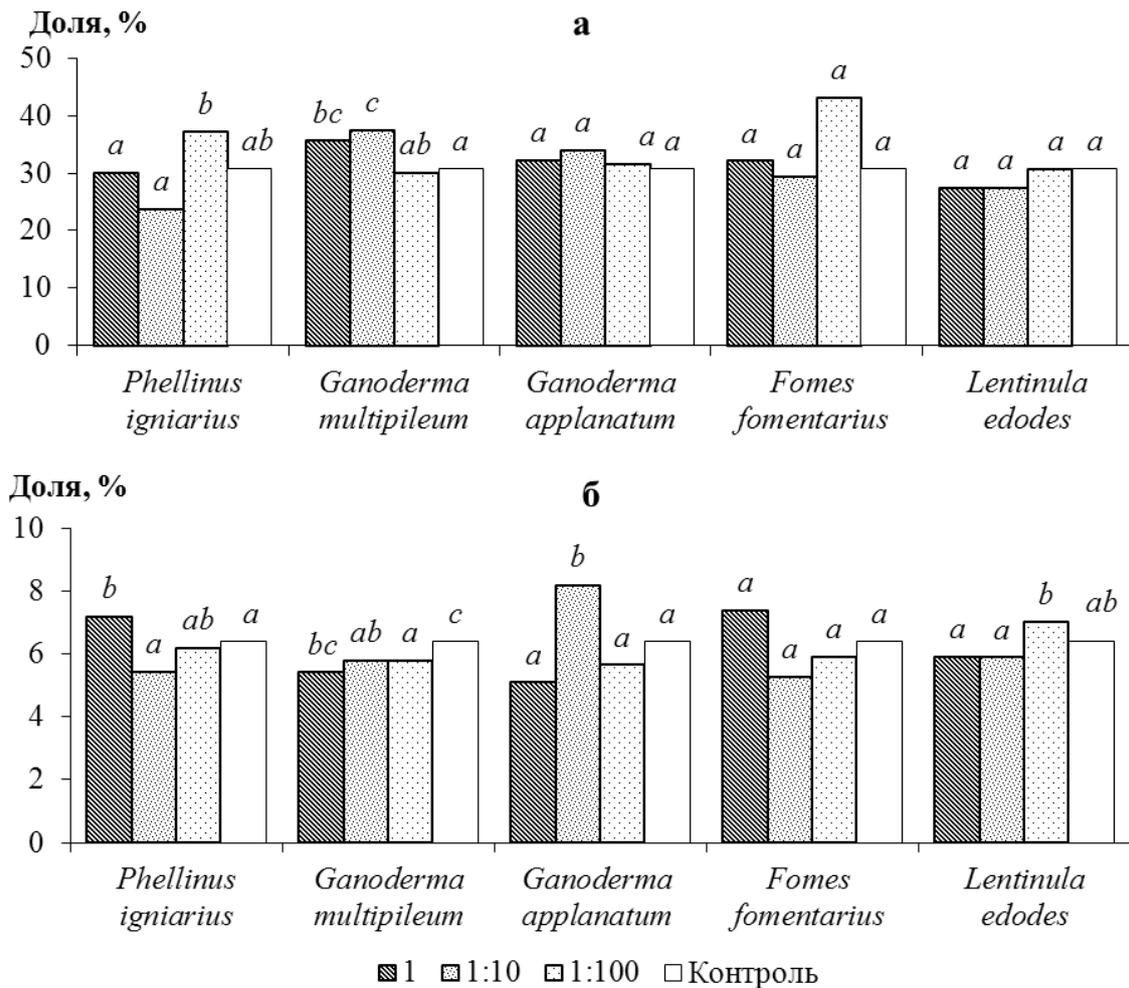


Рис. Доля свободных полифенолов от их суммарного содержания в надземной массе (а) и корнях (б) пшеницы

Таким образом, обработка КЖ *G. multipileum* и *F. fomentarius* вызывало разнонаправленное изменение содержания полифенолов в различных структурных частях растений пшеницы. При этом некоторые виды (*L. edodes*) не оказывали влияния на накопление полифенолов в растениях. Если считать, что уровень полифенолов значительно увеличивается в стрессовых условиях, то можно заключить, что *Ph. igniarius* способен снижать окислительный стресс в тканях пшеницы в переходный период *in vitro* / *ex vitro*.

Библиографический список

1. A review of plants strategies to resist biotic and abiotic environmental stressors / M. Nawaz, J. Sun, S. Shabbir et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165832 // Sci. Total Environ. 2023. Vol. 900. Article No. 165832.
2. Loskutov I. G., Khlestkina E. K. Wheat, Barley, and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain. DOI: 10.3390/plants100100863 // Plants. 2021. Vol. 10. No. 1. Article No. 86.
3. Niedz R. P., Evens T. J. Regulating plant tissue growth by mineral nutrition. DOI: 10.1007/s11627-007-9062-5 // In Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant. 2007. Vol. 43. P. 370–381.

4. Ma Y., Freitas H., Dias M. C. Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. DOI: 10.3389/fpls.2022.1024243 // Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13. Article No. 102243.

5. Polyphenols in plants: structure, biosynthesis, abiotic stress regulation, and practical applications (review) / N. V. Zagoskina, M. Y. Zubova, T. L. Nechaeva et al. DOI: 10.3390/ijms241813874 // Int. J. Mol. Sci. 2023. Vol. 24. No. 18. Article No. 13874.

6. Role and regulation of plants phenolics in abiotic stress tolerance: an overview / M. I. Naikoo, M. I. Dar, F. Raghieb et al. DOI: 10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5 // Plant Signaling Molecules. 2019. Ch. 9. P. 157–168.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ И ПОЛИФЕНОЛОВ В ЭКСТРАКТАХ ПЕРГИ

Д. К. Макаров, Е. С. Соловьёва

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

В статье описан опыт изучения водной и водно-спиртовой экстракции полифенольных соединений и антиоксидантов в 5,0% суспензиях из перги в течение 60 минут при температуре 50 °С под воздействием и без воздействия ультразвука. Проведено сравнение водной и водно-спиртовой экстракции, исходя из содержания полифенольных соединений и антиоксидантов.

Ключевые слова: перга, антиоксиданты, флавоноиды, экстракция, ультразвук.

Пчелиная перга является ценным продуктом пчеловодства, который обладает рядом полезных свойств. Перга образуется благодаря пчёлам-трутням, которые собирают пыльцу из цветков и смешивают её с нектаром или слюной, образуя горошины. Пчелы спрессовывают получившиеся горошины в восковые ячейки максимально плотно, чтобы избежать щелей между слоями. Готовые отсеки с пыльцой пчелы доверху заливают медом и закупоривают воском. Под действием молочной кислоты в сотах пыльца консервируется и дегидрируется. Перга содержит большое количество антиоксидантов: флавоноиды, каротиноиды, кверцетин, кемпферол и глутатион. Они помогают нейтрализовать свободные радикалы, уменьшить воспаление, бороться с инфекциями и остановить рост опухолей [1].

Флавоноиды – это крупнейший класс растительных полифенолов. В составе флавоноидов находятся 15 углеродных атомов, образующих два ароматических кольца, соединенных с помощью трехуглеродного мостика. Они являются вторичными метаболитами, что означает, что они представляют собой органические соединения, которые не имеют прямого отношения к росту или развитию растений. Флавоноиды участвуют в обеспечении природного иммунитета и резистентности растений к различным патогенным факторам бактериального, грибкового и вирусного происхождения, а также защиты

от травоядных и насекомых [2]. Потенциальная польза флавоноидов для человека велика. Исследования показывают, что флавоноиды могут быть полезны с точки зрения питания, стимулируют выработку ферментов, которые снижают риск некоторых видов рака, сердечных заболеваний, возрастных дегенеративных заболеваний, предотвращают разрушение зубов и уменьшают частоту распространенных заболеваний, таких как грипп [3].

Антиоксиданты – это химические соединения, которые помогают защитить клетки организма от свободных радикалов, вступая во взаимодействие с различными реактогенными окислителями, активными формами кислорода, другими свободными радикалами, и приводить их к частичной или полной инактивации [4].

Целью работы является исследование содержания антиоксидантов и флавоноидов в водных и водно-спиртовых экстрактах перги при воздействии ультразвука и без воздействия ультразвука, провести сравнение качества экстракции.

Использовали пергу, собранную на частной пасеке в селе Юрьево (Котельничский район Кировской области) летом 2022 г. Предварительно пергу замораживали при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 40 мин, измельчали в фарфоровой ступке.

Биологически активные вещества экстрагировали в водный и водно-спиртовой (с 40% содержанием этилового спирта) раствор в течение 60 мин при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Фильтраты проб отбирали через 15, 30, 45 и 60 минут после начала экстрагирования. Использовали 5,0% суспензию перги. Исследования вели в двух сериях: с ультразвуковой обработкой суспензий (35 кГц) и без обработки.

Наибольший показатель концентрации полифенолов наблюдается при экстрагировании 40%-ным этиловым спиртом при длительности экстракции 60 мин. Применение этанола в процессе экстракции увеличивает количество извлеченных полифенолов на 38% по сравнению с водной экстракцией. Следовательно, этиловый спирт оказывает благоприятное воздействие на экстракцию полифенолов. Также стоит отметить, что ультразвуковая обработка положительно влияет на количество экстрагируемых полифенолов (табл. 1).

Наибольший показатель концентрации антиоксидантов наблюдается при экстрагировании с применением 40%-ного этилового спирта в качестве экстрагента при длительности экстракции 60 мин. Анализируя наибольшие показатели, можно сделать вывод, что водно-спиртовая экстракция способствует большему извлечению антиоксидантов. Также стоит отметить, что ультразвуковая обработка положительно влияет на количество экстрагируемых антиоксидантов (табл. 2).

Таблица 1

**Концентрация полифенолов в экстрактах перги
(мг/50 г суспензии перги)**

Продолжительность экстракции, мин	Состав экстрагента	
	вода	этиловый спирт (40% раствор)
Ультразвуковая экстракция + термостатирование		
15	8,8±0,6	8,1±0,8
30	9,9±1,1	9,5±0,5
45	12,3±1,0	12,8±2,0
60	12,8±1,3	17,7±2,6
Термостатирование		
15	4,8±0,3	3,5±1,0
30	7,3±1,3	7,3±0,9
45	11,4±1,0	10,2±1,1
60	11,7±1,4	16,0±3,6

Примечание: жирным шрифтом показаны максимальные показатели.

Таблица 2

**Концентрация антиоксидантов в экстрактах перги
(мг/50 г суспензии перги)**

Продолжительность экстракции, мин	Состав экстрагента	
	Вода	Этиловый спирт (40% раствор)
Ультразвуковая экстракция + термостатирование		
15	4,8±1,4	6,3±1,9
30	5,0±0,6	10,4±2,2
45	6,0±1,1	12,7±0,7
60	6,9±1,5	20,7±2,5
Термостатирование		
15	–	–
30	3,4±1,1	4,3±0,8
45	3,8±0,5	6,5±0,9
60	4,4±0,9	10,0±1,7

Примечание: жирным шрифтом показаны максимальные показатели. Прочерк означает ниже предела обнаружения.

Опираясь на полученные данные по антиоксидантной активности водных и водно-спиртовых экстрактов перги, можно сделать вывод, что наличие этилового спирта в экстрагирующем растворе обеспечивает более эффективное извлечение антиоксидантов и полифенолов.

Библиографический список

1. Астраускене А. Э., Кадзюскене К. В. Что мы знаем о перге // Пчеловодство. 1990. № 7. С. 30–32.
2. Куркин В. А., Куркина А. В., Авдеева Е. В. Флавоноиды как биологически активные соединения лекарственных растений // Фундаментальные исследования. 2013. № 11–9. С. 1897–1901.

3. Kumar S., Pandey A. K. Antioxidant, lipo-protective and antibacterial activities of phytoconstituents present in *Solanum Xanthocarpum* root // Int. Rev. Biophys. Chem. 2012. Vol. 3. No. 3. P. 42–47.

ИЗУЧЕНИЕ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ В ЛЕКАРСТВЕННОМ СЫРЬЕ

Д. А. Пономарева¹, М. Л. Сазанова^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
pondarya1234@gmail.com,*

² *Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия,
sazanova.m.l@ib.komisc.ru*

Методом перманганатометрии определено суммарное содержание антиоксидантов (в пересчете на кверцетин) в лекарственных растениях, собранных в районах Кировской области с разной категорией экологической опасности.

Ключевые слова: лекарственные растения, антиоксиданты, экологическое районирование.

Использование методов фитотерапии для сохранения и укрепления здоровья человека становится все более популярным, поскольку они представляют естественные подходы к здоровью и благополучию [1–3]. В настоящее время проводятся активные исследования химического состава лекарственных растений как дикорастущих [1–9], так и искусственно выращиваемых (например, в условиях ботанического сада или в водной культуре) [10–13]. Общеизвестно, что целебные свойства лекарственных растений обусловлены содержанием биологически активных веществ (БАВ), в том числе обладающих антиокислительным действием.

Необходимый аэробам кислород в организме может превращаться в частично восстановленные (супероксидный радикал, пероксид водорода, гидропероксидный радикал, гидроксильный радикал и т. п.), либо возбужденные (синглетный кислород) активные формы (АФК) [14, 15]. В клетках растений АФК в низких концентрациях являются вторичными посредниками в клеточных сигнальных каскадах и контролируют такие реакции, как гравитропизм, прорастание семян и биосинтез лигнина. Под действием различных стрессовых факторов (засоление, засуха, гипотермия, гипертермия, тяжелые металлы, озон, гипоксия, атака патогена, ранение и т. д.) АФК образуются в высоких концентрациях и могут легко окислять редокс-чувствительные молекулы (ДНК, белки, липиды и др.). В частности, при окислительном стрессе активизируется перекисное окисление липидов, цепные реакции которого приводят к разрушению фосфолипидов клеточных мембран. При этом разрушаются мембраны, в т. ч. отдельных органоидов клетки, а образующиеся альдегиды

(малоновый диальдегид, акролеин, 4-гидроксинонен-2-аль) могут служить маркерами окислительного стресса у растений [14, 15].

С целью предотвратить повреждения молекул и клеток при окислительном стрессе у растений развился эффективный антиоксидантный механизм для удаления или переработки АФК. Система антиоксидантной защиты включает низкомолекулярные антиоксиданты (аскорбиновая кислота, восстановленный глутатион, пролин, глицин-бетаин, фенольные соединения, флавоноиды, токоферолы, каротиноиды), которые снижают скорость генерации свободных радикалов, либо уменьшают концентрации продуктов реакций, протекающих с участием радикалов. Также в антиоксидантную систему входит ряд ферментов (дегидроаскорбатредуктаза, монодегидроаскорбатредуктаза, глутатионпероксидаза, глутатионредуктаза, супероксиддисмутаза, глутатион-S-трансфераза, аскорбатпероксидаза, каталазы), которые катализируют металлы переменной валентности и участвуют в разложении гидропероксидов нерадикальным путем [15, 16].

Содержание антиоксидантов в растениях зависит как от вида, так и от условий окружающей среды [17, 18]. По данным [14], АФК-генерирующие и антиоксидантные системы очень динамичны и чувствительны к изменениям окружающей среды, в том числе техногенным. Так, например, в условиях техногенной нагрузки увеличивается поступление тяжелых металлов в окружающую среду. Следствием избыточного накопления тяжелых металлов в тканях растений является: уменьшение длины корней, биомассы растений, ухудшение прорастания семян, нарушение биосинтеза хлорофилла и др. [19]. Кроме того, по данным [19], медь, железо, свинец, кадмий, хром, мышьяк, ртуть и цинк способны запускать процесс образования АФК. Причем, редокс-металлы (железо, медь, хром и т. п.) индуцируют образование радикалов, тогда как металлы, не обладающие окислительно-восстановительной активностью (кадмий, ртуть, цинк и др.), действуют опосредованно, подавляя антиоксидантную систему (например, за счет истощения запасов глутатиона и связывания сульфгидрильных групп антиоксидантных ферментов) [15, 16, 19].

Целью нашего исследования была оценка суммарного содержания антиоксидантов в лекарственных растениях, собранных в районах Кировской области с разной категорией экологической опасности.

Сбор лекарственного сырья для исследования проводили в соответствии с [20] в мае – сентябре 2023 г. в трех районах Кировской области с различной категорией экологической опасности (табл., категория экологической опасности района произрастания определена по [21]). В качестве объектов исследования были использованы: хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), листья березы повислой (*Betula pendula* Roth.), цветки и листья пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.), цветки и листья лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), цветки тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), цветки зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.). Для анализа использовали смешанную пробу листьев или цветков одного вида. После высушивания готовили водно-спиртовые извле-

чения по стандартной методике. Для определения суммарной антиокислительной активности (ССА) использован метод перманганатного титрования [22] – достоверный, не трудоемкий, не требующий сложного лабораторного оборудования и позволяющий анализировать разные образцы в широком диапазоне антиокислительной активности [23]; стандарт – спиртовой раствор кверцетина. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета программ MS Excel. Достоверность различий ($p < 0,05$) оценивали с помощью t-критерия Стьюдента.

Полученные результаты представлены в таблице. Установлено, что ССА в водно-спиртовых экстрактах изученных растений находится в пределах 9,00–45,58 мг/г (в пересчете на кверцетин), что согласуется с данными других авторов [5–13].

Самые низкие уровни ССА обнаружены в водно-этанольных экстрактах из хвои сосны обыкновенной. Однако полученные результаты согласуются с данными [8] о сравнительно невысокой антиоксидантной активности гидроэтанольных экстрактов хвои данного вида, в отличие от эфирного масла этого растения.

Таблица

**Содержание антиоксидантов (мг/г, в пересчете на кверцетин)
в экстрактах из растений, собранных в районах Кировской области
с разной категорией экологической опасности**

Лекарственные растения	Котельничский р-н, с. Чистополье; наименее опасные (1)	Нолинский р-н, д. Пуга; опасные (2)	ГО г. Киров, сл. Захарищево; особо опасные (3)
Сосна обыкновенная, хвоя	11,65±0,5	9,00±0,45 ¹	10,46±0,5
Береза повислая, листья	30,45±1,5	18,05±0,9 ¹	23,80±1,1 ^{1,2}
Пижма обыкновенная, листья	35,29±1,7	24,64±1,2 ¹	20,00±1,0 ^{1,2}
Пижма обыкновенная, цветки	17,42±0,8	19,29±0,9	19,57±0,9
Лабазник вязолистный, листья	41,38±2,1	21,36±1,1 ¹	39,15±1,9 ²
Лабазник вязолистный, цветки	39,13±1,9	19,46±1,1 ¹	45,58±2,3 ²
Тысячелистник обыкновенный, цветки	15,24±0,7	16,51±0,8	25,53±1,3 ^{1,2}
Пижма обыкновенная, цветки	23,68±1,2	24,49±1,2	26,47±1,3

Примечание: 1, 2 – достоверность различий с соответствующими группами ($p < 0,05$).

Наибольшие значения ССА отмечены для экстрактов из листьев и цветков лабазника вязолистного, что согласуется с литературными данными [5–7]. Самые высокие концентрации фенольных компонентов были обнаружены [6] в верхних листьях, цветках и плодах этого растения. Отличия в ССА могут быть связаны с климатическими условиями произрастания, составом почвы, а

также разными методами экстракции. По мнению [5], высокое содержание веществ с антиоксидантной активностью (флавонолов, катехинов, танинов), делает лабазник вязолистный перспективным сырьем для создания новых лечебно-профилактических препаратов.

Также было установлено более высокое ССА в экстрактах из листьев пижмы, в отличие от экстрактов из цветков этого растения (достоверно для растений, собранных в районах с категорией «наименее опасные» и «опасные»; табл.), что хорошо согласуется с данными литературы [10]. По результатам [11], антиоксидантный потенциал водно-этанольного экстракта пижмы может быть связан с высоким содержанием кофейной (3,4-диоксикоричной), розмариновой (сложный эфир кофейной и 3,4-дигидроксибензилмолочной кислот) и феруловой (3-метокси-4-гидроксикоричной) кислот.

Установлено, что в условиях техногенного стресса ССА в листьях ниже, чем в наименее опасных районах (достоверно, в отношении березы и пижмы; табл.). Г. Н. Чупахина и соавт. [24] объясняют это деструкцией фотосинтетических пигментов, торможением накопления ассимилятов и снижением уровня водорастворимых антиоксидантов. Расхождения с данными И. Л. Бухариной [25] о более высоком уровне аскорбиновой кислоты и танинов в листьях березы в условиях техногенной нагрузки могут быть связаны с различиями методики определения, а также регионом произрастания.

С другой стороны, относительно высокое ССА в цветках (достоверно, в отношении тысячелистника и лабазника; табл.), можно объяснить комплексом взаимодействующих факторов. Как подчеркивает большинство авторов, интенсивность окислительного стресса зависит от вида и варьирует в зависимости от разных генотипов, тканей и/или стадий развития. В целом, у восприимчивых растений наблюдаются выраженные симптомы окислительного стресса, тогда как у устойчивых – незначительные окислительные повреждения отсутствуют [15, 17, 19].

Исследование подтвердило, что содержание БАВ с антиоксидантной активностью в лекарственных растениях зависит как от экологической ситуации в районе произрастания, так и от индивидуального, генетически детерминированного антиокислительного потенциала растения [10, 18].

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 № 122040100032-5.

Библиографический список

1. Liu C.-X. Overview on development of ASEAN traditional and herbal medicines. DOI: 10.1016/J.CHMED.2021.09.002 // Chinese Herbal Medicines. 2021. Vol. 13. No. 4. P. 441–450.
2. In vitro antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer activities of mixture Thai medicinal plants / S. Jongrungraungchok, F. Madaka, T. Wunnakup et al. DOI: 10.1186/s12906-023-03862-8 // BMC Complement Med. Ther. 2023. Vol. 23. No. 1. Art. No. 43.

3. Цырендоржиева С. В., Жамсаранова С. Д. Сравнительная оценка антиоксидантной активности экстрактов листьев *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch разных сроков вегетации. DOI: 10.14258/jcprm.2020024349 // Химия растительного сырья. 2020. № 2. С. 231–239.
4. Определение некоторых биологически активных веществ в листьях облепихи крушиновидной титриметрическими методами / Н. А. Ковалева, О. В. Тринеева, И. В. Чувикина и др. // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2023. № 2. С. 97–102.
5. Высочина Г. И., Кукушкина Т. А., Васфилова Е. С. Фитохимическая характеристика лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), произрастающего на Среднем Урале // Лекарственные растения: фундаментальные и прикладные проблемы : материалы I междунар. науч. конф. (21–22 мая 2013 г., г. Новосибирск). Новосибирск : Изд-во НГАУ, 2013. С. 142–145.
6. Variation in phenolic compounds, antioxidant and antibacterial activities of extracts from different plant organs of meadowsweet (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.) / T. Savina, V. Lisun, P. Feduraev, L. Skrypnik. DOI: 10.3390/molecules28083512 // Molecules. 2023. Vol. 28. No. 8. Article No. 3512.
7. Анализ содержания антиоксидантов в надземной части *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. степной зоны Оренбургской области / О. Н. Немерешина, Н. Ф. Гусев, Т. Н. Суровяткина, А. В. Филиппова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (86). С. 70–76.
8. Antioxidant potential of pine needles: a systematic study on the essential oils and extracts of 46 species of the genus *Pinus* / A. Koutsaviti, S. Toutoungy, R. Salibaet et al. DOI: 10.3390/foods10010142 // Foods. 2021. Vol. 10. No. 1. Article No. 142.
9. An integrative approach to selected species of *Tanacetum* L. (Asteraceae): Insights into morphology and phytochemistry / C. Giuliani, M. Bottoni, F. Milani et al. DOI: 10.3390/plants13020155 // Plants. 2024. Vol. 13. No. 2. Article No. 155.
10. Chemical profiling and antioxidant activity of *Tanacetum vulgare* L. wild-growing in Latvia / R. Šukele, L. Lauberte, L. Kovalcuka et al. DOI: 10.3390/plants12101968 // Plants (Basel). 2023. Vol. 12. No. 10. Article No. 1968.
11. Antibacterial and antioxidant activity of essential oils and extracts from costmary (*Tanacetum balsamita* L.) and tansy (*Tanacetum vulgare* L.) / K. B. Bączek, O. Kosakowska, J. L. Przybył et al. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.03.009 // Industrial Crops and Products. 2017. Vol. 102. P. 154–163.
12. Масленников П. В., Чупахина Г. Н., Скрыпник Л. Н. Содержание фенольных соединений в лекарственных растениях ботанического сада. DOI: 10.7868/s000233291305010x // Известия РАН. Серия биологическая. 2013. № 5. С. 551–557.
13. Phytochemical profiling, antioxidant and tyrosinase regulatory activities of extracts from herb, leaf and in vitro culture of *Achillea millefolium* (Yarrow) / K. Czech, K. Gawęł-Bęben, A. Szopa et al. DOI: 10.3390/molecules28124791 // Molecules. 2023. Vol. 28. No. 12. Article No. 4791.
14. Kerchev P. I., Van Breusegem F. Improving oxidative stress resilience in plants. DOI: 10.1111/tpj.15493 // Plant J. 2022. Vol. 109. No. 2. P. 359–372.
15. Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: a review of recent experimental evidence / M. Hasanuzzaman, M. H. M. B. Bhuyan, K. Parvin et al. DOI: 10.3390/ijms21228695 // Int. J. Mol. Sci. 2020. Vol. 21. No. 22. Article No. 8695.
16. The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant / X. Xie, Z. He, N. Chen et al. DOI: 10.1155/2019/9732325 // Biomed ResInt. 2019. Vol. 2019. Article No. 9732325.
17. Баяндина И. И., Загурская Ю. В. Экологические условия и накопление фенольных соединений в лекарственных растениях // Лекарственные растения: фундаментальные

и прикладные проблемы : материалы I междунар. науч. конф. (21–22 мая 2013 г., г. Новосибирск). Новосибирск : Изд-во НГАУ, 2013. С. 130–136.

18. Оценка антиоксидантного потенциала растений урбоэкосистем в условиях антропогенного загрязнения почв / П. В. Масленников, Г. Н. Чупахина, Л. Н. Скрыпник и др. // Экология. 2018. № 5. С. 342–354.

19. Heavy-metal-induced reactive oxygenspecies: Phytotoxicity and physicochemical changes in plants / M. Shahid, B. Pourrut, C. Dumat et al. DOI: 10.1007/978-3-319-06746-9_1 // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology / Ed. D. Whitacre. Vol. 232. Cham : Springer, 2014. P. 1–44.

20. Правила сбора и сушки лекарственных растений (сб. инструкций). М. : Медицина, 1985. 328 с.

21. Мусихина Т. А. Районирование экологической опасности и управление экологической безопасностью регионов России // Известия СамНЦ РАН. 2013. Т. 15. № 3. С. 1884–1887.

22. Способ определения антиокислительной активности: пат. 2170930 С1 Рос. Федерация № 2000111126/14 / Т. В. Максимова и др.; заявл. 05.05.2000; опубл. 20.07.2001. 6 с.

23. Тринеева О. В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. № 4 (21). С. 180–197.

24. Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта / Г. Н. Чупахина, П. В. Масленников, Л. Н. Скрыпник, М. И. Бессережнова // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 2 (18). С. 171–185.

25. Бухарина И. Л. Характеристика элементов антиоксидантной системы адаптации древесных растений в условиях городской среды // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2008. № 2. С. 5–13.

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИФЕНОЛОВ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. С. Пакичев, Т. А. Адамович

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
alexsandrpakichev2001@gmail.com*

В данной статье изложены результаты исследования содержания тяжелых металлов в почве и содержания полифенольных соединений в лекарственных растениях, произрастающих на территории Кировской области. В результате работы выявлено превышение ПДК марганца в 1,1–1,3 раза в почвах на территории п. Захарищевы.

Ключевые слова: содержание тяжёлых металлов, почва, атомно-абсорбционная спектрофотометрия, лекарственные растения.

В настоящее время одной из актуальных задач для учёных является оценка состояния окружающей среды. Загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) представляет серьезную угрозу для здоровья человека, негативно влияет

на рост и развитие растений и снижает плодородие почвы. В ходе исследования определили содержание железа, марганца и свинца в пробах почвы. ТМ способны оказывать токсическое влияние на живые организмы в случае их избытка, а такие как свинец, кадмий, хром, никель и другие, обладают высокой токсичностью и негативно влияют на здоровье людей и состояние экосистем. В то же время некоторые элементы в небольших концентрациях являются жизненно необходимыми (Zn, Cu, Mn, Fe и Co) [1].

В современной фармакологии и нутрициологии актуальной задачей является изучение содержания биологически активных веществ, в частности полифенольных соединений (ПФ), в различных лекарственных растениях, разработка методов их экстракции и использования в медицине и косметологии. ПФ проявляют антиоксидантные свойства, обладают широким спектром полезных свойств, включая противовоспалительные, противораковые и антиатеросклеротические. Они могут снижать риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, улучшать обмен веществ и снижать уровень холестерина в крови [2]. Однако концентрация ПФ может варьировать в зависимости от вида растения и условий его произрастания, поэтому важно проводить мониторинг содержания ПФ в лекарственных растениях, собранных в районах с различным уровнем загрязнения окружающей среды, для обеспечения безопасности и эффективности фитотерапии.

Целью статьи стало изучение загрязнения почвы ТМ и количественное содержание ПФ в лекарственных растениях, произрастающих на территории Кировской области.

Для проведения исследования отобраны пробы лекарственных растений и почвы в Кировской области (г. Нолинск, с. Чистополье и п. Захарищевы). В Нолинске отобрано три пробы почвы (луг, огород, поле). В Чистополье – первая проба с луга, где произрастает большинство исследованных лекарственных растений (луг 1), вторая проба с луга, где произрастал лабазник (луг 2). В Захарищеве отобраны пробы с луга и леса. В каждом населенном пункте собраны органы лекарственных растений: листья березы, листья пижмы, листья дуба, листья лабазника, цветки тысячелистника и зверобоя. Исследования проводили в лабораториях Института химии и экологии Вятского государственного университета.

Количественное содержание подвижных форм ТМ (Fe, Mn, Pb) в почвах определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на пламенном спектрофотометре Спектр-5-4. Метод основан на приготовлении вытяжек почв с ацетатно-аммонийным буферным раствором (рН = 4,8) [3]. Для почвы предельно допустимые концентрации (ПДК) приведены в СанПиН 1.2.3685-21. Также определяли кислотность в солевых вытяжках почв потенциометрическим методом [4].

Количественное содержание ПФ определяли с помощью спектрофотометрического метода. Метод основан на реакции окисления ПФ водно-спиртового экстракта лекарственных растений реактивом Фолина-Чокальтеу. Измерение оптической плотности проводили при длине волны равной 765 нм,

в качестве стандарта использовали галловую кислоту. Экстрагирование ПФ из лекарственных растений проводили добавлением 70% этилового спирта к навеске растений и помещали на 2 часа в водяную баню при температуре 79 °С, после охлаждали и фильтровали [5].

Полученные в результате исследования данные по содержанию ПФ в лекарственных растениях представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание полифенольных соединений в лекарственных растениях

Лекарственное растение	Содержание полифенолов, мг/г		
	г. Нолинск	п. Захарищевы	с. Чистополье
Берёза, листья	25±6	6,9±1,7	35±9
Пижма, листья	29±7	43±11	64±16
Лабазник, листья	21±5	82±21	76±19
Дуб, листья	16±4	38±10	17±4
Тысячелистник, цветки	16±4	30±7	24±6
Зверобой, цветки	54±13	46±11	54±14

Примечание: жирным шрифтом выделены наибольшие значения.

Наибольшее содержание ПФ обнаружено в листьях березы (35±9 мг/г) и пижмы (64±16 мг/г), а также в цветках зверобоя (54±14 мг/г) зафиксировано в с. Чистополье. В п. Захарищевы установлено наибольшее содержание ПФ в листьях лабазника (82±21 мг/г), дуба (38±10 мг/г) и в цветках тысячелистника (30±7 мг/г). В г. Нолинске лидирующее положение по содержанию ПФ выявлено только в цветках зверобоя (54±13 мг/г).

Результаты работы по определению подвижных форм ТМ в почве представлены в таблице 2.

Кислотность почв в с. Чистополье и п. Захарищево характеризуется кислой реакцией среды, а в г. Нолинске – нейтральной. В результате изучения содержания ТМ можно отметить, что преобладающим металлом в составе исследуемых образцов почв является марганец на лугу (90±27 мг/г при рН 5,1) и в лесу (80±24 мг/г при рН 4,7) в п. Захарищевы. Концентрация марганца в этих точках превышает показатель ПДК в 1,1 и 1,3 раза соответственно. Содержание свинца во всех пробах не превышает ПДК, наибольшее содержание зафиксировано в г. Нолинске на лугу (1,03±0,37 мг/кг). Максимальное содержание железа выявлено в п. Захарищевы на лугу (66±29 мг/г).

Таблица 2

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в пробах почвы, мг/кг

Место отбора		pH _{KCl}	Fe	Mn	Pb
г. Нолинск	Луг	7,2±0,1	17±8	55±17	1,03±0,37
	Огород	6,8±0,1	4,6±2,0	20±6	0,32±0,12
	Поле	6,6±0,1	12±5	19±6	0,57±0,21
с. Чистополье	Луг 1	5,6±0,1	17±7	17±5	0,14±0,05
	Луг 2	5,8±0,1	33±15	28±8	0,38±0,14
п. Захарищевы	Лес	4,7±0,1	38±17	80±24	0,63±0,23
	Луг	5,1±0,1	66±29	90±27	0,55±0,19
ПДК [6]			–	60,0 (для pH 4,0) 80,0 (для pH 5,1–6,0) 100,0 (для pH ≥ 6,0)	6,0

Примечание: прочерк обозначает, что данные отсутствуют; жирным шрифтом выделены наибольшие значения.

Таким образом, наиболее загрязненными ТМ являются пробы из п. Захарищевы с превышением ПДК марганца в 1,1–1,3 раза, при этом максимальное содержание ПФ выявлено также в п. Захарищевы, что может быть связано с окислительным стрессом, который могут вызывать ТМ и, следовательно, концентрация ПФ увеличивается для борьбы с ним.

Библиографический список

1. Симонова О. А., Товстик Е. В. Динамика содержания подвижных соединений железа в почве стационарного опыта // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (174). С. 54–57.
2. Николаева Т. Н., Лапшин П. В., Загоскина Н. В. Метод определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных экстрактах с реактивом Фолина-Дениса и реактивом Фолина-Чокальтеу: модификация и сравнение // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 291–299.
3. ФР 1.31.2012.11875. Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовых долей металлов в осадках сточных вод, донных отложениях, образцах растительного происхождения спектральными методами. 2011. 45 с.
4. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. 1985. 6 с.
5. ГОСТ Р 55488-2013. Метод определения полифенолов. 2013. 9 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПЛОДАХ И ЛИСТЬЯХ БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

М. Д. Головьев, Я. И. Зяблицева, Т. А. Адамович
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
mikl-999@yandex.ru

В данной статье представлены результаты количественного определения биологически значимых макро- и микроэлементов методами атомно-абсорбционной спектрометрии и комплексонометрического титрования в плодах и листьях брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.), произрастающей на территории Кировской области.

Ключевые слова: атомно-абсорбционная спектрометрия, брусника обыкновенная, макро- и микроэлементы, комплексонометрия.

В современном мире в течение последних лет существует острая проблема несбалансированного питания, нехватки в рационе белков, пищевых волокон, макро- и микроэлементов, витаминов. Недостаток питательных веществ становится причиной развития различных нарушений здоровья, соответственно, причиной снижения общего качества жизни населения [1].

С каждым годом увеличивается смертность от хронических заболеваний, связанных с алиментарным фактором. Алиментарные заболевания могут быть вызваны недостаточным потреблением биологически значимых веществ: белка, витаминов и минеральных веществ. Алиментарно-зависимые заболевания могут вызывать такие последствия как: анемия, ожирение, гипертоническая болезнь, гиповитаминоз, макро- и микроэлементозы, атеросклероз болезни сердечно-сосудистой системы, сахарный диабет, заболевания щитовидной железы, заболевания желудочно-кишечного тракта, желчнокаменную болезнь, заболевания костей, онкологии, вторичные иммунодефициты и другие виды заболеваний [2].

Микроэлементы содержатся в организме человека в крайне низких концентрациях, однако, будучи необходимыми составляющими большинства ферментов, принимают участие во всех физиологических и патологических процессах. Данные вещества участвуют в большинстве биохимических реакций в организме, в регуляции водно-солевого обмена и др. Особенно велика их роль в качестве активаторов ферментов, без которых сложно представить хотя бы один процесс в организме человека. Особенно востребованы неорганические ионы иммунной системой, так как большая часть составляющих ее компонентов не может полноценно выполнять свои функции без активной работы ферментативных систем. Таким образом, достаточный микроэлементный запас – залог полноценного функционирования иммунной системы [3, 4].

Микро- и макроэлементы имеют исключительно экзогенное происхождение, и единственным их источником является пища, поскольку сам организм не способен к их синтезу. Однако, в рационе обычного человека наблюдается недостаток данных элементов. Поэтому актуальным является поиск продуктов-источников, важных для организма людей элементов.

Основной выбор сделан в пользу растительной компоненты, так как, во-первых, именно она чаще всего входит в состав пищевых продуктов и биоактивных добавок к пище; во-вторых, содержит микроэлементы, обладающие широким терапевтическим действием. Минеральные вещества плодов растений хорошо усваиваются организмом человека [5].

В официальной и народной медицине широко применяются плоды и листья брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis idaea* L.). Они обладают противовоспалительными, отхаркивающими, диуретическими, противоопухолевыми свойствами, которые обусловлены наличием в растении комплекса биологически активных веществ и, прежде всего, витаминов (А, В1, В2, В3 и С), гормонов, макро- и микроэлементов (калий, кальций, магний и фосфор и др.). Макро- и микроэлементы, содержащиеся в исследуемых плодах в виде биодоступных комплексов, могут предотвратить дефицит биогенных элементов, который в организме человека вызывает развитие ряда тяжелых заболеваний [6, 7].

Целью настоящей работы является количественное определение содержания биологически значимых микроэлементов (железо, цинк, марганец, медь) и макроэлементов (кальций) в плодах и листьях брусники обыкновенной, произрастающей на территории Кировской области, методами атомно-абсорбционной спектрометрии и комплексонометрического титрования.

Объектами исследования служили плоды и листья брусники обыкновенной, заготовленные от дикорастущих растений в смешанном лесу Шабалинского района Кировской области.

Для элементного исследования предварительно высушенное сырье было озолено в муфельной печи. Определение количественного содержания микро- и макроэлементов проводили следующими методами.

1. Определение микроэлементов (железо, цинк, марганец, медь) методом атомно-абсорбционной спектрометрии. К озоленному лекарственному растительному сырью приливали 1 см³ азотной кислоты (1:1) и выпаривали досуха на плитке с часовым стеклом. Осадок растворяли в 15–20 см³ 1% азотной кислоты и переносили в мерную колбу объемом 25 см³, доводили до метки той же кислотой. После чего проводили анализ полученного раствора на атомно-абсорбционном спектрометре [8].

2. Определение биологически значимых макроэлементов (кальций) методом комплексонометрического титрования. Зола помещали в мерную колбу вместимостью 50 см³, растворяли в 10 % растворе хлористоводородной кислоты HCl. В мерную колбу вместимостью 50 см³ помещали 10 см³ раствора А и доводили водой, очищенной до метки – раствор Б. В колбу для титрования вместимостью 100 см³ помещали 10 см³ раствора Б, добавляли 0,1 см³ 30%

раствора гидроксида натрия и аммиачный буферный раствор до pH 11–12 по универсальной индикаторной бумаге для осаждения гидроксида магния $Mg(OH)_2$. Образовавшийся осадок отфильтровывали. К 10 см³ полученного фильтрата добавляли несколько крупинок индикатора хромового темно-синего и титровали 0,025 М раствором Трилона Б до перехода окраски от розовато-сиреневой до фиолетово-синей [9].

Полученные результаты количественного определения микро- и макроэлементов представлены в таблице.

Таблица

Результаты количественного определения биологически значимых макро- и микроэлементов

Показатель	Метод	Сырье	Результат
Цинк, мг/кг	Атомно-абсорбционная спектрометрия	Листья	23,4±7,7
		Плоды	30,6±10,1
Марганец, мг/кг		Листья	188,0±43,2
		Плоды	276,0±63,5
Медь, мг/кг		Листья	3,6±0,4
		Плоды	4,3±0,9
Железо, мг/кг		Листья	8±2
		Плоды	14±4
Кальций, %	Комплексометрическое титрование	Листья	1,60±0,04
		Плоды	0,51±0,01

Сравнительный анализ результатов показывает, что в плодах брусники обыкновенной содержится больше микроэлементов, чем в листьях, притом содержание кальция в листьях превышает содержание его в ягодах.

Установлено, что брусника обыкновенная, произрастающая в Кировской области, обладает широкими спектрами фармакологической активности, за счет содержания биологически важных макро- и микроэлементов, что говорит о возможном применении данного растения при лечении и профилактике заболеваний, связанных с алиментарным фактором в качестве биологической добавки к пище. Полученные данные можно использовать при разработке продуктов функционального питания.

Библиографический список

1. Гребенникова О. В., Скачков Д. А., Величкина А. В. Инновационный молочный продукт // Новые подходы к разработке технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы Международ. науч.-практ. конф. Волгоград : ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет, 2018. С. 271.
2. Холопова Я. А. Обогащение хлебобулочных изделий макро- и микроэлементами для придания продукту функциональных свойств // Технологии и продукты здорового питания : сб. статей XII Национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием (Саратов, 17–18 декабря 2020 г.). Саратов : Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, 2021. С. 736–741.
3. Ахмеджанова З. И. Макро-и микроэлементы в жизнедеятельности организма и их взаимосвязь с иммунной системой (обзор литературы) // Журнал теоретической и клинической медицины. 2020. № 1. С. 16–21.

4. Абатуров А. Е. Роль микро- и макроэлементов в профилактике частых респираторных заболеваний у детей // Здоровье ребенка. 2008. № 5. С. 14.
5. Николайчук К. М. Лимфотропная технология функционального питания при старении // VIII Международ. науч.-практ. конф. молодых ученых: биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов 2021 : сб. тезисов конф. (Наукоград Кольцово, 5–8 октября 2021 г.). Новосибирск : Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2021. С. 42.
6. Элементный состав плодов брусники обыкновенной и клюквы болотной / Т. Н. Цыбукова, Е. В. Петрова, Е. С. Рабцевич и др. // Химия растительного сырья. 2017. № 4. С. 229–233.
7. Drózdź P. Evaluation of bioactive compounds, minerals, and antioxidant activity of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) fruits // Molecules. 2017. No. 1. P. 53.
8. ГОСТ 22001-87. Реактивы и особо чистые вещества. Метод атомно-абсорбционной спектроскопии определения примесей химических элементов : действ. с 01.07.1988. М., 1988.
9. Пат. 2 605 855. РФ, МПК G01N 33/15 (2006.01). Способ количественного определения кальция и магния в растительном сырье : № 2015102880 : заявл. 28.01.2015 : опубл. 27.12.16 / Мальцева А. А., Тринеева О. В., Чистякова А. С., Сливкин А. И., Игнатова А. О. 8 с.

СВОЙСТВА СУХИХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ РАСТЕНИЙ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Р. А. Гильфанова, Е. С. Соловьёва
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
rufinagilfanova@gmail.com

В статье представлен опыт изготовления сухих экстрактов из листьев малины обыкновенной и смородины черной, цветков пижмы обыкновенной и клевера лугового путем экстракции 70%-ным этиловым спиртом и дальнейшим высушиванием. Оценены органолептические свойства сухих экстрактов и их антиоксидантная активность.

Ключевые слова: сухие экстракты, органолептические показатели, антиоксиданты.

В настоящее время достаточно эффективно разрабатываются способы получения фитоэкстракционных композиций из растительного сырья, являющихся весьма выгодными с экономической точки зрения и обладающих минимальными побочными действиями, а также максимально возможным положительным фармакологическим эффектом за счет наивысшего выхода биологически активных веществ. Использование препаратов, изготовленных на основе растительного сырья, имеют ряд преимуществ по сравнению с препаратами синтетического происхождения: возможность их применения при хронической форме патологии, низкий уровень токсичности, активность в отношении штаммов микроорганизмов и вирусов, устойчивых к синтетическим

и полусинтетическим лекарствам, а также широкий спектр их фармакологического действия [1].

Для создания лекарственных препаратов с разным терапевтическим действием перспективными источниками могут быть экстракты растений, содержащие разнообразные биологически активные вещества. Изучая химический состав листьев и цветков растительного сырья Кировской области, было выяснено, что они богаты различными антиоксидантами, имеющими большое практическое значение в медицинской области. Антиоксиданты – вещества, которые обладают способностью вступать во взаимодействие с различными реактогенными окислителями, активными формами кислорода, другими свободными радикалами и приводить их к частичной или полной инактивации [2].

Сухие экстракты являются интересным и перспективным объектом для исследований и применения в медицинской практике в России и за рубежом, но их получение – это довольно трудоемкий, сложный и длительный процесс. В связи с этим, целью данной работы является получение и изучение свойств сухих экстрактов из растений Кировской области.

Для исследования использовали цветки пижмы обыкновенной и клевера лугового, а также листья малины обыкновенной и смородины черной, собранных с территории Малмыжского района Кировской области. Предварительно сырье сушили в прохладном, хорошо проветриваемом месте, защищенном от попадания солнечных лучей, и измельчали в фарфоровой ступке.

За основу изготовления сухих экстрактов использовали патент № 2482863 [3]. В качестве экстрагента вместо 90–96% брали 70% этиловый спирт, массу исходного сырья (10 г) увеличили в 2 раза (20 г). Соотношение растительного сырья и экстрагента составило 1:5. Таким образом, были получены сухие экстракты: из цветков пижмы и клевера – 1,53 г и 1,48 г соответственно, из листьев малины и смородины – 1,62 г и 1,34 г соответственно. Выход полученных сухих экстрактов был в 6–7 раз больше, чем в патенте № 2482863 (0,225 г).

Был проведен органолептический анализ сухих экстрактов, включающий определение запаха, внешнего вида и цвета. Результаты органолептического анализа сухих экстрактов представлены в таблице 1.

По органолептическим показателям сухие экстракты представляют собой мелкодисперсные сыпучие порошки с характерным горьковато-сладким запахом, коричневого цвета разных оттенков.

Определение общей антиоксидантной активности в сухих экстрактах проводилось в соответствии с патентом № 2170930 методом перманганатометрии [4]. Перманганатометрический метод анализа основан на реакциях окисления восстановителей перманганатом калия. Результаты исследования общей антиоксидантной активности в сухих экстрактах представлены в таблице 2.

Таблица 1

Органолептические показатели сухих экстрактов

Показатель	Сухой экстракт из цветков пижмы	Сухой экстракт из цветков клевера	Сухой экстракт из листьев малины	Сухой экстракт из листьев смородины
Внешний вид	Мелкодисперсный сыпучий порошок	Мелкодисперсный сыпучий порошок	Мелкодисперсный сыпучий порошок	Мелкодисперсный сыпучий порошок
Цвет	Коричневого цвета разных оттенков			
Запах	Горьковато-сладкий	Горьковато-сладкий	Горьковато-сладкий	Горьковато-сладкий

Таблица 2

Результаты исследования общей антиоксидантной активности

Образец	Общая антиоксидантная активность, мг/г
Сухой экстракт из цветков пижмы обыкновенной	5,16±0,31
Сухой экстракт из цветков клевера лугового	4,58±0,13
Сухой экстракт из листьев малины обыкновенной	4,51±0,18
Сухой экстракт из листьев черной смородины	4,10±0,60

По результатам исследования общей антиоксидантной активности выявлено, что сухой экстракт из цветков пижмы обыкновенной содержит наибольшую сумму антиоксидантов (5,16 мг/г), а сухой экстракт из листьев смородины черной – наименьшую по сравнению с остальными сухими экстрактами (4,1 мг/г).

Таким образом, в ходе эксперимента были получены и исследованы свойства сухих экстрактов из растений Кировской области. Выявлено, что полученные экстракты обладают подходящими для применения органолептическими свойствами и являются источником антиоксидантов.

Библиографический список

1. Смирнова И. П., Семкина О. А., Бондаренко О. В. Использование растительных экстрактов в создании лекарственных средств разной терапевтической направленности // Антибиотики и химиотерапия. 2016. Т. 61. № 3–4. С. 30–34.
2. Шахмарданова С. А., Гулевская О. Н., Селецкая В. В. Антиоксиданты: классификация, фармакотерапевтические свойства, использование в практической медицине // Журнал фундаментальной медицины и биологии. 2016. № 3. С. 4–15.
3. Пат. 2 482 863. РФ. МПК А61К 36/80 (2006.01), В01Д 11/02 (2006.01). Способ получения сухого экстракта из растительного сырья, обладающего биологической активностью : № 012105384/15 : заявл. 15.02.2012 : опубл. 27.05.2013 / Полуконова Н. В., Наволокин Н. А., Дурнова Н. А., Маслякова Г. А., Бучарская А. Б. 11 с.
4. Пат. 2 170 930. РФ. МПК G01N 33/50, 33/52. Способ определения антиокислительной активности : № 2000111126/14 : заявл. 05.05.2000 : опубл. 20.07.2001 / Максимова Т. В., Никулина И. Н., Пахомов В. П., Шкарина Е. И., Чумакова З. В., Арзамасцев А. П. 6 с.

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ЭКСТРАКТЫ КАК МОДИФИКАТОРЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПАРАФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ФИТОПЛЕНОК

С. А. Вотинцева, Е. В. Товстик

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

В статье представлена сравнительная оценка функциональных свойств парафармацевтических фитоплёнок на основе водного и водно-пропиленгликолевого экстракта из цветков ноготков лекарственных. Установлено, что водно-пропиленгликолевый экстракт, по сравнению с водным, обеспечивает лучшие функциональные свойства фитопленок и высвобождение флавоноидов из них..

Ключевые слова: парафармацевтическая фитопленка, экстракт, цветки ноготков лекарственных, функциональные свойства, флавоноиды.

В фармацевтической промышленности растет интерес к потенциалу использования лекарственных растений, в частности, для производства топикальных лекарственных форм (ТЛФ) [1]. Комплексное терапевтическое действие извлекаемых биологически активных веществ (БАВ), которое минимизирует развитие нежелательных эффектов, и экономическая доступность растительного сырья обуславливают актуальность разработки ТЛФ на основе извлечений из лекарственных растений [2]. Для введения в состав ТЛФ перспективны растительные БАВ с регенеративным, противовоспалительным и антиоксидантным действием. К таким соединениям относятся БАВ полифенольной природы, в том числе флавоноиды: флавонолгликозиды (нарциссин и рутин), флавонолы (изорамнетин, кверцетин), которые в высокой степени содержатся в цветках ноготков лекарственных [3].

Наиболее дерматологически приемлемым методом извлечения флавоноидов считается экстракция водой и водно-пропиленгликолевыми смесями, за счет хорошей растворимости полифенольных веществ в этих экстрагентах и отсутствия токсического действия при контакте с кожными покровами организма [4].

Формирование устойчивых и биосовместимых ТЛФ, в частности, пленочных композиций, обеспечивают введением в фитоэкстракт биodeградируемых полимеров, таких как поливиниловый спирт и желатин [5]. БАВ полифенольной природы в результате взаимодействия с экстрагентом и полимерной матрицей могут структурно модифицировать композиции, таким образом влияя на их физико-химические свойства [6].

Цель работы – оценка влияния водного и водно-пропиленгликолевого (ВПГ) экстракта из цветков ноготков лекарственных на функциональные

свойства парафармацевтических фитопленок (ПФП) и высвобождение флавоноидов из них.

Изготовление ПФП и оценку их функциональных свойств (влагопоглощение, паропроницаемость, растворимость) проводили по отработанным ранее методикам [7]. В настоящем исследовании изготовили пленкообразующие растворы на основе экстрактов из цветков ноготков лекарственных (экстрагент – дистиллированная вода и 50%-ый водный 1,2-пропиленгликоль (ПГ)) с введением полимерной матрицы – поливиниловый спирт (098-15(G)) (6%) и пищевой желатин марки П-11 (0,5%); антисептика – раствор коллоидного серебра (1%); пластификатора – глицерин (0,4%).

Высвобождение флавоноидов из ПФП оценивали методом диффузии в жидкую среду. Для этого образцы ПФП (диски диаметром 0,5 см) помещали в чашки Петри на фильтровальную бумагу, предварительно увлажненную 2%-ым спиртовым раствором хлорида алюминия, чашки герметизировали парафильмом и инкубировали в течение 24 ч. Наличие окрашенных в желтый цвет зон свидетельствовало о высвобождении флавоноидов из фитопленки.

Результаты сравнительной оценки функциональных свойств ПФП на основе водного и 50%-ого ВПГ экстракта из цветков ноготков лекарственных представлены в таблице.

Таблица

**Функциональные свойства фитопленок
на основе экстрактов из цветков ноготков лекарственных**

Экстракт	Показатель					
	влагопоглощение, %/мин				паропроницаемость, г/м ²	растворимость, %
	15	30	45	60	1 ч	24 ч
Водный	160	276	379	464	337±35	61
50%-ый ВПГ	1022	192	279	390	165±11	52

Влагопоглощение, характеризующее диффузионный потенциал пленок, на всех сроках наблюдений (15, 30, 45, 60 мин) было выше у ПФП на основе водного, чем 50%-го ВПГ экстракта. Наличие данной зависимости может говорить об уменьшении гидрофильности плёнки при использовании в качестве экстрагента более гидрофобного 1,2-пропиленгликоля.

Характеризующая способность пленки к аэрации и газообмену, паропроницаемость, у ПФП на основе водного экстракта из цветков ноготков лекарственных составила 337±35 г/м², что на 48% выше, чем у образца на основе ВПГ экстракта (165±11 г/м²). Это может говорить о том, что 1,2-пропиленгликоль в составе ПФП повышает плотность плёнок, затрудняя диффузию водяного пара. Вероятно, это связано со способностью ПГ участвовать во внутримолекулярных взаимодействиях с полимерной матрицей.

Растворимость ПФП оценивали с целью определения возможности высвобождения из неё БАВ. Было установлено, что растворение в течение 24 ч ПФП на основе водного экстракта из цветков ноготков лекарственных составило 61% и происходило быстрее на 9%, чем в образце, содержащем ВПГ

экстракт, что свидетельствует о преобладании гидрофобных экстрагируемых веществ при экстракции цветков ноготков лекарственных 50%-ым водным 1,2-пропиленгликолем.

В результате исследования высвобождения флавоноидов из ПФП было установлено, что диаметр окрашенных зон у образцов пленок, содержащих ВПГ экстракт из цветков ноготков лекарственных ($3,6 \pm 0,2$ см) больше, чем у образцов пленок на водном экстракте ($2,5 \pm 0,2$ см), что связано с большей экстрагируемостью веществ полифенольной природы органическим растворителем – ПГ.

Таким образом, в ходе исследования были изучены функциональные свойства и оценена способность к высвобождению флавоноидов из ПФП на основе водного и водно-пропиленгликолевого экстракта из цветков ноготков лекарственных. Полученные результаты свидетельствуют о большей перспективности ПГ как экстрагента для растительного сырья и модификатора функциональных свойств фитопленок.

Библиографический список

1. Network pharmacology approach for medicinal plants: review and assessment / F. Noor, M. Tahir Ul Qamar, U. A. Ashfaq et al. DOI: 10.3390/ph15050572 // *Pharmaceuticals*. 2022. Vol. 15. No. 5. Article No. 572.
2. Джатдоева Д. Т. Комплексная оценка применения лекарственных растений в современной медицине в зависимости от биоорганических процессов // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 9. С. 113–119.
3. Myo H., Khat-Udomkiri N. Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from coffee pulp using propylene glycol as a solvent and their antioxidant activities DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106127 // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022. Vol. 89. Article No. 106127.
4. Mechanism of action of wound healing activity of *Calendula officinalis*: a comprehensive review / B. Deka, B. Bhattacharjee, A. Shakya et al. DOI: 10.20510/ukjpb/9/i1/1609684673 // *Pharmaceutical and Biosciences Journal*. 2021. Vol. 9. P. 28–44.
5. Pharmaceutical, biomedical and ophthalmic applications of biodegradable polymers (BDPs): literature and patent review / B. Osi, M. Khoder, A. A. Al-Kinani, R. G. Alany. DOI: 10.1080/10837450.2022.2055063 // *Pharm. Dev. Technol.* 2022. Vol. 27. No. 3. P. 341–344.
6. Multifaceted role of phyto-derived polyphenols in nanodrug delivery systems / Z. Chen, M. A. Farag, Z. Zhong et. al. DOI: 10.1016/j.addr.2021.113870 // *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2021. Article No. 113870.
7. Применение комплекса биологически активных веществ из *Aronia melanocarpa* в парафармацевтических фитоплёнках / В. А. Козвонин, Е. В. Товстик, В. К. Тупицын, С. А. Вотинцева. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-1-097-105 // *Теоретическая и прикладная экология*. 2024. № 1. С. 97–105.

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЭКСТРАКТАХ ЛИСТЬЕВ И ПЛОДОВ ДУБА

*Д. Ю. Артемьев, Г. К. Ворончихин,
П. К. Белослудцева, А. С. Ефремова, Т. А. Адамович
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
danila.artemev.03@mail.ru*

В статье представлен опыт применения количественных методов анализа для оценки содержания биологически активных веществ в экстрактах листьев и плодов дуба. Определены содержание полифенольных соединений, пектиновых и дубильных веществ, антиоксидантная активность в исследуемом сырье.

Ключевые слова: биологически активные вещества, экстракт, листья и плоды дуба.

Биологически активные вещества (БАВ) – это химические или биологические вещества природного или синтетического происхождения, оказывающее влияние на процессы, протекающие в живом организме.

Антиоксиданты – вещества, которые могут вступать во взаимодействие с разнообразными реактогенными окислителями, разными конфигурациями кислорода, другими свободными радикалами и приводить к их инактивации. Антиоксидантными свойствами обладают многие растения, в частности, дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) [1].

Листья и жёлуди дуба содержат дубильные вещества, которые обладают антиоксидантным, кровоостанавливающим и противовоспалительным действием. В исследуемом сырье содержатся пектиновые вещества, обладающие желеобразующими и стабилизирующими свойствами. Также выявлены полифенольные вещества, отвечающие за антиаллергические и противовоспалительные эффекты, а также регулирующие уровень сахара в крови.

Таким образом, актуальность выбранной темы заключается в том, что в условиях активного развития техногенного общества, употребления синтетических добавок и подверженности стрессу происходит нарушение антиоксидантной защиты организма и возрастает риск возникновения окислительного стресса, что повышает востребованность исследований биологически активных веществ [2].

Цель работы – изучить содержание БАВ с антиоксидантными свойствами в экстрактах растений Кировской области на примере листьев и плодов дуба черешчатого с использованием физико-химических методов анализа.

Листья и плоды дуба отобраны в Верхнекамском районе Кировской области в октябре 2023 года. Пробы растительного сырья сушили в лабораторных условиях. Перед проведением исследования пробы измельчали до получения частиц диаметром 1 мм. Для определения содержания дубильных ве-

ществ и антиоксидантной активности использовали водные вытяжки, полифенолов и пектиновых веществ – водно-спиртовые.

Полифенольные соединения в исследуемом растительном сырье определяли спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу. Дубильные вещества определяли титрометрическим методом. Для выделения пектиновых веществ использовался кальций-пектатный метод [3–6].

Результаты проведенных исследований представлены в таблице. По результатам исследования установлено, что общая антиоксидантная активность (ОАА) экстракта листьев и плодов (табл.) составляет 1,18 мг/г.

Таблица

Содержание биологически активных веществ и общая антиоксидантная активность (ОАА) в листьях и плодах дуба черешчатого

Объект исследования	ОАА, мг/г	Содержание дубильных веществ, %	Содержание полифенолов, мг/г	Содержание пектиновых веществ, г
Листья	1,13±0,01	19,5±0,6	2,3±0,6	0,011±0,009
Плоды	1,13±0,01	23,1±0,7	2,6±0,7	0,022±0,002

По результатам исследования установлено, что общая антиоксидантная активность (ОАО) экстракта листьев и плодов (табл.) составляет 1,18 мг/г.

Содержание дубильных веществ варьирует от 19,5% в листьях дуба до 23,1% в плодах. Дубильные вещества относятся к полифенольным соединениям, они осаждают белки и различные другие органические соединения, включая аминокислоты и алкалоиды. Лекарственное сырье, содержащее дубильные вещества, проявляет вяжущие свойства, поэтому используется для полосканий, при ожогах в виде присыпки, внутрь при желудочно-кишечных расстройствах, а также отравлениях тяжелыми металлами и растительными ядами.

Наибольшее количество полифенольных соединений содержится в плодах дуба и составляет 2,6 мг/г. Полифенолы предотвращают токсическое повреждение митохондрий, их фрагментацию, разрывы и локальную потерю мембран, а также перекисидацию липидов и окисление глутатиона в эритроцитах при окислительном воздействии, изменяя микровязкость внешнего монослоя липосомальных мембран [7].

Максимальное количество пектиновых веществ обнаружено в плодах дуба. В настоящее время выявлена эффективность пектиновых препаратов при лечении и профилактике отравлений тяжёлыми металлами, полиартритов, сердечнососудистых заболеваний, сахарного диабета и других. Дубильные пектиновые вещества, которые оказывают сильное антиоксидантное действие, способствуют защите клеток от повреждений [8].

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что изучение содержания БАВ в экстрактах листьев и плодов дуба имеет большое практическое значение. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о целесообразности использования листьев и плодов дуба в

качестве источника БАВ. Такое исследование позволит оптимизировать процесс получения биологически активных веществ и использовать их в медицине и пищевой промышленности.

Библиографический список

1. Никанкина М. В., Ширяева О. Ю. Исследование биологически активных веществ в растительном сырье // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. 2015. № 27. С. 18–22.
2. Кароматов И. Д., Махмудова Г. Ф. Дуб обыкновенный – применение в лечебной практике // Биология и интегративная медицина. 2016. № 3. С. 41–47.
3. Петрова Е. И. Титриметрический анализ : лаб. практикум. Самара : Изд-во «Самар. ун-т», 2001. 48 с.
4. ГОСТ 55488-2013. Прополис. Метод определения полифенолов : действ. с 01.01.2015. М. : Стандартиформ, 2014. 9 с.
5. Полифенолы как перспективные биологически активные соединения / Т. Н. Бобрышева, Г. С. Анисимов, М. С. Золоторева и др. // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 1 (545). С. 92–107.
6. Кукин М. Ю. Усовершенствование технологии получения пектина из яблок // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых продуктов. 2017. № 2. С. 9–17.
7. Нестерова Н. В., Самылина И. А. Определение арбутина в лекарственном растительном сырье DOI: 10/29296/25419218-2018-03-04 // Фармация. 2018. Т. 67. № 3. С. 21–25.
8. Тужилкин В. И., Кочеткова А. А., Колеснов А. Ю. Теория и практика применения пектинов // Известия вузов. Пищевая технология. 1995. № 1–2. С. 78–83.

СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТОВ В ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

А. Р. Галимова, Н. С. Архипова
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
г. Казань, Россия, 89870600641@mail.ru

Проанализированы данные по содержанию нитратов в овощах и фруктах, приобретенных в магазинах г. Казани и выращенных в четырех районах Татарстана. В целом, содержание нитратов в овощах соответствует требованиям технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». Выявлены значимые различия в содержании нитратов в овощах в разные сезоны года. Для большинства исследованных овощей наиболее низкая концентрация нитратов выявлена в летний период. Согласно расчетам, наиболее безопасным является употребление свеклы (менее 20% ПДК), относительно безопасным (30–40% от ПДК) огурцов, кабачков и перца болгарского. Содержание нитратов в луке и картофеле, а также фруктах недопустимо велико и может представлять опасность при регулярном употреблении этой продукции.

Ключевые слова: нитраты, мониторинг, плодоовощная продукция.

Актуальность вопросов качества и безопасности пищи возрастает с каждым годом. С продуктами питания в организм человека могут поступать значительные количества веществ, опасных для его здоровья, в том числе нитраты и продукты их метаболизма, нитрозосоединения и нитриты [1–3]. Главным источником нитратов в пище человека являются овощи и фрукты. На их долю приходится до 80% нитратного азота, который поступает в организм. Остальные 20% поступают с питьевой водой, мясом, молоком [2, 3]. Максимально допустимая доза нитратов, по данным ВОЗ, составляет 3,7 мг на 1 кг массы тела, или 240,5 мг для человека с массой тела 65 кг [2]. Повышенное поступление нитратов с пищей приводит к различным функциональным нарушениям организма [4]. С целью защиты здоровья человека принят Технический регламент Таможенного союза, который определяет допустимые уровни содержания нитратов в продуктах питания [5].

В связи с этим, целью нашего исследования была оценка степени загрязнения нитратами плодоовощной продукции, выращенной и приобретенной в разных районах Республики Татарстан (РТ).

В ходе исследования за 2022–2024 гг. проведено изучение содержания нитратов в пробах 12 наименований овощей и фруктов. Отбор проб (закупку овощей и фруктов) для анализа проводили четыре раза в год (осенью, зимой, весной и летом). Всего исследовано 828 проб. Плодоовощную продукцию для исследования отбирали в магазинах г. Казани, выращенную на приусадебных участках Высокогорского, Алексеевского, Верхнеуслонского и Пестречинского районов РТ. Анализ нитратов проводили с использованием нитрат-тестера «Soeks» (ионометрический метод), согласно методике [6]. Статистические расчеты выполнили в пакете Statistica-12. Достоверность отличий приняли на уровне 0,05.

Согласно результатам исследования, содержание нитратов в продукции растениеводства варьировало в широком диапазоне (табл.).

Таблица

Содержание нитратов в плодоовощной продукции (мг/кг)

Наименование	ПДК	Среднее	С min	С max
Капуста поздняя	500	215,3	95	558,0
Лук репчатый	80	72,0	15	156,0
Морковь	250	103,3	59	265,0
Картофель	250	173,2	78	289,0
Томаты	300	160,2	57	402,0
Свекла	1400	250,4	85	548,0
Перец болгарский	400	152,5	60	401,0
Огурец	400	134,6	80	258,0
Кабачок	400	149,5	85	305,0
Яблоко	60	48,0	29	65,0
Банан	200	112,0	56	200,0
Груша	60	45,6	23	65,0

Так, в некоторых образцах капусты, свеклы, перца, томатов и лука разница между максимальным и минимальным значениями была в 6–10 раз. При рассмотрении максимальной концентрации нитратов в овощах было выявлено превышение предельно-допустимой концентрации (ПДК) среди следующих наименований продукции: капуста поздняя (558,0 мг/кг), лук репчатый (156,0 мг/кг), морковь (265 мг/кг), картофель (289 мг/кг), помидоры (402,0 мг/кг), перец болгарский (401 мг/кг), груша (65 мг/кг), яблоко (65 мг/кг).

По усредненным значениям, полученным за весь период исследования, установлено, что для большинства образцов превышения ПДК нитратов не выявлено. Однако, длительное воздействие химических контаминантов в продуктах питания, даже при более низких, чем ПДК, уровнях гигиенических норм, может способствовать развитию неблагоприятных (канцерогенных и хронических неканцерогенных) эффектов у населения [7]. Детям младшего возраста и людям с болезнями печени, почек, крови не рекомендуется употреблять в пищу продукты и их части с концентрацией нитратов свыше 30% от ПДК. Продукцию, содержащую 50–60% нитратов, рекомендуется подвергать различным видам кулинарной обработки [3].

В результате проведенного исследования (рис. 1, 2), установлено, что для большинства образцов концентрация нитратов превышает 30% от ПДК. Наиболее высокие концентрации обнаружены в образцах лука, картофеля, томатов и фруктов.

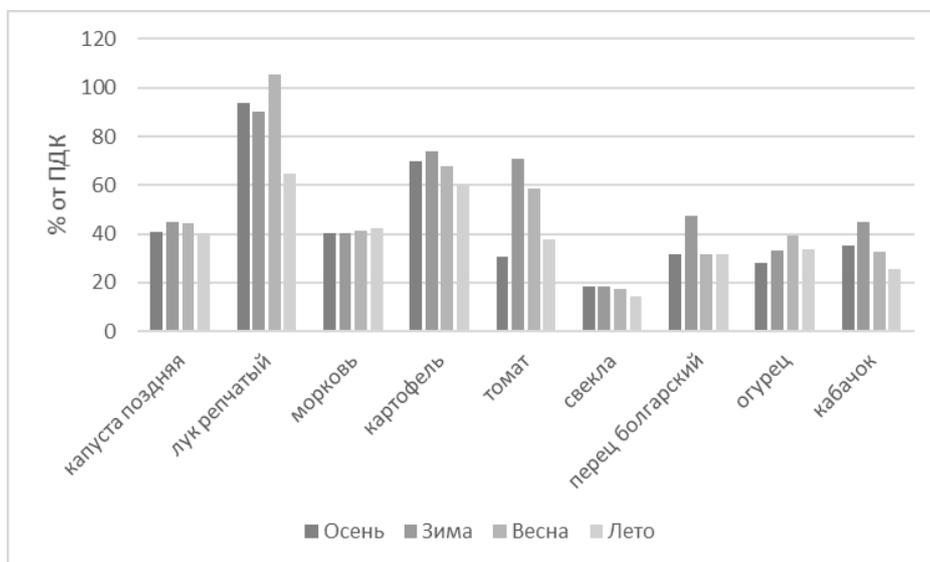


Рис. 1. Изменение содержания нитратов в овощах по сезонам (% от ПДК)

Согласно расчетам, наиболее безопасным является употребление свеклы (менее 20% ПДК), относительно безопасным – огурцов, кабачков и перца болгарского. Содержание нитратов в луке (до 105,7% ПДК) и картофеле (от 60,4 до 74% ПДК), а также фруктах (рис. 2) недопустимо велико и может представлять опасность при регулярном употреблении этой продукции.

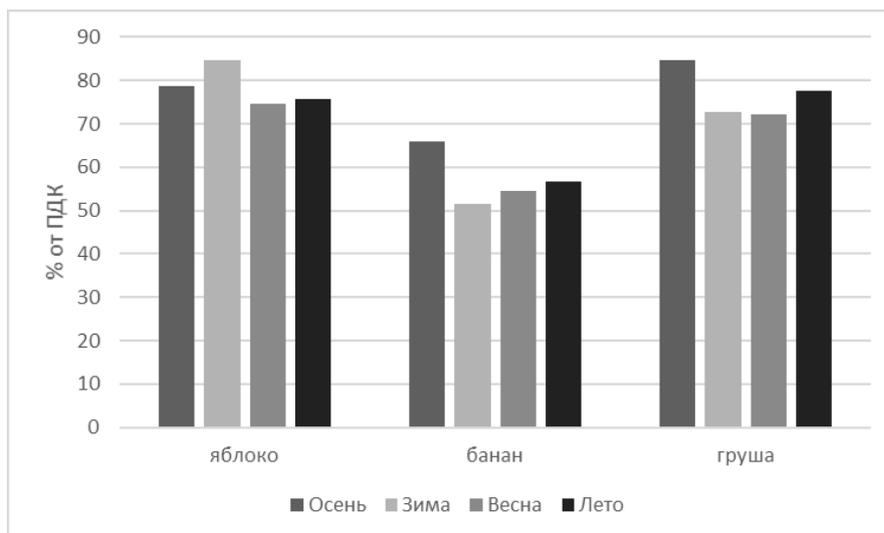


Рис. 2. Изменение содержания нитратов во фруктах по сезонам (% от ПДК)

Расчеты с использованием критерия Ньюмана-Кейлса показали значимые различия в содержании нитратов в овощах в разные сезоны года. Концентрация нитратов в луке репчатом зимой и весной выше, чем летом. Максимум приходится на апрель, и концентрация значимо выше, чем в июле ($p = 0,017868$). Летом значимо ниже, чем осенью ($p = 0,024503$), зимой ($p = 0,009638$) и весной ($p = 0,000505$). Выявлено превышение ПДК нитратов в репчатом луке (на 5,7%) в весенний период. По результатам нашего предыдущего исследования [6], среди овощей, лук также демонстрировал высокую концентрацию нитратов, несмотря на то, что он относится к овощам, которые не склонны накапливать нитраты.

В томатах наиболее высокое содержание нитратов наблюдается зимой и весной. Осенью и летом концентрация нитратов значимо ниже, чем зимой ($p = 0,000268$ и $p = 0,00313$) и весной ($p = 0,009414$ и $p = 0,008694$). В перце болгарском зимой концентрация нитратов значимо выше, чем весной ($p = 0,045899$) и летом ($p = 0,02991$). Значимых различий в концентрации нитратов в фруктах в разные сезоны не обнаружено.

Таким образом, для большинства исследованных овощей наиболее низкая концентрация нитратов в сравнении с ПДК выявлена в летний период. В целом, содержание нитратов в овощах, поставляемых из Высокогорского, Алексеевского, Верхнеуслонского и Пестречинского районов Татарстана соответствует ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [5]. Продукция, которая поступает в торговые сети в весенне-зимний период, в основном привозная или тепличных хозяйств, и содержание нитратов в ней более высокое [6]. Из всех проанализированных образцов, только 37 проб (4,4%) содержат нитраты в количествах, превышающих установленные ПДК для соответствующих видов овощей и фруктов.

Библиографический список

1. Содержание нитратов в пищевой продукции, реализуемой на территории Саратовской области / Т. В. Ходырева, М. А. Александрова, А. А. Федонина, Д. Р. Мустафаева // БМИК. 2017. Т. 7. № 6. С. 1115–1117.
2. Яковлева А. А., Семенова А. А., Нефедова Ю. Н. Загрязнение плодоовощной продукции азотсодержащими соединениями // Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения : материалы VI Междунар. (76 Всерос.) науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, 08 апреля 2021 г.). Екатеринбург : Уральский государственный медицинский университет, 2021. С. 715–719.
3. Ильинский А. П. Нитраты как новый средовой фактор, оказывающий влияние на здоровье населения // Экологические проблемы накопления нитратов в окружающей среде : тезисы докладов Всесоюз. конф. (г. Пущино, 10–13 октября 1989 г.). Пущино : Отдел НТИ ИЦ биол. исследований АН СССР, 1989. С. 130.
4. Кондрашова И. Н., Кондыкова Н. Н., Дурнева И. В. Проблемы накопления нитратов и экологическая безопасность продукции растениеводства // Вестник сельского развития и социальной политики. 2019. № 2 (22). С. 33–35.
5. Технический регламент Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: с изменениями от 25.11.2022: утвержден 9.11.2011. СПб. : ГИОРД, 2015.
6. Архипова Н. С., Степанова Н. В., Гарифуллина А. А. Оценка уровня нитратов в растительной продукции в рационе жителей города Чистополь // Современные проблемы естественных наук и фармации : материалы Всерос. науч. конф. (г. Йошкар-Ола, 16–20 мая 2022 г.). Йошкар-Ола : МарГУ, 2022. С. 108–111.
7. Колнет И. В., Клепиков О. В., Морковина Д. А. Особенности заболеваемости населения в связи с контаминацией пищевых продуктов // Вопросы питания. 2018. Т. 87. № 5. С. 41–49.

MELILOTUS ALBUS В ОПЫТНЫХ ПОСЕВАХ НА ЗОЛОТВАЛЕ ВЕРХНЕТАГИЛЬСКОЙ ГРЭС

Н. В. Лукина, М. А. Глазырина, Е. И. Филимонова
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия, natalia.lukina@urfu.ru

В работе представлена оценка опытных посевов *Melilotus albus* Medik. 2-го года жизни, созданных на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС. Показано, что внесение удобрений (НРК) в посевы с нанесением торфа, улучшает морфологические показатели вида и ускоряет индивидуальное развитие растений. В условиях золоотвала у *M. albus* происходит развитие корневой системы интенсивного типа, что является адаптивной реакцией вида в экстремальных условиях среды.

Ключевые слова: *Melilotus albus*, золоотвалы, фитомелиорация, фазы роста и развития, корневая система.

В настоящее время на территории Российской Федерации электрическую и тепловую энергию вырабатывают 172 электростанции, работающие на угольном топливе. Основное количество золошлаковых отходов складывается

в золоотвалы, площадь которых к настоящему времени составляет 28 тыс. га [1]. Устранение ущерба, наносимого золоотвалами окружающей среде, достигается применением научно обоснованных методов и средств рекультивации [2]. В настоящее время одним из основных способов биологической рекультивации нарушенных земель является фитомелиорация, целью которой является создание устойчивых растительных сообществ. Для успешного проведения биологической рекультивации очень важным и актуальным является подбор видов-фитомелиорантов. Одним из таких видов является *Melilotus albus* Medik. (донник белый).

Цель наших исследований – оценка опытных посевов *M. albus* второго года, созданных на золоотвале Верхнетагильской государственной районной электростанции (ВТГРЭС).

M. albus – одно- и двулетнее травянистое растение сем. Fabaceae Lindl., зимостоек и засухоустойчив. Неприхотлив к почвам, может расти на каменистой, суглинистой, песчаной и слабозасоленной почве. Встречается на полях, выгонах, сорных местах, по оврагам, холмам, в степях, вдоль дорог, железнодорожных насыпей [3]. Нарращивает большую зеленую массу и развивает мощную корневую систему, поэтому часто используется в качестве фитомелиоранта и сидеральной культуры.

Исследования проводили на золоотвале ВТГРЭС, расположенном в 5 км от г. Верхний Тагил, в 70 км к северо-западу от г. Екатеринбурга. Площадь золоотвала составляет 125 га. Зола содержит малое количество азота и калия, и достаточное фосфатов. Реакция среды зольного субстрата слабощелочная [4].

На золоотвале были проведены опытные посевы *M. albus* в двух вариантах: вариант 1 – зола + 3–4 см торфа; вариант 2 – зола + 3–4 см торфа + НРК. В каждом варианте засеяно 5 опытных площадок по 25 м² каждая. Контрольные посевы были проведены на почве.

В первый год посева *M. albus* растет и развивается медленно и, как правило, не цветет. На второй год жизни растения данного вида трогаются в рост уже в начале мая и растут очень быстро. Исследования, проведенные с июня по август, показали, что, после весеннего отрастания средняя высота двулетних особей к 1 июня в варианте 1 составляла 9,4 см, в варианте 2 – 17,7 см, в контроле на почве – 20,7 см (рис.). К 10 августа средняя высота растений увеличилась до 90,3, 106,2, 118,0 см соответственно.

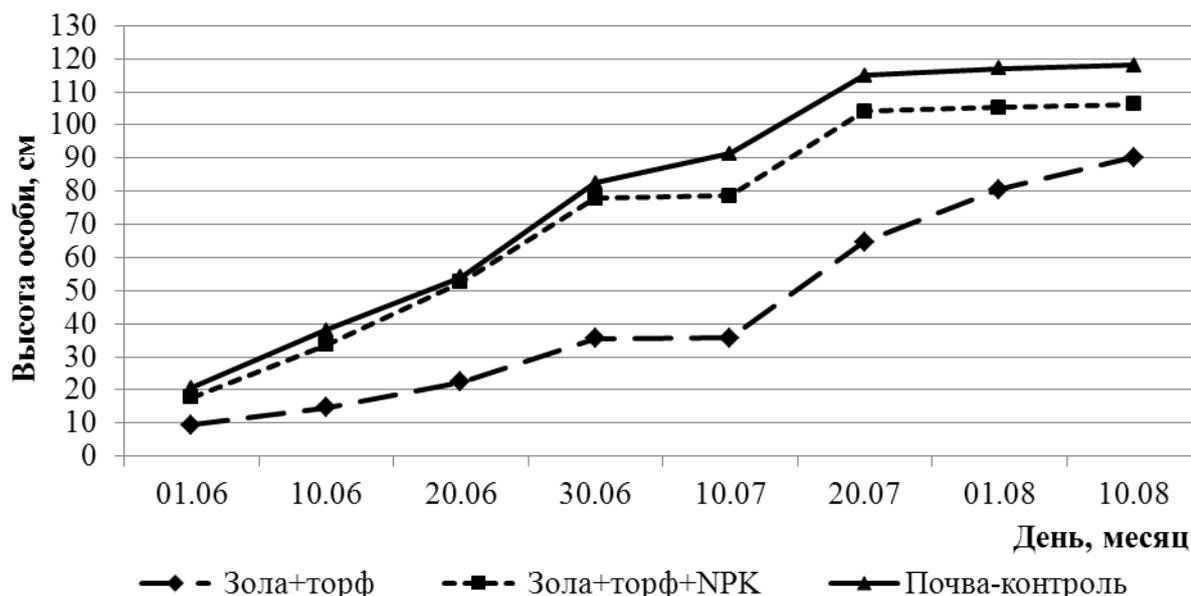


Рис. Динамика роста *Melilotus albus* в опытах на золоотвале ВТГРЭС и в контроле

В сезонном развитии *M. albus*, как и других бобовых трав, выделяется шесть основных фенологических фаз: весеннее отрастание, ветвление, бутонизация, цветение, созревание семян, отмирание побегов.

Изучение продолжительности фаз развития *M. albus* показало, что в условиях золоотвала развитие двулетних особей запаздывает: в варианте 1 – на 6–10 дней и в варианте 2 – на 2–7 дней по сравнению с контролем (табл. 1).

Таблица 1

Продолжительность фаз развития *Melilotus albus* на второй год жизни

Фазы развития	Опыт		Контроль
	вариант 1	вариант 2	
Бутонизация	26 июня – 15 июля	22 июня – 14 июля	20 июня – 12 июля
Цветение	10 июля – 14 августа	8 июля – 11 августа	1 июля – 30 июля
Начало созревания семян	29 июля	25 июля	23 июля

Донник первого года жизни – растение с одним побегом. Донник второго года жизни – растение в виде куста, его побеги отрастают рано весной из почек возобновления, развивающихся на корневой шейке, и образуют рыхлый куст. От количества почек, сформированных в первый год жизни, зависит урожай зеленой массы на следующий год. В естественных условиях произрастания у донника формируется до 4,8 побегов [5]. В опытах на золоотвале в варианте 1 среднее число побегов на одно растение было 3,7, в варианте 2 – 4,2, в контроле – 4,7. Число листьев на одну особь (облиственность) в варианте 1 было в 1,9 раза меньше, чем в варианте 2 и в 2,2 раза меньше, чем в контроле.

Максимальный прирост надземной массы приходился на период цветения. В фазе цветения вес одного растения на опытных площадках был в 1,4 и 1,2 (варианты 1 и 2 соответственно) раза меньше, чем в контроле.

Период созревания семян у *M. albus* во всех посевах начинался в конце июля. Всхожесть семян в опытных вариантах (51,2–51,5%) была значительно меньше, чем в контроле (82,0%).

Известно, что на рекультивированных участках нарушенных промышленностью земель, развитие растений зависит от экологических условий среды обитания и от развития их корневой системы [6, 7].

В условиях золоотвала главный корень *M. albus* отставал в росте от боковых корней (табл. 2).

Таблица 2

**Некоторые морфологические параметры *Melilotus albus*
в опытах и контроле**

Показатели	Опыт		Контроль
	вариант 1	вариант 2	
Высота особи, см	30,4±4,6	60,7±5,2	66,2±6,1
Число побегов, шт.	3,7±0,1	4,2±0,2	4,7±0,3
Число листьев на одну особь, шт.	23,8±3,4	45,4±4,1	51,6±4,3
Максимальная длина корней, см	36,7±3,1	39,9±4,2	36,4±3,2
Длина главного корня, см	26,7±1,2	26,6±1,3	36,4±1,4
Вес корней, г	3,1±1,2	3,7±1,3	2,1±1,2
Вес надземной массы, г	4,6±1,3	5,7±1,2	6,8±1,4

Большая часть корней растений в обоих вариантах располагалась в верхних горизонтах субстрата на глубине до 15 см, а в контроле – на глубине 20–25 см. Накопление корневой массы *M. albus* в опытных вариантах было больше, чем в контроле, что достигалось за счет усиленного роста мелких корней, образующих плотную подушку. Активное ветвление корней в верхних слоях золы, вероятно, связано с крайне малым содержанием элементов минерального питания и воды в глубоких слоях зольного субстрата.

M. albus, как и другие бобовые растения, обладает способностью накапливать в корнях большое количество азотсодержащих веществ. Это биологическое свойство обусловлено симбиозом его корней с клубеньковыми бактериями, которые способны поглощать из воздуха молекулярный азот и синтезировать белковые вещества. По мере отмирания бактерий и корней донника в почве накапливается большое количество азота. Таким образом, симбиоз бактерий с корнями донника и обогащает почву азотом. В обоих вариантах опыта на корнях донника были обнаружены клубеньки: от 3 до 36 штук на особь.

Мелиоративное воздействие донника на почву связано также с глубоко проникающей корневой системой, благодаря которой он использует труднодоступные для других растений почвенные соединения из глубоких горизонтов и, перенося их в корнеобитаемый слой, обогащает почву кальцием и другими элементами [8, 9]. Мощные корни донника дренируют плотные горизон-

ты почвы, образуя после отмирания ходы, по которым с верховой водой поднимаются растворенные в ней соли.

Таким образом, проведенные исследования показали, что на золоотвале ВТГРЭС в опытных посевах с нанесением 3–4 см торфа без внесения удобрений у *M. albus* происходит уменьшение высоты растений, числа и облиственности побегов, запаздывание фаз развития по сравнению с посевами на почве. Внесение комплексных минеральных удобрений (НПК) улучшает морфологические показатели и ускоряет индивидуальное развитие растений. В условиях золоотвала у *M. albus* происходит развитие корневой системы интенсивного типа, что является адаптивной реакцией вида в экстремальных условиях среды. Способность развивать мощную корневую систему и обогащать субстрат азотом благодаря симбиозу с азотфиксирующими бактериями позволяют рекомендовать *M. albus* двулетний в качестве фитомелиоранта при рекультивации золоотвалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2023-0019.

Библиографический список

1. Кожуховский И., Новоселова О. Золошлаки угольных ТЭС – отходы или ценное сырье? // ЭнергоРынок. 2011. № 6 (89). [Электронный ресурс]. – URL: https://www.e-arbe.ru/media_about_us/detail.php?ID=72169, 2014 (дата обращения: 04.03.2024).
2. Гурина И. В. Биологическая рекультивация золоотвала Новочеркасской ГРЭС. Ростов н/Д. : Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2012. 240 с.
3. Суханова Л. В. Медонос донник белый // Пчеловодство. 2012. № 4. С. 18–19.
4. Biological recultivation of fly ash dumps strengthening bioeconomy and circular economy in the Ural region of Russia / N. V. Lukina, E. I. Filimonova, M. A. Glazyrina et al. DOI: 10.1016/B978-0-443-16120-9.00003-05 // Bioremediation and Bioeconomy (Second Edition) : A Circular Economy Approach. Elsevier BV, 2024. Ch. 19. P. 499–527.
5. Ларин И. В. Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР. М. : Сельхозгиз, 1951. С. 611–622.
6. Волкова В. Г. Устойчивость растений в условиях техногенного воздействия щелочного типа // География и природные ресурсы. 1989. № 3. С. 34–39.
7. Чайка Н. И., Гурина И. В. Эколого-мелиоративная и биологическая характеристика корневых систем растений на породных отвалах угольных шахт Донбасса // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 2 (26). С. 50–68.
8. Андрусова Г. М. Селекционная оценка образцов коллекции донника в условиях Восточного Забайкалья : спец. 06.01.05 : дис. ... канд. с.-х. наук. Тюмень, 2005. 145 с.
9. Новоселов С. И., Кузьминых А. Н., Еремеев Р. В. Плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от основной обработки и севооборота // Плодородие. 2019. № 6 (111). С. 22–25.

РЕАКЦИЯ ЯЧМЕНЯ НА ОСМОТИЧЕСКИЙ СТРЕСС В МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ С ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ

А. М. Шеромов¹, Е. В. Товстик^{1,2}, А. С. Олькова¹, О. Н. Шуплецова²
¹ *Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,*
² *Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, tovstik@inbox.ru*

В статье представлены результаты исследования влияния полиэтиленгликоля (ПЭГ) на всхожесть семян, биомассу и полифенольный статус проростков ярового ячменя в рулонной культуре. Установлена зависимость между концентрацией ПЭГ в растворе и исследуемыми параметрами. Увеличение концентрации ПЭГ (2, 3, 4%) приводило к снижению всхожести семян и биомассы проростков, а также к увеличению общего содержания полифенолов и доли их связанных форм в проростках. Результаты указывают на важную роль полифенолов в защите растений от осмотического стресса и могут быть полезны для разработки стратегий улучшения выращивания ячменя в условиях засухи.

Ключевые слова: яровой ячмень, проростки, полиэтиленгликоль, засуха, всхожесть, биомасса, полифенолы.

Засуха является одним из важнейших факторов абиотического стресса, ограничивающих урожайность сельскохозяйственных культур. В то же время засухоустойчивость – параметр скрининга, позволяющий селекционерам улучшать качество зерновых культур [1]. В селекционных программах создания засухоустойчивых сортов используется широкий спектр агрономических, морфологических и физиологических признаков растений [2].

Установлено, что засуха, наравне с другими абиотическими факторами, влияет на все стадии роста и развития растений. Вызванный засухой осмотический стресс в первую очередь ухудшает водный статус клетки, снижает скорость роста или полностью его останавливает [3].

Как правило, растения, различающиеся по устойчивости к стрессам, реагируют на него однотипно, но отличаются скоростью физиологических и структурных перестроек. Повышение устойчивости к абиотическим стрессам часто коррелирует с эффективностью работы антиоксидантной системы [4]. Важную роль в повышении общей антиоксидантной активности и защите клеток растений от окисления и разрушения играют полифенольные соединения [5]. В последние годы полифенолы все чаще рассматривают в качестве биохимических маркеров стрессового состояния растений [6].

Предполагается, что в условиях засухи высокие концентрации растворенных вторичных метаболитов, в том числе полифенолы, в тканях растений могут способствовать осмотической адаптации во время стресса, а затем восстановлению после повторного орошения [7].

Цель работы – оценка биомассы и содержания полифенолов в проростках ячменя, подвергавшихся воздействию временной засухи для выявления наиболее чувствительных реакций и дополнения сведений о механизмах защиты растений от осмотического стресса.

Исследование действия засухи на растения ярового ячменя (сорт Родник Прикамья) проводили в рулонной культуре в соответствии с ГОСТ 12038-84. Перед проведением исследований семена замачивали в дистиллированной воде. Условия засухи моделировали путем введения в дистиллированную воду полиэтиленгликоля (ПЭГ) с молекулярной массой 6000. Выбор ПЭГ в качестве добавки к культивационной среде был обусловлен его способностью увеличивать осмотическое давление [8]. Использовали три уровня массовых концентраций ПЭГ – 2%, 3% и 4%. Контролем служила дистиллированная вода. Повторность опыта трехкратная.

Растения выращивали при комнатной температуре (20 ± 2 °С) в условиях искусственного освещения. Продолжительность эксперимента составила 10 суток.

По окончании опыта учитывали число развившихся семян и массу проростков (сырая биомасса). После высушивания проростки измельчали, экстрагировали 2Н. раствором гидроксида натрия при температуре 80 °С в течение 2-х часов (общее содержание полифенолов), 70%-ым этиловым спиртом при температуре 5 °С в течение 16 ч (свободные полифенолы). Определение содержания полифенолов осуществляли спектрофотометрическим методом. В качестве стандарта использовали галловую кислоту. Результат определения представляли в виде среднего значения и его стандартного отклонения.

В первую очередь, влияние осмотического стресса на растения ячменя, как неотъемлемого последствия засухи, определяли по снижению всхожести семян и биомассе проростков ячменя в сравнении с контролем (рис. 1).

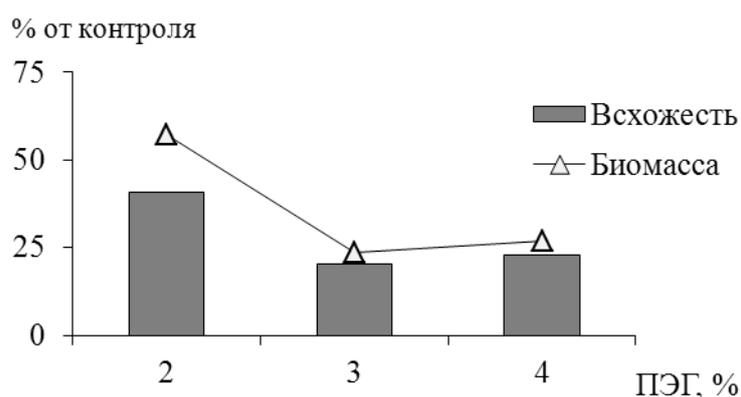


Рис. 1. Изменение морфо-физиологических показателей роста ячменя под действием возрастающих концентраций ПЭГ

С увеличением концентрации ПЭГ в растворе наблюдали общую тенденцию к снижению всхожести семян и биомассы проростков, что могло быть связано с кратковременным (10 суток) гиперосмотическим шоком разного уровня.

Аналогичные результаты описаны в литературе по экспериментам с модельными системами другого типа. Так дефицит воды, созданный в вегетационных сосудах с почвой, привел к снижению сырой массы и длины побегов при интенсификации стрессового фактора [2], изменение минерального питания влияло на изменчивость и корреляцию морфологических признаков у ячменя короткоостого [9]. Наши исследования подтверждают важность оценки морфологических признаков растений в скрининге засухоустойчивых сортов сельскохозяйственных культур, в том числе ячменя.

Морфометрическим изменениям обычно предшествуют биохимические колебания, например, содержание полифенолов, имеющим существенное значение в формировании стрессоустойчивости растений [6].

На следующем этапе наших исследований было зафиксировано закономерное увеличение общего содержания полифенолов в проростках ячменя с ростом концентрации ПЭГ в растворе (рис. 2).

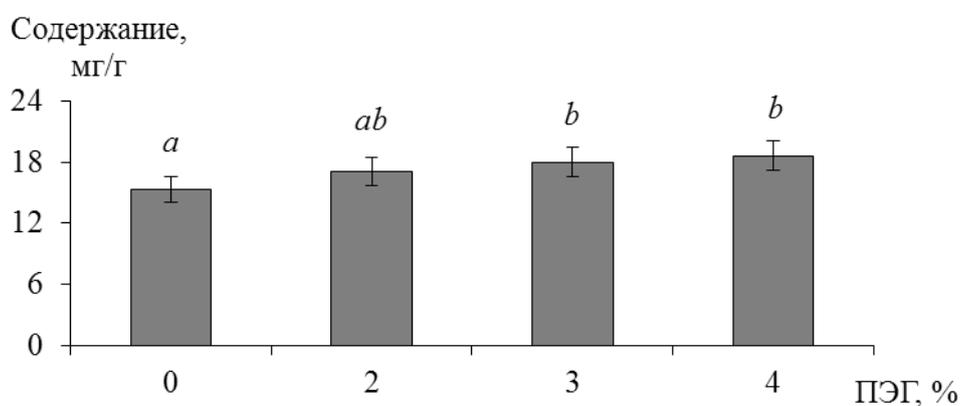


Рис. 2. Изменение общего содержания полифенолов в проростках ячменя под действием возрастающих концентраций ПЭГ

Увеличение содержания полифенолов в условиях засухи можно объяснить их биологической активностью и значимостью в сохранении гомеостаза растительной клетки. Фенольные молекулы считаются сигнальными триггерами, которые приводят к срабатыванию защитных механизмов против атаки активных форм кислорода, действующих как антиоксиданты, и уменьшающих выработку повреждающих клетку оксидантов [10, 11].

Количество связанных полифенолов, как и их суммы, увеличивалось при возрастании концентраций ПЭГ, тогда как содержание свободной полифенольной фракции в проростках ячменя относительно контроля не изменялось (рис. 3).

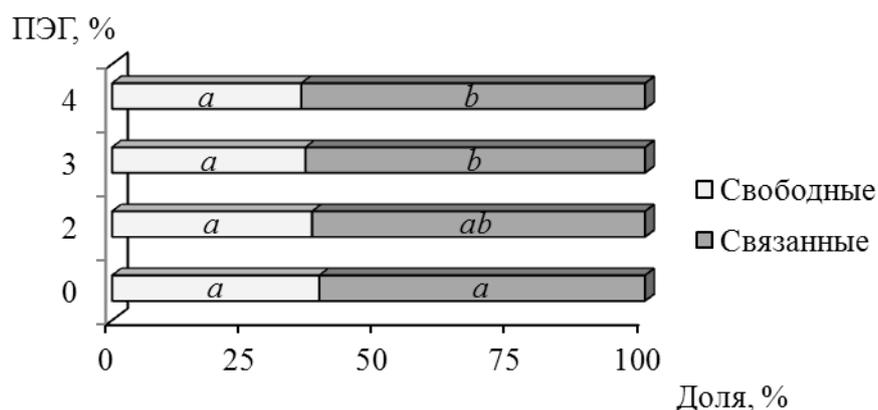


Рис. 3. Соотношение свободных и связанных фракций полифенолов в проростках ячменя под действием возрастающих концентраций ПЭГ

Повышение доли связанных полифенолов подтверждает их участие в инактивации веществ, формирующих осмотический стресс.

Таким образом, осмотический стресс, вызванный засухой в модельной системе с ПЭГ, приводил к снижению всхожести семян и биомассы проростков. При усилении стрессовой нагрузки в растениях возрастало общее содержание полифенолов, в профиле которых закономерно увеличивалась концентрация связанных форм. Проведенные исследования указывают на участие фенольных соединений в защите растений в условиях осмотического стресса.

Библиографический список

1. Левакова О. В. Лабораторный скрининг засухоустойчивости сортов и перспективных линий ярового ячменя и их стабильность урожая в полевых условиях Рязанской области // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4 (36). С. 143–147.
2. Screening of worldwide barley collection for drought tolerance: the assessment of various physiological measures as the selection criteria / K. Cai, X. Chen, Z. Han et al. DOI: 10.3389/fpls.2020.01159 // Front. Plant Sci. 2020. Vol. 11. Article No. 1159.
3. Kuryanchyk T. G., Kozel N. V. Photosynthetic apparatus of barley plants treated with 5-aminolevulinic acid: mechanisms of adaptation to drought. DOI: 10.33581/2957-5060-2022-3-26-38 // Exp. Biol. Biotechnol. 2022. No. 3. P. 26–38.
4. Прудников П. С., Кривушина Д. А., Гуляева А. А. Реакция антиоксидантной системы и интенсивность перекисного окисления липидов *Prunus cerasus* L. в ответ на действие гипертермии // Вестник аграрной науки. 2018. № 1 (70). С. 30–35.
5. *Exiguobacterium oxidotolerans*, a halotolerant plant growth promoting rhizobacteria, improves yield and content of secondary metabolites in *Vasopa monnieri* (L.) Pennell under primary and secondary salt stress / N. Bharti, D. Yadav, D. Barnawal et al. DOI: 10.1007/s11274-012-1192-1 // World J. Microbiol. Biotechnol. 2013. Vol. 29. P. 379–387.
6. Шуплецова О. Н., Товстик Е. В., Щенникова И. Н. Изменение содержания полифенолов в растениях ячменя на стрессовых почвенных фонах. DOI: 10.31857/S2500262723060030 // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 6. С. 15–19.
7. Secondary metabolism and antioxidants are involved in the tolerance to drought and salinity, separately and combined, in Tibetan wild barley / I. M. Ahmed, U. A. Nadira, N. Bibi et al. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.10.003 // Environ. Exp. Bot. 2015. Vol. 111. P. 1–12.

8. Отличия солевого энтерального раствора от фортранса и раствора на основе сорбита [Электронный ресурс]. – URL: https://lavage-global.ru/files/006/564/506/6564506/original/9d4981_f23ed807232b4974854f702974878280.pdf (дата обращения: 23.03.2024).

9. Федорова А. И., Барашкова Н. В. Влияние минерального питания на изменчивость и корреляцию морфологических признаков у ячменя короткоостого (*Hordeum brevisubulatum* (Trin.) Link) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 5. С. 233–237.

10. Acula R., Ravishankar G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. DOI: 10.4161/psb.6.11.17613 // Plant Signaling Behav. 2011. Vol. 6. No. 11. P. 1720–1731.

11. Nichols S. N., Hofmann R. W., Williams W. M. Physiological drought resistance and accumulation of leaf phenolics in white clover interspecific hybrids. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2015.05.014 // Environ. Exp. Bot. 2015. Vol. 119. P. 40–47.

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЧИСТЕЦА БОЛОТНОГО (*STACHYS PALUSTRIS* L.)

А. А. Сивков, Е. В. Рябова

*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, stud162636@vyatsu.ru*

Представлены результаты изучения эколого-географических особенностей чистеца болотного (*Stachys palustris* L.).

Ключевые слова: *Stachys palustris*, ареал, индикаторные значения, шкалы Д. Н. Цыганова, экологические условия.

Stachys palustris L. (чистец болотный) – наиболее типичный представитель семейства Labiatae, обитающий в воде, прибрежной затопляемой и незатопляемой зонах. Это многолетнее травянистое растение, образующее подземные побеги: столоны и клубни [1].

Ареал *S. palustris* охватывает всю территорию Европы, Турции, умеренные районы Азии от Ирана до Китая (рис. 1).

Распространен на восточном побережье и среднем западе США [2]. В Канаде он является сорняком картофеля и корнеплодных культур в Новой Шотландии, Нью-Брансвики и на острове Принца Эдуарда. В южном Онтарио он встречается плотными пятнами на плохо дренированных сельскохозяйственных полях [2].

В Чешской Республике *S. palustris* является проблемным сорняком корнеплодов, включая сахарную свеклу, а также других культур. Это относительно незначительный сорняк посевов сахарной свеклы в Беларуси, а также гороха. Является широко распространенным, но умеренным сорняком, загрязняющим как зерновые, так и корнеплодные посевы в Польше. В Хорватии *S. palustris* был обнаружен в кормовых культурах красного клевера и люцерны [2].

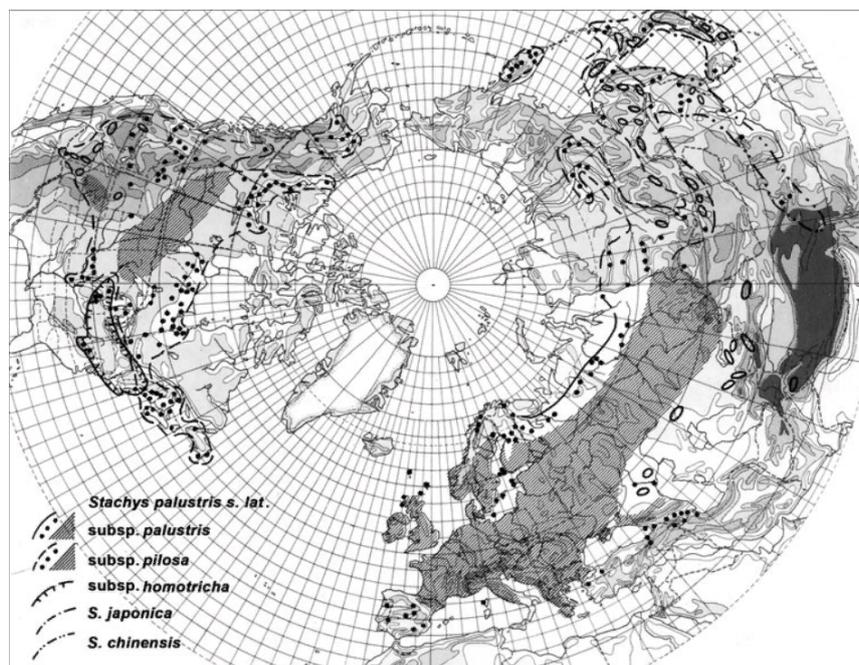


Рис. 1. Распространение *Stachys palustris*
(по: besjournals.onlinelibrary.wiley.com, дата обращения: 23.02.2024 г.)

S. palustris описан на западе Европы и в окрестностях Лондона, широко распространен на Британских островах, но отсутствует на Шотландском нагорье и в некоторых районах Пеннинских гор [2].

В Северной Европе *S. palustris* встречается в естественных местообитаниях в Норвегии почти до полярного круга (чаще вдоль рек), севернее – как заносное; в Финляндии – примерно до 64–65° с. ш. В Восточной Европе (в России) встречается в арктических районах также как заносное или сорное растение [3].

В России этот вид распространен в пределах всей лесной зоны Европейской части, Западной и Восточной Сибири, Закавказья, Средней Азии (рис. 2).

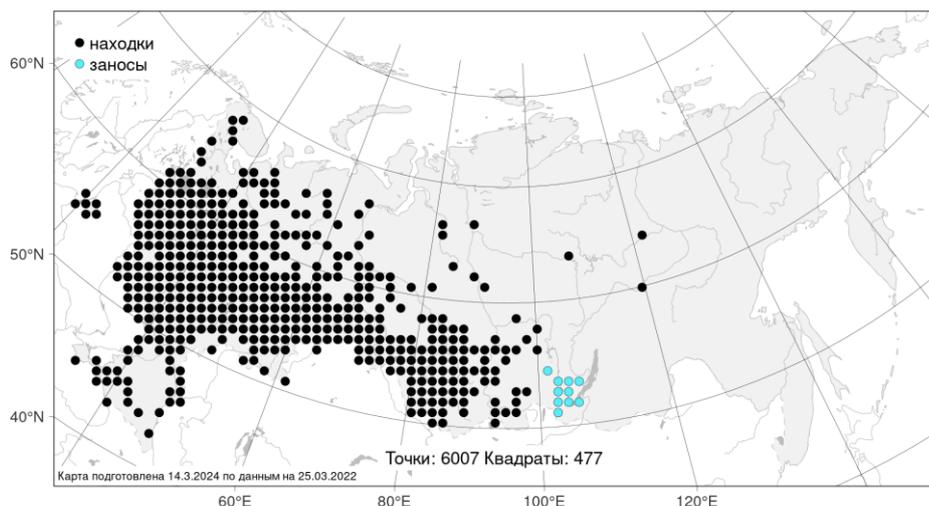


Рис. 2. Распространение *Stachys palustris* в России
по С. В. Дудову [4]

В Мурманской и Архангельской областях, на территории Республики Коми и на Полярном Урале обнаружен на нарушенных местообитаниях. В естественных условиях в Карелии доходит примерно до 63° с. ш., в Архангельской области единично до 65° (Лампожня) – $66^{\circ}11'$ (Мезень), в Республике Коми до $65^{\circ}6'$ (Усть-Уса) [3].

Встречается на болотах Курской и Белгородской областей, как один из наиболее распространенных видов. Отмечен *S. palustris* на болотах и болотистых лугах Ивановской области [5].

На юге Европейской части России встречается в Ростовской, Астраханской областях и Ставропольском крае. На Кавказе распространён в Карачаево-Черкесии, Кабардино-Балкарии и Дагестане. Встречается в Крыму [6].

В Западной Сибири доходит до $66^{\circ}32'$ (Салехард и Лабытнанги) – вдоль рек в прибрежно-водных нарушенных экотопах и вдоль железных дорог. В Восточной Сибири – как заносное (по берегам Енисея на север до Нижней Тунгуски (65° с. ш.)). На Дальнем Востоке на север до Магаданской области как заносное растение. В арктических районах Сибири и Дальнего Востока *S. palustris* не встречается [6].

Согласно полученным данным о местах произрастания этого растения, имеются данные индикаторных значений шкал Д. Н. Цыганова [7]. Значения для этого растения по термоклиматической шкале (Тм) занимают промежуточное положение между показателями режимов субарктического и бореального ($10-20 - 20-30$ ккал/см²год) и субсредиземноморского и средиземноморского ($50-60 - 60-70$ ккал/см²год). По шкале континентальности климата (Кп) он способен обитать в условиях океанического, морского, субматерикового, материкового, субконтинентального, континентального режимов и промежуточных между ними. По омброклиматической шкале аридности-гумидности (Ом) *S. palustris* встречается в условиях от мезоаридного (Р–Е = $-400 - -800$ мм/год) до гумидного климата (Р–Е = $400 - 800$ мм/год), где «Р» означает количество осадков в год, «Е» – величина испарения в год. По криоклиматической шкале (Сг) условия обитания *S. palustris* можно определить, как зимы довольно суровые (средняя температура самого холодного месяца от -16°C до -24°C), так и теплые (средняя температура самого холодного месяца от 0°C до $+8^{\circ}\text{C}$). Согласно шкале увлажнения почвы (Нд), *S. palustris* способен произрастать в условиях, соответствующих влажно-лесолуговой, сыро-лесолуговой, болотно-лесолуговой, болотной зонам, а также промежуточным между ними. Ограничивают распространение вида условия, которые соответствуют промежуточным между сухолесолуговой и влажно-лесолуговой, болотной и прибрежно-водной зонам. По шкале кислотности почвы (Rc) *S. palustris* приурочен к условиям от слабокислых (pH = $5,5-6,5$) до слабощелочных почв (pH = $7,2-8,0$). По шкале богатства почвы азотом (Nt) *S. palustris* характеризуется как растение, способное произрастать на почвах и богатых, и бедных. К солевому режиму почв (Tr) *S. palustris* также довольно нетребователен. Об этом свидетельствует произрастание его на почвах от особо бедных до довольно богатых. Согласно шкале освещенности-затенения

(Lc) растение способно расти как на открытых пространствах, так и в условиях промежуточных между светлыми и тенистыми лесами. По шкале переменности увлажнения почв (fH) *S. palustris* включается в состав от субксерофильной 1-ой до контрастофильной 1-ой свит.

На основании данных индикаторных значений шкал Д. Н. Цыганова [7] построена графическая модель амплитуды экологического ареала *S. palustris* (рис. 3).

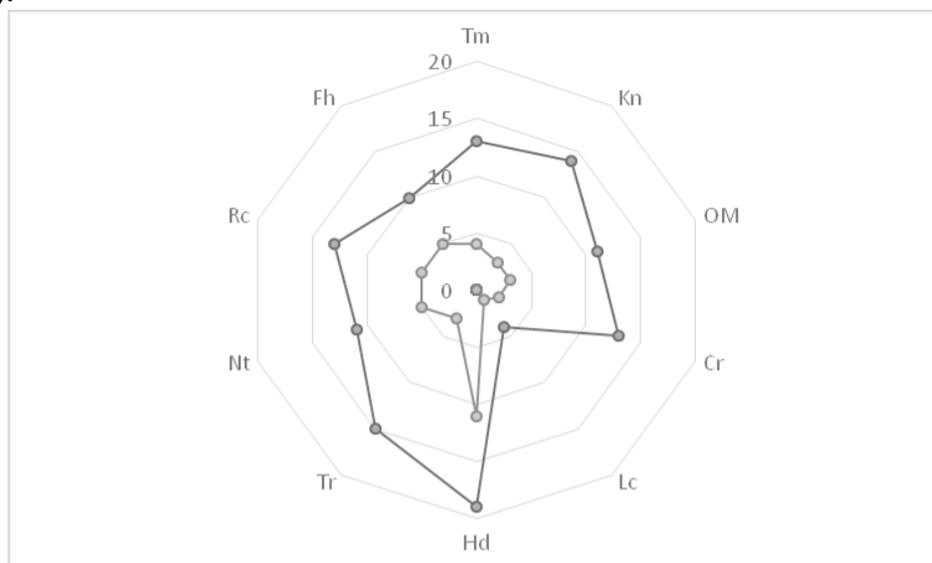


Рис. 3. Графическая модель амплитуды экологического ареала *Stachys palustris* по шкалам Д. Н. Цыганова [7]: внешняя линия показывает максимальные значения шкал, внутренняя линия – минимальные значения

На территории Кировской области встречается очень часто, отмечен во всех районах. Произрастает по берегам водоемов и водотоков, на полях, огородах, насыпях железнодорожных путей, обочинах дорог, сорных и нарушенных местах у построек и вблизи жилья [8].

Для дальнейшего детального изучения экологических условий произрастания *S. palustris*, выявления биотических связей и влияния их на морфогенез растения, выбрано семь пробных площадок с различными условиями обводнения на территории Слободского и Нагорского районов Кировской области.

1. Канавы вдоль дороги в деревню Пушкири Слободского района. Весной во время таяния снега и осенью во время дождей канава частично затапливается, летом воды практически нет. *S. palustris* встречается группами и одиночными растениями.

2. Берег пруда около СНТ «Мелиоратор» в Слободском районе. Прибрежная зона вдоль берега затапливается весной и летом во время сильных дождей.

3. Опушке леса рядом с деревней Коробки Слободского района. Весной и осенью данная местность не затапливается, но почва остаётся влажной из-за близко расположенных к поверхности грунтовых вод.

4. Берег пруда на реке Ужоговица около деревни Озлань Слободского района. Место, где растёт *S. palustris* не затапливается, так как пруд имеет гидротехнические сооружения, контролирующие уровень воды.

5. На берегу реки Белая Холуница Слободского района рядом с бывшим ДОЛ «Орлёнок». *S. palustris* растёт в этом месте по достаточно крутым берегам, которые не затапливаются во время половодья.

6. Место впадение реки Сверчиха в реку Вятка на территории Слободского района. Данная территория затапливается водой до начала июня.

7. Затапливаемые в период паводков участки берега реки Летка в Нагорском районе. Летом вода уходит довольно далеко от мест произрастания *S. palustris*.

На выбранных участках мы планируем описать растительные сообщества, выявить видовой состав сосудистых растений в сообществе, чтобы понимать, в каких условиях и биотических связях находится *S. palustris*. Это позволит выявить жизненную стратегию особей в исследуемых ценопопуляциях. Выявить модельные растения для изучения морфологических особенностей в условиях различного затопления территории. А также оценить воздействия факторов неживой среды на популяционную структуру особей этого вида.

Библиографический список

1. *Stachys palustris* L. // Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/36604.html> (дата обращения: 31.03.2024).

2. The Biology of Canadian Weeds. 153. *Stachys palustris* L. / S. J. Darbyshire, A. Francis, G. A. Mulligan, G. L. Graham. DOI: 10.4141/cjps2013-300 // Can. J. Plant Sci. 2014. Vol. 94. No. 4. P. 709–722.

3. Крестовская Т. В. Конспект типовой секции рода *Stachys* (Lamiaceae) в Старом Свете. DOI 10.31857/S0006813621060077 // Ботанический журнал. 2021. Т. 106. № 6. С. 595–611.

4. Дудов С. В., Серегин А. П. Атлас флоры России [Электронный ресурс]. – М. : МГУ, 2024. – URL: <https://plant.depo.msu.ru/> (дата обращения: 31.03.2024).

5. Борисова Е. А., Шилов М. П., Курганов А. А. Флора и растительность ООПТ Ивановской области «Озеро Шадрино» // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2017. Т. 26. № 3. С. 87–93.

6. Русских И. В. Эколого-биологические особенности представителей родов *Lamium* L. и *Stachys* L. (Lamiaceae) Северо-Западного Кавказа : спец. 03.00.16 : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Краснодар, 2009. 24 с.

7. Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М., 1983. 197 с.

8. Тарасова Е. М. Флора Вятского края. Ч. 2. Сосудистые растения. Киров, 2007. 440 с.

ОСОБЕННОСТИ ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДА КИРОВО-ЧЕПЕЦКА

М. В. Демин, Е. В. Рябова
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, ryapitschi@yandex.ru

Представлены результаты исследования относительного жизненного состояния древесных насаждений на территории города Кирово-Чепецка. Установлено преобладание деревьев второй категории жизненности.

Ключевые слова: дерево, категория состояния.

Загрязнение городской среды оказывает влияние на состояние зелёных насаждений. Повреждения могут проявляться на физиолого-биохимическом уровне, а в дальнейшем могут приводить к развитию видимых симптомов: поражаются ткани листьев хлорозом и некрозом, листовые породы сбрасывают листья раньше окончания вегетационного периода, снижается устойчивость к естественным неблагоприятным факторам среды [1]. Поэтому оценка состояния деревьев и кустарников и степени влияния на них антропогенных факторов становится особенно актуальной [2, 3].

В летний период 2023 г. нами проведены исследования жизненного состояния древесных насаждений на территории лесного массива, находящегося в городе Кирово-Чепецке. Насаждения деревьев изучали при описании пробных площадей (10 × 10) м² на четырех объектах, расположенных около парка отдыха «Лихолесье».

У деревьев определяли класс повреждения и категорию жизненности [4, 5].

Были обследованы следующие виды деревьев: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* Leded.) (69 шт.), пихта сибирская (*Abies sibirica* Leded.) (8 шт.), ель финская (*Picea × fennica* (Regel) Kom.) (19 шт.). Среди изученных экземпляров деревьев 9,375% относятся к первой категории жизненности, 90,625% – ко второй (рис.). Третья категория жизненности выявлена не была.

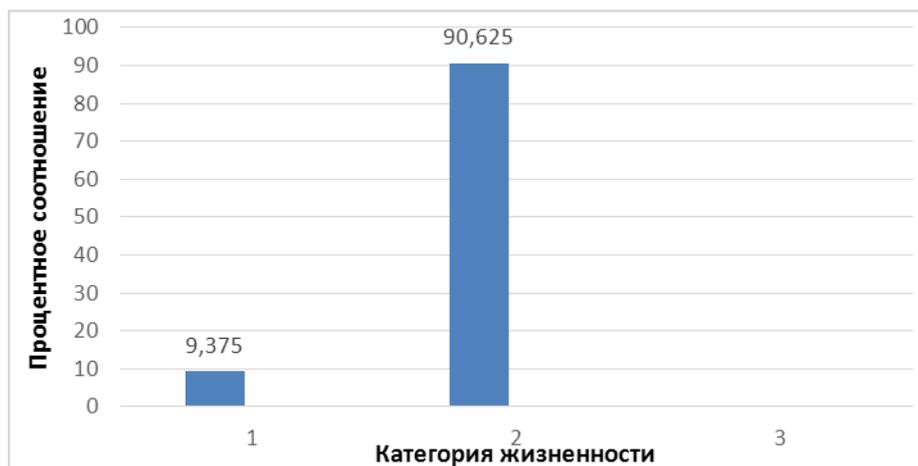


Рис. Категории жизненности деревьев близ города Кирово-Чепецка

У деревьев второй категории отмечено небольшое количество механических повреждений: деформация и наклонность ствола, большое количество сухих сучьев.

Библиографический список

1. Уфимцева М. Д. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. Санкт-Петербург : Наука, 2005. 339 с.
2. Тарасова Н. П. Оценка воздействия промышленных предприятий на окружающую среду / под ред. Н. П. Тарасова. М. : Лаборатория знаний, 2017. 233 с.
3. Прянишников Д. Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. Л. : Изд-во АН СССР, 1945. 197с.
4. Фёдорова Н. Б. Методы и организация мониторинга состояния зеленых насаждений общего пользования в Санкт-Петербурге // Проблемы озеленения крупных городов : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. М. : Примапресс Экспо, 2008. С. 167–169.
5. Методика организации и проведения работ по мониторингу лесов Европейской части России по программе ICP-Forest (Методика ЕЭК ООН). М., 1995. 42 с.

СЕКЦИЯ 8
БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

**BODY SIZE VARIATION IN GROUND BEETLE
CARABUS EXARATUS QUENSEL, 1806 (COLEOPTERA, CARABIDAE)
IN DIFFERENT PARTS OF ITS AREA**

*T. A. Avtaeva*¹, *E. E. Khomitskiy*², *A. S. Zamotajlov*²,
R. A. Sukhodolskaya^{3,4}

¹ *Chechen State Pedagogical University,
Grozny, Russia, avtaeva1971@mail.ru,*

² *Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University”,
Krasnodar, Russia, eugeneexe@mail.ru,*

³ *Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use
of Tatarstan Academy of Sciences,
Kazan, Russia, sukodolskayaraisa@gmail.com,*

⁴ *Kazan State Medical University, Kazan, Russia*

We have compared body size measuring six morphometric traits in the samples of ground beetle *Carabus exaratus* taken from Republic of Chechnya (it is the centre of its area) and Krasnodar Krai, where the species appeared comparably recently. Body size in the last samples was significantly larger. This thesis pushes to further investigations in observed species in its distribution area.

Key words: body size variation, ground beetles, *Carabus exaratus*, floodplains, dispersal area.

Dispersal can be defined as any movement or behaviour with potential consequences for spatial gene flow, which is typically a process of departure from the local environment, movement through a potentially hostile matrix and settlement in a new habitat [1, 2]. During dispersal and range expansion, individuals at the expanding edge or invasion front of a population are subjected to strong selective pressures from novel environments and changes to population density, which can rapidly alter phenotypic traits [3]. As such, individuals at range edges may express different morphological, physiological and behavioural traits that facilitate effective dispersal. For example, highly dispersive individuals (dispersers) have been found to have longer legs relatively to body size [4], larger body size [5, 6] than less dispersive individuals (non-dispersers). Dispersers are a non-random sample of phenotypes in a population that tends to accumulate at the range edge, and they are constrained to mate with other highly dispersive individuals by proximity [1, 3].

In this paper we discuss morphological consequences of the area expansion of species. The object of our investigations – ground beetles *Carabus exaratus* – was considered to be Caucasian endemic. It was distributed from piedmont steppes to subnival zone, was abundant in the floodplain forests of TerskoKumskaya lowland and high mountains steppe sites [7]. But relatively recently that species have been recorded in the lowland areas of the Krasnodar Territory, and since the mid-90s of the last century – in the Rostov region. This is surprising considering that *C. exaratus* is brachioptera. It is believed that such widespread distribution resulted from the development of a system of forest belts which began to be created in the 50s. It was along them, like arteries, that the beetles settled.

We sampled beetles in two distanced regions of Russia: Chechen Republic (three sites at 43° N, 45° E, 25 – 91 m.a.s.l. in the floodplain forests of Chernie Gori region) and Krasnodarskiy Krai (two sites at 44° N, 39° E, 700 m.a.s.l., beach forest and meadow). Later in text these sites will be notes as «Chechnya» and «Krasnodar». Beetles were sampled using pitfall traps. The dried beetles were photographed with a digital camera Nikon D5100 with resolution 16 Megapixels. The measuring was done using «Manual Carabid morphometric measurement for the method by Sukhodolskaya». Initial code of the latter is available under the free – permissive license MIT [8]. The selected specimens were measured by 6 linear characteristics: the elytra length (as distance between posterior end of scutellum and terminus of right elytron), elytra width (as distance between anterior-distal corners of elytra), pronotum length (measured along of central furrow), pronotum width (at the backward edge between back angles), head length (as distance between labrum and juncture of occiput and postgena), head width (between the inner edge of the eyes). In total, 620 specimens were measured.

By most traits, measured beetles from Krasnodar were larger than those from Chechnya (Fig. 1, 2). The exceptions were for elytra width (it was significantly larger in the beetles from Chechnya) and pronotum width (which was similar in the both samples). That thesis coincided with other investigations into carabids. For example, Body size increased in ground beetle *Merizodus soledadinus* from the founder population to successive child populations (femur, thorax, abdomen and head), which may indicate increasing dispersal ability along the colonization history of the species [6]. Additional similar information was presented in relation of ground beetle *Carabus hortensis*. It is noteworthy that the processes took place differently in males and females [5].

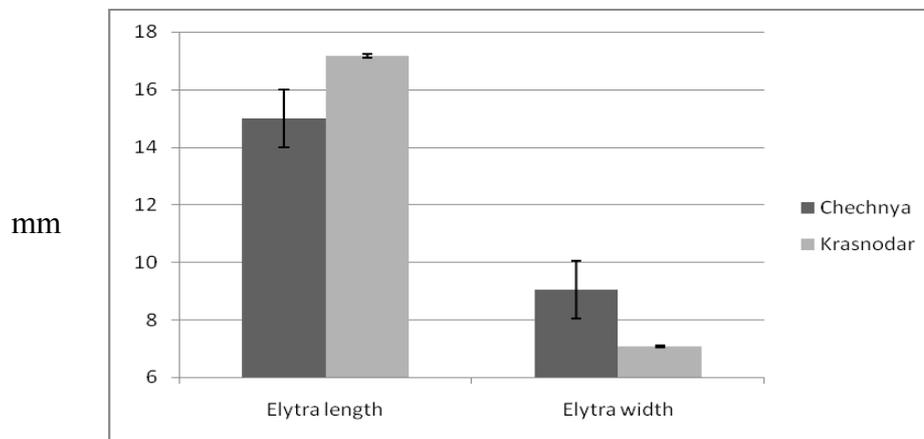


Fig. 1. Elytra parameters in the populations of *C. exaratus*, mm

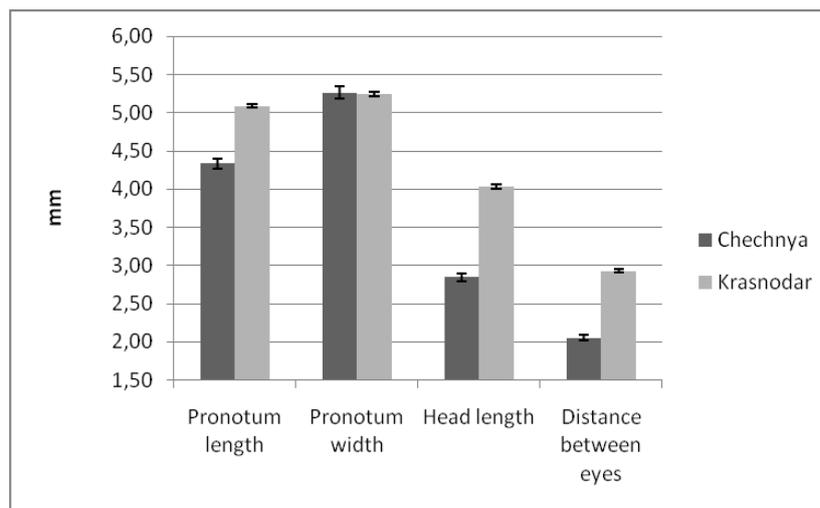


Fig. 2. Morphometric traits value in the populations of *C. exaratus*, mm

So we should try to reveal similar phenomena in the studied populations. The work is undoubtedly important because then we can highlight invasion patterns estimating the spread rate at the distribution margins.

References

1. Dispersal ecology and evolution / J. Clobert, M. Baguette, T. G. Benton, J. M. Bullock. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199608898.001.0001. Oxford : University Press, 2012. 450 p.
2. Ronce O. How does it feel to be like a Rolling Stone? Ten questions about dispersal evolution. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095611 // Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst. 2007. Vol. 38. P. 231–253.
3. Shine R., Brown G. P., Phillips B. L. An evolutionary process that assembles phenotypes through space rather than through time. DOI: 10.1073/pnas.1018989108 // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2011. Vol. 108. No. 14. P. 5708–5711.
4. Invasion and the evolution of speed in toads / B. L. Phillips, G. P. Brown, J. K. Webb, R. Shine. DOI: 10.1038/439803a // Nature. 2006. V. 439 (7078). Article No. 803.
5. Sex differences in morphology across an expanding range edge in the flightless ground beetle, *Carabus hortensis* / E. Yarwood, C. Drees, J. E. Niven et al. DOI: 10.1002/ece3.7593 // Ecol. Evol. 2021. Vol. 11. No. 15. P. 9949–9957.
6. Is dispersal promoted at the invasion front? morphological analysis of a ground beetle invading the kerguelen islands, *Merizodus soledadinus* (Coleoptera, Carabidae) / M. Laparie, D. Renault, M. Lebouvier, T. Delattre. DOI: 10.1007/s10530-012-0403-x // Biol. Invasions. 2013. Vol. 15. No. 8. P. 1641–1648.

7. Avtaeva T. A., Kushalieva Sh. A., Fominikh D. D. Life cycles of ground beetles of the genus *Carabus* Linnaeus, 1758 under natural conditions in the Chechen Republic // Euroasian Entomological Journal. 2017. Vol. 16. No. 4. P. 375–387.

8. Manual carabid morphometric measurement for method by Sukhodolskaya [Internet resource]. – URL: <https://github.com/CRTmatrix/-Manual-Carabidmorphometric-measurement-formethod-by-Sukhodolskaya> (accessed: 03.04.2023).

БИОТОПИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИЧИНОК СЛЕПНЕЙ (DIPTERA, TABANIDAE) В ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В. В. Агасой, В. В. Прокофьев

*Псковский государственный университет,
г. Псков, Россия, agasoi_87@mail.ru*

В статье представлены сведения о биотипической приуроченности личинок слепней на территории Псковской области. Определены биотопы с наиболее благоприятными условиями для развития и обитания личинок табанид. Выделены виды личинок, которые отнесены к стенотопным и эвритопным группам.

Ключевые слова: Tabanidae, личинка, биотоп, стенотопные и эвритопные группы.

Одной из характерных биологических особенностей слепней является их тесная связь с влажными биотопами. В период лёта, который, как правило, приходится на жаркие солнечные дни, имаго табанид нуждается во влаге. Для этого им необходима открытая вода, о поверхность которой слепни с налёта ударяются и улетают с захваченной каплей. Кроме того, самки слепней откладывают яйца компактной кладкой на растениях, расположенных над водой или близ неё. Вылупившиеся из яиц личинки падают в воду или на переувлажнённый субстрат, где и происходит их дальнейшее развитие. Большинство видов личинок слепней принадлежат к хищникам, которые питаются личинками двукрылых насекомых (в том числе и слепней своего вида), моллюсками, червями и т. д. Меньшая часть видов относится к детритофагам, питающихся гниющими остатками органического происхождения. Соответственно, распределяются личинки в субстрате, как правило, неравномерно. Согласно принципу стациональной верности и правилу смены стаций [1] вид обладает своей спецификой, диапазоном требований к среде и в разных зонах выбирает разные экологические ниши с благоприятными для его развития условиями. Поэтому, целью настоящего исследования было установить особенности биотопической приуроченности личинок слепней на территории Псковской области.

Материалом для исследования послужили личинки слепней, собранные в 2011–2020 гг. на территории Псковской области. Сбор личинок проводили в 16 биотопах – берег непроточного эвтрофного водоёма (биотоп 1), низинный

луг (биотоп 2), заброшенная мелиоративная канава (биотоп 3), песчаный берег р. Пскова (биотоп 4), придорожная канава с ивовыми кустарниковыми зарослями (биотоп 5), лесные противопожарные каналы соснового долгомошного леса (биотоп 6), песчано-галечный берег Тёплого озера (биотоп 7), заиленный песчаный берег Тёплого озера (биотоп 8), берега искусственного непроточного водоёма мезотрофного типа (биотоп 9), низинное осоковое болото (биотоп 10), берег водоотводной канавы вдоль автомагистрали (биотоп 11), низинный берег медленнотекущей р. Мирожка (биотоп 12), низинное гипновое болото (биотоп 13), берег проточного эвтрофного оз. Смолинское (биотоп 14), берег мелиоративной канавы на суходольном лугу (биотоп 15), берег проточного эвтрофного оз. Аннинское (биотоп 16). Сбор личинок проводили по методике предложенной К. В. Скуфьиным [2].

С целью определения видовой принадлежности собранных личинок содержали в лабораторных условиях до момента вылета имаго. Всего было выведено 917 имаго из 1093 собранных личинок, которые принадлежали к 17 видам. Видовую принадлежность погибших личинок проводили по хетидным полосам их покровов и особенностям строения ротового аппарата, по признакам как описанным в литературе, так и предложенных ранее нами [3–7]. Среди погибших личинок удалось дополнительно определить 3 вида, не завершивших своё развитие в лаборатории до вылета имаго. Таким образом, всего было исследовано личинок 20 видов слепней.

Максимальное число видов личинок (11) обнаружено в биотопах 1 и 2. При этом, в биотопе 1 преобладали личинки *Hybomitra muehlfeldi*, *H. bimaculata*, *Tabanus maculicornis*, из которых на долю каждого вида приходилось более 10% (от общего числа особей) и в меньшем количестве (5–10%) встречались личинки *Hybomitra lundbecki* и *H. ciureai*. В биотопе 2 доминировали личинки видов *Hybomitra bimaculata*, *H. d. distinguenda*, *H. lundbecki*, *H. muehlfeldi*, *H. ciureai* и в небольшом количестве встречались личинки *Tabanus maculicornis* (8%). Остальные шесть видов слепней отмечены в сборах либо как единичные, либо на их долю приходилось менее 5%. Общими для биотопов 1 и 2 являются девять видов личинок слепней – это *Chrysops viduatus*, *Hybomitra bimaculata*, *H. ciureai*, *H. lundbecki*, *H. muehlfeldi*, *H. nitidifrons confiformis*, *Tabanus bromius*, *T. bovinus* и *T. maculicornis* [7] (табл.).

В биотопе 15 были обнаружены личинки слепней, принадлежащие к девяти видам, из которых доминировали *Chrysops viduatus*, *Hybomitra bimaculata* и *H. ciureai*. В биотопах 5 и 9 отмечено 6 видов личинок, из которых преобладали личинки вида *Hybomitra bimaculata*. В оставшихся биотопах отмечено менее 6 видов личинок (табл.).

Среди собранных личинок можно выделить виды, которые встречаются в большинстве исследованных биотопов. Так, представители вида *Hybomitra bimaculata* и *H. muehlfeldi* обитают в одиннадцати, а *H. ciureai* – в десяти, из исследованных 16 биотопов. При этом, в девяти биотопах развиваются личинки всех трёх видов (табл.).

Некоторые виды личинок были приурочены к определённым биотопам. В частности, личинки *Chrysops relictus* отмечены лишь в 7, *Haematopota pluvialis* в 10, *Tabanus autumnalis* в 13, а *Hybomitra arpadi* в 15 биотопах (табл.).

Таблица

**Биотопическое распределение личинок слепней
на территории Псковской области**

Вид	Количество личинок (экз.)																Всего
	Биотоп																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
<i>Atylotus fulvus</i>	9	–	–	–	–	–	–	–	–	2	–	–	–	–	–	–	11
<i>Chrysops caecutiens</i>	–	–	–	469	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	469
<i>Ch. relictus</i>	–	–	–	–	–	–	85	–	–	–	–	–	–	–	–	–	85
<i>Ch. viduatus</i>	7	1	2	–	2	–	–	–	–	2	–	–	1	–	10	–	25
<i>Haematopota pluvialis</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	1
<i>Hybomitra arpadi</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	1
<i>H. bimaculata</i>	47	13	5	–	4	2	–	–	–	3	1	3	1	1	5	4	89
<i>H. ciureai</i>	21	7	–	–	1	1	–	1	–	1	–	4	8	9	16	6	75
<i>H. distinguenda</i>	–	10	23	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	1	35
<i>H. kaurii</i>	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	2
<i>H. lundbecki</i>	19	9	–	–	3	–	–	1	–	–	–	–	1	–	–	4	37
<i>H. lurida</i>	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	5
<i>H. montana</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	–	2
<i>H. muehlfeldi</i>	72	8	1	1	2	–	–	1	–	1	–	1	3	1	2	2	95
<i>H. nitidifrons confiformis</i>	2	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	4
<i>Tabanus autumnalis</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	1
<i>T. bovinus</i>	2	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4
<i>T. bromius</i>	1	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	4
<i>T. cordiger</i>	–	–	–	77	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	77
<i>T. maculicornis</i>	60	5	2	–	1	–	–	–	3	–	–	–	–	–	–	–	71
Количество личинок	244	59	33	547	13	3	85	4	3	10	1	9	14	12	39	17	1093
Количество видов	11	11	5	3	6	2	1	4	1	6	1	4	5	4	9	5	–

Примечание: биотоп 1 – берег непроточного эвтрофного водоёма, биотоп 2 – низинный луг, биотоп 3 – заброшенная мелиоративная канава, биотоп 4 – песчаный берег р. Пскова, биотоп 5 – придорожная канава с ивовыми кустарниковыми зарослями, биотоп 6 – лесные противопожарные канавы долгомошного соснового леса, биотоп 7 – песчано-галечный берег Тёплого озера, биотоп 8 – заиленный песчаный берег Тёплого озера, биотоп 9 – берег искусственного непроточного водоёма мезотрофного типа, биотоп 10 – низинное осоковое болото, биотоп 11 – берег водоотводной канавы вдоль автомагистрали, биотоп 12 – низинный берег медленнотекущей р. Мирожка, биотоп 13 – низинное гипно-

вое болото, биотоп 14 – проточное эвтрофное оз. Смолинское, биотоп 15 – берега мелиоративной канавы на суходольном лугу, биотоп 16 – проточное эвтрофное оз. Аннинское.

Результаты, полученные в ходе сборов личинок, свидетельствуют о наличии разных биотопов с благоприятными условиями для выплода представителей различных видов слепней. К таким биотопам относятся непроточные водоёмы эвтрофного и мезотрофного типов, проточные озёра эвтрофного, мезотрофного и олиготрофного типов, мелиоративные канавы, берег реки с медленным течением или стоячей водой, берег ручья или реки на низинном лугу, гидрофильные и оксифильные луга, низинное, переходное и верховое болота.

К главным факторам, определяющим распределение личинок слепней, относятся пища, температура среды и содержание кислорода [8]. Поэтому заселённость биотопа личинками слепней определяется, прежде всего, характером и степенью его зарастания и заболачивания, от чего, в свою очередь, зависит состав и разнообразие пищевых объектов, и степень насыщенности среды кислородом.

В районах исследований вдоль суходольных лугов, которые активно использовались в сельском хозяйстве, имеются заросшие мелиоративные канавы. Они заполнены водой, берега покрыты листостебельными мхами и дерновинами осоковых. Здесь обитает большое количество беспозвоночных животных (моллюсков, личинок ручейников и двукрылых) и имеются растительные остатки, которые являются пищей для личинок слепней. Не случайно, что именно здесь нами были отмечены личинки 13 из 20 видов слепней: *Chrysops viduatus*, *Haematopota pluvialis*, *Hybomitra arpadi*, *H. bimaculata*, *H. ciureai*, *H. distinguenda*, *H. kaurii*, *H. l. lundbecki*, *H. lurida*, *H. muehlfeldi*, *H. montana*, *H. nitidifrons confiformis* и *Tabanus maculicornis*.

Благоприятными биотопами для развития личинок слепней служат так же берега непроточных эвтрофных и мезотрофных водоёмов (пруд, озеро и др.). Здесь нами обнаружено 11 видов личинок слепней: *Atylotus fulvus*, *Chrysops viduatus*, *Hybomitra bimaculata*, *H. ciureai*, *H. lundbecki*, *H. lurida*, *H. muehlfeldi*, *H. nitidifrons confiformis*, *Tabanus bovinus*, *T. bromius* и *T. maculicornis*. Кроме того по описаниям других авторов [3, 9] здесь могут встречаться представители видов *Hybomitra arpadi*, *H. distinguenda*, *H. montana* и *Heptatoma pellucens*.

По литературным сведениям, на влажно-разнотравных лугах, обитают личинки, принадлежащие к десяти видам слепней: *Atylotus fulvus*, *Chrysops viduatus*, *Hybomitra arpadi*, *H. bimaculata*, *H. ciureai*, *H. distinguenda*, *H. kaurii*, *H. lundbecki*, *Tabanus bromius* и *T. maculicornis* [3, 9]. Однако, помимо вышеуказанных видов, нами здесь были обнаружены представители *Hybomitra muehlfeldi*, *H. nitidifrons confiformis* и *Tabanus bovinus*, в то время как *Atylotus fulvus* и *Hybomitra arpadi* отсутствовали.

Низинные болота характеризуются благоприятными условиями для развития преимагинальных стадий слепней. Это обусловлено наличием

большого количества кочек и бугров, в которых среди корней сосредотачиваются личинки, и мочажин, имеющих довольно богатый бентос (моллюсков, личинок ручейников и двукрылых). Здесь нами были отмечены личинки, принадлежащие к семи видам: *Atylotus fulvus*, *Chrysops viduatus*, *Haematopota pluvialis*, *Hybomitra bimaculata*, *H. ciureai*, *H. lundbecki* и *H. muehlfeldi*. По литературным данным на Северо-Западе России в низинных болотах дополнительно ещё отмечено 6 видов личинок слепней: *Chrysops rufipes*, *H. montana*, *H. tarandina*, *Tabanus bromius*, *T. maculicornis* и *T. miki* [3].

На берегах проточных озёр, которые были исследованы нами, встречались 6 видов личинок: *Hybomitra bimaculata*, *H. ciureai*, *H. distinguenda*, *H. lundbecki*, *H. muehlfeldi* и *Tabanus autumnalis*. Согласно литературным данным, кроме обнаруженных нами, в этом биотопе встречались такие виды, как *Atylotus fulvus*, *Chrysops relictus*, *C. viduatus*, *C. rufipes*, *T. maculicornis* и *T. miki* [9], которые отсутствовали в наших сборах.

Наименьшее видовое богатство личинок слепней нами было отмечено на берегу реки с медленным течением. Здесь в песчаном грунте были обнаружены личинки слепней лишь двух видов – *Chrysops c. caecutiens* и *Tabanus cordiger*, а в зарослях осок найдена личинка *Hybomitra muehlfeldi*. По сведениям А. С. Лутта [9] на берегу равнинных рек с песчаными берегами и бедной кормовой базой для хищных личинок преобладают сапрофитные личинки слепней рода *Chrysops*. В то же время, реки, берега которых зарастают высшими водными растениями или заболачиваются, в связи с наличием большого количества разнообразных беспозвоночных животных, обладают более благоприятными условиями для обитания хищных личинок рода *Hybomitra* и *Tabanus*. Согласно нашим данным, здесь обитают личинки *Hybomitra bimaculata*, *H. ciureai*, *H. muehlfeldi* и *T. bromius*. В соответствии с литературными данными в этих биотопах также встречаются личинки 10 видов слепней – *Hybomitra arpadi*, *H. muehlfeldi*, *H. montana*, *H. lundbecki*, *Chrysops relictus*, *C. viduatus*, *Tabanus maculicornis*, *T. bromius*, *Haematopota pluvialis* и *H. subcylindrica* [9].

Таким образом, анализ полученных нами сведений о биотопическом распределения личинок слепней в Псковской области позволяет отнести виды *Atylotus f. fulvus*, *Chrysops caecutiens*, *C. relictus*, *Haematopota p. pluvialis*, *Hybomitra arpadi*, *H. montana*, *H. kaurii*, *H. lurida*, *H. nitidifrons confiformis*, *Tabanus autumnalis* и *T. bovinus*, *T. cordiger* к стенотопным, а *C. viduatus*, *Hybomitra muehlfeldi*, *H. bimaculata*, *H. ciureai*, *H. lundbecki* и *T. maculicornis* к эвритопным видам.

Библиографический список

1. Бей-Биенко Г. Я. Смена местообитаний наземными организмами как биологический принцип // Журнал общей биологии. 1966. Т. 27, вып. 1. С. 5–21.
2. Скуфьин К. В. Методы сбора и изучения слепней. Л. : Наука, 1973. 104 с.
3. Лутта А. С., Быкова Х. И. Слепни (сем. Tabanidae) Европейского Севера СССР. Л. : Наука, 1982. 184 с.

4. Андреева Р. В. Определитель личинок слепней. Киев : Наукова Думка, 1990. 172 с.
5. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 4. Двукрылые насекомые / под ред. С. Я. Цалолыхина. СПб. : Наука, 2001. 997 с.
6. Пестов С. В., Долгин М. М. Слепни (Diptera, Tabanidae). (Фауна европейского Северо-Востока России. Слепни. Т. XI, ч. 1). СПб. : Наука, 2013. 190 с.
7. Агасой В. В., Прокофьев В. В. К морфологии личинок слепней (Diptera, Tabanidae) группы *Hybomitra* (s. str.) *bimaculata* Macquart Северо-Запада России // Паразитология. 2022. Т. 56, вып. 1. С. 48–70.
8. Агасой В. В. Биотопическое распределение личинок слепней (Diptera, Tabanidae). Опыт исследования на примере Псковской области, Россия // XI Всерос. диптерологический симпозиум (с междунар. участием) : сб. материалов. (г. Воронеж, 24–29 августа 2020 г.). СПб. : ООО Изд-во «ЛЕМА», 2020. С. 13–17.
9. Лутта А. С. Слепни Карелии. Л. : Наука, Ленинградское отделение, 1970. 304 с.

ШАКАЛ (*CANIS AUREUS*) – ИНДИКАТОР ПАРАЗИТАРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРИХИНЕЛЛАМИ ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Л. А. Букина¹, А. А. Майструк², Л. Б. Халбаева¹

¹ *Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, l.bukina5@gmail.com,*

² *Всероссийский НИИ охотничьего хозяйства и звероводства
имени профессора Б. М. Житкова,
г. Киров, Россия, ursus160@mail.ru*

В статье представлены данные по зараженности шакала личинками трихинелл на территории Краснодарского края. Выявлена зависимость между экстенсивностью инвазии шакала и различными эколого-географическими зонами. Определена его роль как основного резервента трихинелл и индикатора трихинеллезной инвазии.

Ключевые слова: индикатор, трихинеллы, шакал, экспансия, Краснодарский край, мониторинг.

Трихинеллез – природноочаговое зоонозное заболевание, широко распространенное по всему Земному шару. Краснодарский край издавна считается самым напряженным в отношении этого гельминтоза регионом Российской Федерации (РФ), в котором регистрируются вспышки заболеваний среди людей. Основным источником инвазии в условиях Краснодарского края являются дикие плотоядные животные (бурый медведь, дикий кабан, волк, лисица, енотовидная собака, рысь и шакал) Важным звеном в эпизоотологии трихинеллеза являются домашние хищники (собаки и кошки) и синантропные грызуны (крысы и мыши), которые обеспечивают возникновение и поддержание синантропного и природного очагов трихинеллеза [1].

Особый интерес в качестве потенциального хозяина трихинелл представляет в последнее время шакал, численность которого неуклонно растет, что ведет к экспансии этого вида на территории РФ и за рубежом. В России шакал обитает на территории Северо-Кавказского региона – от Каспийского до Азовского морей. Однако в последнее время наблюдается его распространение в соседние области: Ростовскую, Волгоградскую, отмечены встречи животных в Воронежской, Саратовской и Оренбургской областях. Зарегистрированы единичные случаи встреч в Московской и Ленинградской областях, в Вологодской и даже Архангельской областях и совсем недавно на востоке Республики Коми. Распространяется шакал и за пределами России, схожая тенденция наблюдается и в европейских странах. Шакалы в последние десятилетия расширяют свои владения, поднимаясь все севернее. Обитавшие с самого начала в Южной Азии, на Ближнем Востоке, Кавказе и Балканах, к середине прошлого века они освоились в Австрии, Словакии, Италии, Молдавии и на Украине. В последние годы шакалы зафиксированы во всех странах Прибалтики.

На сегодняшний день непонятно каковы будут последствия от внедрения этого вида псовых на состояние экосистем в целом, но одно ясно, что вследствие активного продвижения на север, в той или иной степени будет меняться и его кормовая база.

Основу рациона шакала, конечно же, составляет мясо диких животных, причем абсолютно разных – от птиц и млекопитающих, до пресмыкающихся и даже насекомых. Не брезгует он и растениями, например, на некоторых бахчах в соответствующий сезон можно встретить арбузы и дыни со следами поедания шакалом. Употребляет шакал в пищу и падаль, причем весьма охотно поедает тушки своих же сородичей, иногда оставляемые охотниками на привадах после съема шкуры, зарегистрированы случаи клептопаразитизма [2]. Этого нельзя не учитывать при рассмотрении роли шакала в качестве резервента трихинелл. Уже сейчас можно наблюдать тенденцию к росту зараженности трихинеллами в данном регионе. В прошлом столетии на территории Краснодарского края зараженность шакала была на уровне 33,3%. В XXI веке наблюдается тенденция увеличения зараженности шакала в данном регионе от 11,8% от 100% [3]. В Сербии, по данным разных авторов экстенсивность инвазии шакала варьирует от 16,5 до 61,0% [4, 5]. В Приднестровье зараженность шакала составляет 12,2–25,0% [6].

Учитывая вышеизложенное, существует необходимость проведения систематического мониторинга трихинеллеза шакала, с целью контроля эпизоотической ситуации на территории Краснодарского края.

Цель работы определение показателей зараженности шакала трихинеллами в различных ландшафтно-географических зонах региона.

Биопробы были доставлены из трех ландшафтно-географических зон Краснодарского края: горной (Туапсинский район), предгорной (Северский район) и плавневой (Славянский район). Всего было исследовано 60 особей, у 8 особей не был известен район добычи. Всего просмотрено 187 проб. Выяв-

ление личинок трихинелл из мышечной ткани шакала проводили методом компрессорной трихинеллоскопии. Исследованию были подвергнуты жевательные, подъязычные мышцы и мышцы диафрагмы. Для оценки показателей зараженности шакала использовали следующие параметры: интенсивность инвазии – показатель числа паразитов, приходящихся на одну зараженную особь хозяина (количество личинок в грамме мышечной ткани (лич./г)); экстенсивность инвазии – встречаемость гельминта, ее регистрируют как процент зараженных хозяев конкретным видом гельминта от количества обследованных хозяев. Микроскопирование выполняли с помощью микроскопов МБС 10 (увел. 16–32×) и Микмед 1 (увел. 10–125×). Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием прикладной компьютерной программы Excel. Пороговый уровень статистической значимости брался $p < 0,05$, в выражении $M \pm m$, следует считать: M – среднее, m – ошибка средней.

Результаты проведенных исследований показали, что зараженность шакала в среднем по всем зонам составила 51,67%. Анализ зараженности шакала личинками трихинелл в зависимости от ландшафтно-географических зон позволил выявить некоторые отличия. В горной зоне экстенсивность инвазии была на уровне 71,43%, в предгорной и плавневой зонах по 44,0% и 46,15% соответственно. Расчет средней зараженности произведен с учетом особей, у которых не был известен район добычи. Среди этих животных зараженность составила 50%. Значимых отличий в показателях зараженности по зонам (районам) не выявлено ($p > 0,05$).

Анализ распределения личинок трихинелл по различным группам мышц проводили с учетом ландшафтно-географической зоны. Результаты исследований по зараженности показали, что зараженность шакала по группам мышц в каждой отдельно взятой ландшафтно-географической зоне не имеет значимых отличий, хотя показатели зараженности несколько разнятся (табл.).

Таблица

Распределение личинок трихинелл в поперечно-полосатой мускулатуре шакала (по результатам исследований из трех ландшафтно-географических зон, районов)

Районы	Количество личинок (лич./г ткани)		
	диафрагма	жевательные мышцы	подъязычная мышца
Туапсинский район	7,00±2,86	5,20±1,64	10,60±3,47
Северский район	4,18±1,29	7,45±2,91	12,45±4,12
Славянский район	5,17±3,45	1,50±0,81	2,17±1,64
Среднее	5,44±1,37	5,30±1,38	9,48±2,22

У шакалов из горной и предгорной зон наиболее высокая численность личинок трихинелл выявлена в подъязычных мышцах. Среди шакалов, добытых в плавневой зоне наибольшее количество личинок в мышцах диафрагмы. Сравнение средних величин по группам мышц из различных зон не выявило статистических значимых различий ($p > 0,05$). Проведенный анализ интенсивности инвазии в зависимости от пола также не выявил значимых отличий,

самцы и самки заражены примерно одинаково и распределение личинок трихинелл по группам мышц не имеет достоверных отличий.

Наши данные по показателям зараженности шакалов в зависимости от ландшафтно-географических зон в определенной мере согласуются с данными И. С. Итина, полученными при исследовании шакала в 2010–2014 гг. [3].

Таким образом, несмотря на относительно низкую интенсивность инвазии шакала в исследуемых зонах, показатели экстенсивности инвазии довольно высоки. В последнее время наблюдается тенденция к росту зараженности шакала в сравнение с данными прошлого столетия. Принимая во внимание рост численности популяций шакала по всему его ареалу, способности перемещаться на большие расстояния по широкому спектру ландшафтов и оппортунистический характер питания, считаем, что шакал, может служить в качестве индикатора для выявления новых очагов, оценки современной эпизоотической ситуации и последующего мониторинга трихинеллеза в Краснодарском крае.

Библиографический список

1. Сапунов А. Я., Вагазова З. М., Антонов М. М. Трихинеллез: анализ эпизоотической ситуации и система мер борьбы с ним в Северо-западном регионе Кавказа // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2006. Вып. 7. С. 341–345.

2. Савельев А. П., Майструк А. А. Всеядный хищник-оппортунист, о питании шакала // Биологические науки и биоразнообразие : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский ГАТУ, 2022. С. 63–67.

3. Итин Г. С. Особенности гельминтоценозов диких хищных млекопитающих в ландшафтно-географических зонах Северо-западного Кавказа : спец. 03.02.08: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Краснодар, 2014. 23 с.

4. A large-scale study of the *Trichinella* genus in the golden jackal (*Canis aureus*) population in Serbia / D. Ćirović, V. Teodorović, D. Vasilev et al. DOI: 10.1016/j.vetpar.2015.07.022 // J. Vet. Parasitol. 2015. Vol. 212. No. 3–4. P. 253–256.

5. Trichinella infections in red foxes (*Vulpes vulpes*) and golden jackals (*Canis aureus*) in six districts of Serbia / M. Dmitric, D. Vidanovic, N. Vaskovic et al. DOI: 10.1638/2016-0169.1.PMID: 28920804 // J. Zoo Wildl. Med. 2017. Vol. 48. No. 3. P. 703–707.

6. Голубова Н. А. Эпизоотология трихинеллеза в условиях Приднестровья. DOI: 10.31016/1998-8435-2018-12-4 // Российский паразитологический журнал. 2018. Т. 12. № 4. С. 61–67.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ИХТИОЦЕНОЗА ОЗЕРА АЙДАРКУЛЬ

Е. Н. Гинатуллина, Д. Р. Урманов

*Институт рыбоводства при комитете Ветеринарии Узбекистана,
Янгиюльский район, Ташкентская область, Республика Узбекистан,
e-ginatullina@yandex.ru*

В статье описывается современное состояние структуры ихтиофауны озера-накопителя дренажных вод, и рассматриваются причины, влияющие на ухудшение экологического состояния водоема. К таковым относятся: неустойчивый гидрологический режим, ухудшение гидрохимических параметров, а также неудовлетворительный мониторинг рыболовства со стороны государства.

Ключевые слова: высокая минерализация, структура ихтиоценоза, улов рыбы, сазан, судак, плотва.

Айдар-Арнасайская система озер (ААСО) образовалась в 1969 г. в результате катастрофического сброса воды из Чардарьинского водохранилища на р. Сырдарья в естественное понижение рельефа на крайнем восточном участке пустыни Кызылкум. Озера Арнасай, Тузкан и Айдар соединены между собой, их общая площадь составляет 370 тысяч гектаров, длина 250 км, средняя ширина до 26 км, наибольшая глубина более 20 м. Территория озер имеет природоохранное значение (International Bird Area, Convention on Wetlands, 1971). ААСО – это крупнейший рыбохозяйственный водоем Узбекистана, со времени образования дававший более 60% продукции рыболовства в Республике. Добыча рыбы из ААСО за последние 30 лет варьировала в пределах 0,7–2,4 тонны. После образования ААСО из 25 видов рыб (16 из которых были промысловые), в настоящее время встречается только 9 видов: аральский жерех, карась, сазан, корейская востробрюшка, белый толстолобик, аральская плотва, сом обыкновенный, судак обыкновенный и змееголов [1]. Сейчас улов рыбы основывается на 4 видах: сазане (*Cyprinus carpio*), судаке (*Stizostedion lucioperca*), карасе и плотве (*Rutilus rutilus*). Популяции промысловых рыб скороспелые, созревают за 2–3 года.

Целью исследования было изучение современного состояния популяции рыб и рассмотрение возможных подходов для улучшения состояния рыболовной отрасли на ААСО.

Сбор ихтиологического материала осуществлялся на оз. Айдаркуль в период с августа по октябрь 2023 г. В работе использованы стандартные, общепринятые в ихтиологии методики [2, 3].

В 2023 г. динамика гидрохимических показателей озера Айдаркуль имела определенные тенденции. Водородный показатель среды рН имел значения 7,5 в весенне-летние месяцы; однако, снижался в августе-ноябре до

6,5–6,6. Количество нитритов оставалось очень низким в продолжение всего периода исследований. Минерализация воды была минимальной в феврале-марте – 4,0–4,7 г/л, а с апреля повышалась до 7,0 г/л и осенью становится максимальной – 8,5 г/л. Содержание кислорода в воде было максимальным в марте – 7,3 мг/л, уменьшалось в июне до 6,0 мг/л, и имело минимальные значения осенью – 4,9 мг/л.

В 2023 г. с августа по декабрь в маркированные сети НИИ рыбоводства попались 15 особей судака, 7 плотвы, 6 сазана, 4 карася и 1 белого толстолобика (всего 33 особи). В таблице приведены некоторые морфометрические показатели возраст рыб из оз. Айдаркуль).

Таблица

Зависимость длины тела и массы тела от возраста рыб

Возрастная группа	Длина тела (l), см	Масса тела, г	N, особи
Судак			
1+...3+	24–41	160–820	11
4+	50–52	1640–2300	3
5+	62	3700	1
Плотва			
1+	23–24	240–320	7
Сазан			
1+...2+	20–33	200–820	5
3+	44	1740	1
Карась			
1+...2+	18–25	160–380	4
Белый толстолобик			
1+	33	580	1

В озере Айдаркуль в среднем основными компонентами ихтиоценоза являлись судак (45,0%), плотва (21,0%), сазан (19,0%), карась (12%) и белый толстолобик (3%). Сазан встречается в уловах с марта по сентябрь, сетями ловится реже, чем судак (судак вылавливается круглый год). Сазан в уловах имеет следующий возрастной состав: 1+...3+, и в основном попадает в сети с ячейей № 4,5. Судак, попадает в сети с ячейей № 4,5–5,5, и имеет возрастной состав 1+...5+; максимального возраста судаки 6+, попадают в сети редко, больше всего обнаружено особей возраста 1+...3+. Плотва – малоценная рыба, в прошлом преобладала в уловах – сейчас в уловах сетями (ячейя № 4) преобладают особи возрастом 1+. Карась – малоценная рыба, в уловах отмечены возрастные группы: 1+...2+. Толстолобик встречается очень редко: возраст 1+.

Начиная с 2011 г. доля сазана и плотвы в общем вылове рыбы снижается, а доля судака несколько увеличивается (рис.). Если, в 1991 г. на долю сазана приходилось 44,6% от объема добытой промысловой рыбы ААСО, то к 2023 г. встречаемость сазана в уловах оз. Айдаркуль снизилась больше, чем наполовину. Объясняется это биологическими особенностями судака. Судак – средне-циклическая рыба, достигает половой зрелости в возрасте 2–4 года при стандартной длине тела 29–40 см. Имеет высокую плодовитость 20–500 тыс. икринок, и устойчивость к повышенной минерализации воды. Уловы судака в

год составляют около 500 т (вторые по величине после плотвы); с 2015 г. запасы судака в системе не долавливаются [4].

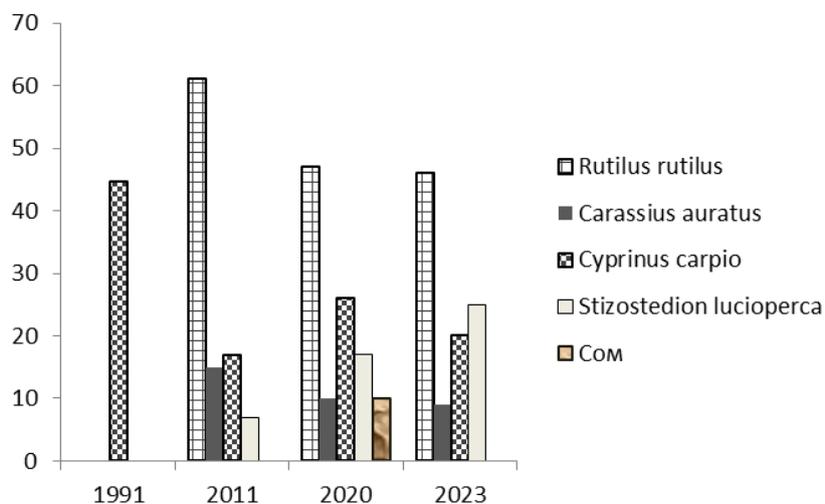


Рис. Процентное соотношение промысловых видов в уловах ААСО; данные адаптировали у авторов за 1991 г. [5], за 2011 г. [6], за 2020 г. [7], за 2023 г. (наши данные)

Структура видового состава рыб в оз. Айдаркуль имеет большую вариабельность, чем вариабельность индексов количества вылавливаемой рыбы. Так, за последние три десятилетия в уловах заметно снизилась добыча сазана, и увеличилась доля судака, а такие виды как белый толстолобик и сом единичны в уловах; при этом количественные показатели уловов остаются более-менее стабильными. Общая картина структуры ихтиоценоза в оз. Айдаркуль не может оставаться относительно стабильной, из-за влияния, как экологических, так и социальных факторов.

На смену видового состава рыб в оз. Айдаркуль в первую очередь влияет отсутствие стабильного гидрологического и гидрохимического режима озера Айдаркуль. Сильное воздействие на сектор рыбоводства в Узбекистане оказывают другие пользователи водных и земельных ресурсов. В настоящее время поступление воды в Айдар-Арнасайскую озерную систему происходит, в основном, благодаря притоку коллекторно-дренажных вод с минерализацией 2–3 г/л. Коллектора являются главными распределятелями озерной системы, образуя при впадении зоны с пониженной минерализацией. Но такая вода нужна системе ежегодно в очень большом количестве – 41,3 км³, так как из-за неустойчивого гидрологического режима и сильного испарения в летнее время, в маловодные годы, происходит падение уровня воды, которое сопровождается увеличением минерализации. Следствием этого является сокращение ареала естественного воспроизводства карповых видов рыб [8].

Этот факт ограничивает развитие рыболовства, особенно это проявляется в ухудшении воспроизводства рыб из-за повышения уровня минерализации в озерах-накопителях. В оз. Айдаркуль в течение 2023 г. минерализация воды достигала осенью 8,5 г/л. Постепенное увеличение минерализации воды до 10

г/л [9] и выше вызывает глубокую адаптационную перестройку организма сеголетков карповых рыб, требующую значительных энергетических затрат.

Другой причиной смены видового состава рыб является общая экологическая ситуация.

В водоемах-накопителях, каким является оз. Айдаркуль, коллекторно-дренажной сети, одновременно с повышением уровня минерализации происходят процессы органического загрязнения и биогенной нагрузки. С одной стороны, так предотвращается уровень загрязнения подземных вод в Республике, а с другой стороны постепенное повышение уровня минерализации превращает озера-накопители в солончаки. При повышении минерализации воды от 11 до 18 г/л происходит снижение процессов самоочищения, что приводит к стрессовому состоянию экосистемы дренажных озер [10]. В оз. Айдаркуль содержание кислорода в поверхностном слое воды было минимальным осенью – 4,9 мг/л. Понижение количества кислорода в осенне-зимний период приводит к замору большого количества сазана, залегающего на зимовку в «ямы» водоема, глубины которого иногда превышают 20 м.

Слабо развитая инфраструктура рыболовства вызывает необходимость к привлечению инвесторов в этот сектор. Сейчас проблемы развития рыболовства Айдар-Арнасайской системе озер базируются на том, что большая площадь системы озер создает сложности в технологии ее управления. На всей акватории существует десяток-другой мелких частных рыболовецких предприятий, для которых необходимо ввести хорошо управляемый промысловый режим, чтобы решить задачу, как зарыбления, так и поступления необходимого количества более пресной воды в систему озер. Государство должно регулировать и обеспечивать выполнение этих процессов.

Таким образом, управление рыболовством во внутренних рыбохозяйственных водоемах Узбекистана должно осуществляется/контролироваться государством и требует к себе применения экосистемного подхода. Необходимо вести постоянный мониторинг за гидробиологическими и ихтиологическими объектами; для этого разработать и внедрить современные и эффективные методы получения, передачи и обработки статистической информации от рыбаков. После получения объективной информации о состоянии ихтиофауны, перевести вылов рыбы на квотную основу. Рассчитать нормативы зарыбления, основываясь на материалах о кормности водоема по многолетним показателям биомассы зоопланктона и бентоса. Кроме того необходимо создание рыбопитомника по искусственному воспроизводству рыбы на территории пресноводного Арнасайского водохранилища.

Библиографический список

1. The current state of hydrobionts of the Aydar-Arnasay system of lakes / Z. A. Mustafayeva, S. M. Namozov, N. O. Titova, J. J. Sobirov. DOI: 10.47750/pnr.2022.13.S06.452 // J. Pharm. Negat. Results. 2023. Vol. 13. No. 6. P. 3377–3387.
2. Чугунова Н. И. Руководство по изучению возраста рыб. М. : Изд-во АНССР, 1959. 165 с.

3. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М. : Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
4. Дехконова Д. Р. Морфо-экологические особенности судака *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) в Айдаро-Арнасайской системе озер : спец. 06.02.03: автореф. дис. ... д-ра философии по биол. Ташкент, 2023. 20 с.
5. Пути повышения рыбопродуктивности Айдар-Арнасайской системы озер / Э. Ш. Гафуров, У. Т. Мирзаев, В. Н. Хегай и др. // Проблемы охраны и рационального использования биологических ресурсов водных объектов Узбекистана : материалы республиканского науч.-практ. совещания. Ташкент, 2001. С. 26–29.
6. Экспедиционное обследование Айдар-Арнасайской системы озер в период с 21 сентября по 5 октября 2011 г. : отчет / И. Беликов, О. Эшчанов, Е. Рощенко и др. Ташкент : НИЦ МКВК, 2011. 77 с.
7. Озеро Айдаркуль – современное состояние водных биоценозов / З. А. Мустафаева, А. К. Куватов, Н. Я. Азизов, У. Т. Мирзаев // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021 № 2 (58). С. 5–14.
8. Ginatullina E. N., Kurbanov A. R., Tychiev K. S. Influence of environmental factors on the formation of zooplankton communities in a large lake system in Uzbekistan // E3S Web of conferences. 2023. Vol. 407. Article No. 01004.
9. Мартынова В. В. Влияние колебания солености на рост, энергетику и рыбоводные качества молоди рыб : спец. Ихтиология: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саранск, 2003. 26 с.
10. Тальских В. Н. Экологические модификации биоценозов трансформированных водных экосистем региона Центральной Азии в условиях засухи // Изменение климата, причины, последствия и меры адаптации. Ташкент : Узгидромет: ЮНЕП, 2015. Бюлл. № 9. С. 53–63.

ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФИТОПРЕПАРАТОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ПОЧВЕННОЙ НЕМАТОДОЙ *CAENORHABDITIS ELEGANS*

А. В. Егорова, А. Ф. Гатиятуллина, Т. Б. Калининкова
*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, г. Казань, Россия, tbkalinnikova@gmail.com*

Приведен обзор научной литературы, посвященной использованию почвенной нематоды *Caenorhabditis elegans* для изучения биологической активности экстрактов и соков растений и выделенных из них отдельных компонентов.

Ключевые слова: *Caenorhabditis elegans*, экстракты растений, соки растений, эфирные масла, биологически активные вещества.

Свободноживущая почвенная нематода *Caenorhabditis elegans* в настоящее время является одной из наиболее привлекательных моделей для изучения биологической активности растительных препаратов. Привлекательность *C. elegans* как модельного организма определяется простотой и дешевизной ее выращивания в лаборатории. Короткий жизненный цикл (нематода достигает половой зрелости за три дня), высокая плодовитость (до 300 потомков от

одной особи) и компактность культуры (нематод выращивают в чашках Петри) позволяет содержать в лаборатории большое количество линий *C. elegans* и использовать в эксперименте практически неограниченное количество особей одного возраста [1]. Изученность функций отдельных клеток и наличие большого количества мутантных линий позволяет изучать механизмы действия токсикантов и лекарственных средств. Организм *C. elegans* по своему строению, физиологии и нейрохимии сходен с организмами паразитических нематод, и поэтому успешно используется для изучения механизмов действия многих лекарственных средств [1–2]. При этом эксперименты с *C. elegans* абсолютно безопасны для исследователя.

Для оценки биологической активности веществ в экспериментах с *C. elegans* используют такие показатели, как продолжительность жизни; скорость развития; скорость локомоции и нарушения локомоции; частота сокращений глотки как отражение пищевого статуса; способность к откладке яиц и количество потомков; образование реактивных форм кислорода в ответ на стрессовые воздействия; определение содержания липидов для оценки нарушений метаболизма и некоторые другие [3]. При этом время получения результата в экспериментах с *C. elegans* существенно меньше, чем при использовании других модельных организмов. Благодаря возможности получения результата в относительно короткие сроки *C. elegans* используется для оценки биологической активности и стандартизации не только синтетических лекарственных средств, но и препаратов, полученных из растительного сырья.

Нематоцидная активность экстрактов растений в экспериментах *in vitro* с *C. elegans*. Экстракты, полученные из различных частей *Picria fel-terrae*, *Linnaria bicolor*, *Lansium domesticum* и *Tetracera acara* в концентрации 1 мг/мл снижали выживаемость личинок и взрослых особей *C. elegans* на 36–85% [4]. Эфирное масло кожуры цитрона пальчатого *Citrus medica* в концентрации 2,0 мг/мл приводило к гибели 88% *C. elegans* после 24-часовой инкубации. Предварительная обработка *C. elegans* эфирным маслом *Citrus medica* в этих же концентрациях повышала чувствительность нематод к окислительному стрессу, вызванному бихроматом калия [5]. Ацетоновый и дихлорметановый экстракты листьев вечнозеленого дерева *Curtisia dentata* в концентрации 0,63–2,5 мг/мл приводили к гибели 80% личинок *C. elegans* после 7-дневной экспозиции. Выделенные из дихлорметанового экстракта люпеол, бетулиновая кислота и урсоловая кислота в концентрации 200 мкг/мл вызывали обездвиживание 90% личинок *C. elegans* после двух часов инкубации [6]. Водный и метанольный экстракты *Guiera senegalensis* в концентрации 0,2–2,0 мг/мл подавляли локомоцию личинок *C. elegans* [7]. Водные экстракты листьев *Psidium guajava* (5–25 мг/мл) и цветков *Tagetes erecta* (1–25 мг/мл) вызывали дозозависимую гибель *C. elegans* через 4 и 2 часа соответственно. Плодовитость *C. elegans* снижалась на 60 и 35% соответственно после 1-часовой экспозиции к экстрактам *Tagetes erecta* и *Psidium guajava* в концентрации 25 мг/мл [8]. Высоким нематоцидным потенциалом обладают экстракты листьев паслена черного *Solanum nigrum* и мяты полевой *Mentha arvensis*,

полученные с использованием метанола, этилацетата, хлороформа, н-гексана и дистиллированной воды в качестве экстрагентов [9]. Негативное действие на организмы *C. elegans* оказывали метанольный, этанольный, ацетоновый и водный экстракты корней и листьев щавеля курчавого *Rumex crispus* [10]. Сок чеснока *Allium sativum* в концентрации 2,5–10% вызывал дозозависимые изменения поведения *C. elegans*, сходные с теми, которые наблюдаются при действии ингибитора ацетилхолинэстеразы алдикарба и агониста никотиновых рецепторов ацетилхолина левамизола. Предварительное замораживание сока *Allium sativum* и хранение его в течение 6 суток при температуре –18 °С увеличивало его токсичность на 100%. Эффективность токсического действия сока *Allium sativum* на организм *C. elegans* увеличивалась и при умеренном повышении температуры с 22 до 31°С [11]. Этанольный экстракт надземных частей щитовника мужского *Dryopteris filix-mas* в концентрации 62,5–250 мкг/мл вызывал гибель 29–41% *C. elegans* за 24 часа. Нематоцидная активность экстрактов корней и корневищ этого папоротника зависела от способа получения экстракта [12]. В экспериментах с *C. elegans* [13] была показана высокая нематоцидная активность α -тертиенила, выделенного из корней бархатцев *Tagetes* spp. Экспозиция *C. elegans* к 25 мкМ α -тертиенила в течение 48 и 72 часов вызывала гибель 55 и 90% особей соответственно. Этанольные экстракты трех видов полыни (*Artemisia annua*, *A. dracuncululus* и *A. santonica*) в концентрации 31,25–1000 мкг/мл вызывали дозозависимую гибель *C. elegans* при 24-часовой инкубации. Мутантный анализ показал наличие в экстракте *A. annua* веществ, действующих на GAR-1 и GAR-2 мускариновые рецепторы *C. elegans* и никотиновый рецептор N-субтипа [14]. Инкубация *C. elegans* в течение 24 часов с экстрактами плодов можжевельника *Juniperus communis* в концентрации 0,05% вызывала гибель нематод. Этанольный и ацетоновый экстракты плодов первого года созревания приводили к гибели 91,5 и 96,5% нематод соответственно, в то время как при действии экстрактов плодов второго года созревания погибали всего 31,5% (этанольный экстракт) и 20,0% (ацетоновый экстракт) *C. elegans* [15].

Антиоксидантное и геропротекторное действие фитопрепаратов на *C. elegans*. Выращивание *C. elegans* в среде с 50 мМ глюкозы сокращало продолжительность жизни на 31% по сравнению с нематодами, выращенными в среде без глюкозы. Добавление в среду выращивания 50 мкг/мл экстракта алойного дерева *Aquilaria crassna* увеличивало продолжительность жизни нематод на 41%. Помимо этого, экстракт *A. crassna* снижал негативное влияние глюкозы на плодовитость и размер тела *C. elegans* [16]. Водный экстракт *Polygonum multiflorum* увеличивал продолжительность жизни *C. elegans* и повышал устойчивость нематод к окислительному стрессу [17]. Метанольный экстракт листьев тропического растения *Caesalpinia mimosoides* увеличивал продолжительность жизни *C. elegans* и повышал выживаемость нематод в условиях окислительного стресса, вызванного юглоном [18]. Экстракты семи видов растений, используемых в традиционной китайской медицине (*Eucommia ulmoides*, *Cuscuta chinensis*, *Ligustrum lucidum*, *Poria cocos*, *Schi-*

sandra chinensis, *Astragalus membranaceus* и *Achyranthes bidentata*) увеличивали продолжительность жизни *C. elegans*, повышали устойчивость нематод к тепловому стрессу и патогенной бактерии *Photobacterium luminescens* [19]. Выделенный из метанольного экстракта листьев листопадного дерева *Dolichandrone atrovirens* метил циннамоил каталпол обладал антиоксидантной активностью и повышал устойчивость *C. elegans* к тепловому стрессу [20]. Выделенные из экстракта *Ginkgo biloba* кемпферол и кверцетин и биоханин А из экстракта *Trifolium pratense* увеличивали продолжительность жизни *C. elegans* на 31%, 42 и 45% соответственно [21].

C. elegans благодаря простоте строения тела, короткому жизненному циклу и высокой скорости размножения является полезной моделью для изучения биологической активности и механизмов действия лекарственных препаратов растительного происхождения. Этот организм может использоваться для скрининга фитопрепаратов и подтверждения их эффективности до изучения в экспериментах с теплокровными животными. Теоретическое обоснование биологической активности препаратов растительного происхождения и ее подтверждение в экспериментах с *C. elegans* открывает широкие возможности для создания новых эффективных и безопасных лекарственных средств.

Библиографический список

1. Brenner S. The genetics of *Caenorhabditis elegans*. DOI: 10.1093/genetics/77.1.71 // Genetics. 1974. Vol. 77. P. 71–94.
2. Corsi A. K., Wightman B., Chalfie M. A transparent window into biology: A primer on *Caenorhabditis elegans*. DOI: 10.1895/wormbook.1.177.1 // Wormbook. 2015. [Internet resource] – URL: http://www.wormbook.org/chapters/www_celegansintro/celegansintro.html. (accessed: 12.03.2024).
3. *Caenorhabditis elegans* as a powerful tool in natural product bioactivity research / N. M. Ha, S. H. Tran, Y.-H. Shim, K. Kang. DOI: 10.1186/s13765-022-00685-y // Appl. Biol. Chem. 2022. Vol. 65. Article No. 18.
4. Enhancing a search for traditional medicinal plants with anthelmintic action by using wild type and stress reporter *Caenorhabditis elegans* strains as screening tools / R. Kumarsingha, E. A. Palombo, M. Bhave et al. DOI: 10.1016/j.ijpara.2014.01.008 // Int. J. Parasitol. 2014. Vol. 44. P. 291–298.
5. Piao X. X., Sun M., Yi F. Evaluation of nematocidal action against *Caenorhabditis elegans* of essential oil of flesh fingered citron and its mechanism. DOI: 10.1155/2020/1740938 // J. Chem. 2020. Vol. 2020. Article No. 1740938.
6. *Curtisia dentata* (Cornaceace) leaf extract and isolated compounds inhibit motility of parasitic and free-living nematodes / L. J. Shai, E. S. Bizimenyera, V. Bagla et al. DOI: 10.4102/ojvr.v76i2.49 // Onderstepoort J. Vet. Res. 2009. Vol. 76. No. 2. P. 249–256.
7. *In vitro* assessment of deworming potential of *Guiera senegalensis* in Nigerian ethnoveterinary industry using *Caenorhabditis elegans* / H. A. Gagman, H. Ahmad, N. A. I. I. N. Him, S. W. Avicor. DOI: 10.1186/s42269-021-00689-6 // Bull. Natl. Res. Cent. 2022. Vol. 46. Article No. 3.
8. Anthelmintic effect of *Psidium guajava* and *Tagetes erecta* on wild-type and Levamisole-resistant *Caenorhabditis elegans* strains / D. M. Piña-Vázquez, Z. Mayoral-Peña, M. Gómez-Sánchez et al. DOI: 10.1016/j.jep.2017.03.004 // J. Ethnopharmacol. 2017. Vol. 202. P. 92–96.

9. Nematicidal characterization of *Solanum nigrum* and *Mentha arvensis* using *Caenorhabditis elegans* as a model organism / N. U. Khan, M. Sajid, S. Bibi et al. DOI: 10.1021/acsomega.2c08124 // ACS Omega. 2023. Vol. 8. P. 9454–9463.
10. Idris O. A., Wintola O. A., Afolayan A. J. Anthelmintic potency of *Rumex crispus* L. extracts against *Caenorhabditis elegans* and non-targeted identification of the bioactive compounds. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.09.026 // Saudi J. Biol. Sci. 2022. Vol. 29. No. 1. P. 541–549.
11. Soil nematode *Caenorhabditis elegans* Maupas as a convenient model organism to study anthelmintic activity of plant extracts / A. Egorova, R. Kolsanova, A. Nigmatullina et al. DOI: 10.1051/e3sconf/202017602002 // E3S Web Conf. 2020. Vol. 176. Article No. 02002.
12. Nematicidal activity of extracts from the male fern *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott (1834) in experiments with free-living soil nematode *Caenorhabditis elegans* Maupas (1900) / A. V. Egorova, A. F. Gatiyatullina, D. A. Terenzhev et al. // Ferns: growth, diversity and ecological importance / Eds. S. K. Srivastava, G. P. Srivastava. NY : Nova Science Publishers Inc., 2023. P. 79–104.
13. Nematicidal action of the marigold exudate α -terthienyl: oxidative stress-inducing compound penetrates nematode hypodermis / T. Hamaguchi, K. Sato, C. S. L. Vicente, K. Hasegawa. DOI: 10.1242/bio.038646 // Biol. Open. 2019. Vol. 8. No. 4. Article No. bio038646.
14. Five different *Artemisia* L. species ethanol extracts' phytochemical composition and their antimicrobial and nematocide activity / E. Nikitin, I. Fitsev, A. Egorova et al. DOI: 10.3390/ijms241814372 // Int. J. Mol. Sci. 2023. Vol. 24. No. 18. Article No. 14372.
15. Comparative analysis of chemical profile and biological activity of *Juniperus communis* L. berry extracts / T. Belov, D. Terenzhev, K. N. Bushmeleva et al. DOI: 10.3390/plants12193401 // Plants. 2023. Vol. 12. No. 19. Article No. 3401.
16. *Aquilaria crassna* leaf extract ameliorates glucose-induced neurotoxicity *in vitro* and improves lifespan in *Caenorhabditis elegans* / N. Pattarachotanant, N. Sornkaew, W. Watayanon et al. DOI: 10.3390/nu14173668 // Nutrients. 2022. Vol. 14. No. 17. Article No. 3668.
17. *Polygonum multiflorum* extract exerts antioxidative effects and increases life span and stress resistance in the model organism *Caenorhabditis elegans* via DAF-16 and SIR-2.1 / C. Saier, C. Büchner, K. Koch, W. Wätjen. DOI: 10.3390/plants7030060 // Plants. 2018. Vol. 7. No. 3. Article No. 60.
18. Leaf extract of *Caesalpinia mimosoides* enhances oxidative stress resistance and prolongs lifespan in *Caenorhabditis elegans* / P. Rangsinth, A. Prasansuklab, C. Duangjan et al. DOI: 10.1186/s12906-019-2578-5 // BMC Complement. Altern. Med. 2019. Vol. 19. Article No. 164.
19. Enhanced healthspan in *Caenorhabditis elegans* treated with extracts from traditional Chinese medicine plants *Cuscuta chinensis* Lam. and *Eucommia ulmoides* Oliv. / S. M. A. Sayed, K. Siem, C. Schmitz-Linneweber et al. DOI: 10.3389/fphar.2021.604435 // Frontiers in Pharmacology. 2021. Vol. 12. Article No. 604435.
20. Evaluation of a natural compound extracted from *Dolichandrone atrovirens* as a novel antioxidant agent using *Caenorhabditis elegans* / M. L. Yellurkar, V. Singh, V. S. Prasanna et al. DOI: 10.1371/journal.pone.0257702 // PLoS ONE. 2021. Vol. 16. Article No. e0257702.
21. Effects of bioactive substances isolated from Siberian medicinal plants on the lifespan of *Caenorhabditis elegans* / E. R. Faskhutdinova, A. S. Sukhikh, V. M. Le et al. DOI: 10.21603/2308-4057-2022-2-544 // Foods and Raw Materials. 2022. Vol. 10. P. 340–352.

ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СУПЕРНАТАНТОВ БАКТЕРИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ПОЧВЕННОЙ НЕМАТОДОЙ *CAENORHABDITIS ELEGANS*

А. В. Егорова¹, А. Ф. Гатиятуллина¹, Т. Б. Калининкова¹,
М. Д. Фролов², Е. Ю. Шульга², Б. Р. Исламов², Ш. З. Валидов²

¹ Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, г. Казань, Россия,
tbkalinnikova@gmail.com,

² Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр
Российской академии наук, г. Казань, Россия

В экспериментах со свободноживущей почвенной нематодой *Caenorhabditis elegans* показано токсическое действие супернатанта бактерий *Bacillus zanthoxyli* АК76 на нематод линии дикого типа и двух линий, устойчивых к нематоцидному препарату ивермектину.

Ключевые слова: *Caenorhabditis elegans*, антигельминтные препараты, супернатанты бактерий, ивермектин.

Нематоды, паразитирующие на растениях, широко распространены в природе. Эти нематоды оказывают негативное влияние на продуктивность растениеводства. Ежегодный ущерб, причиняемый фитопатогенными нематодами, по разным оценкам составляет от 12 до 25% общей продуктивности мирового растениеводства [1]. В настоящее время основным методом защиты растений от вредителей является использование химических пестицидов. Химические средства защиты растений обладают высокой эффективностью, они удобны в применении и дают быстрый эффект при уничтожении вредителей. При этом следует иметь в виду, что пестициды токсичны для окружающей среды, представляют опасность для сельхозпроизводителей и конечных потребителей и могут вызывать гибель беспозвоночных, не являющихся вредителями растений. Поэтому необходим поиск альтернативных, безопасных для человека и окружающей среды, методов защиты растений от вредителей [1–4]. Одним из таких подходов может быть использование микроорганизмов и их метаболитов. Борьба с фитопатогенными нематодами осложняется тем, что, в отличие от большинства других беспозвоночных, паразитирующих на растениях, эти нематоды, как правило, обитают в почве [4].

При изучении активности биологических препаратов *in vitro* большое значение имеет выбор модельного организма для их тестирования. Для оценки эффективности нематоцидов в настоящее время во многих лабораториях используется свободноживущая почвенная нематода *Caenorhabditis elegans*. Преимуществами *C. elegans* как модельного организма являются маленькие размеры тела, высокая плодовитость, высокая скорость развития, простота и дешевизна выращивания в лаборатории [5–6]. Эксперименты с *C. elegans* поз-

воляют изучать негативное действие на организмы нематод как интактных микроорганизмов, так и не содержащих клетки супернатантов бактерий [7–9]. Целью настоящей работы явилось изучение нематоцидной активности супернатантов бактерий *Bacillus zanthoxyli* АК76 в экспериментах с *C. elegans*.

Штаммы бактерий и их культивирование. Штамм *Bacillus zanthoxyli* АК76 получен из почвенной ризосферы кукурузы на этапе фазы роста три листа. Штамм представляет собой желтоватые колонии с гладкой блестящей поверхностью. Клетки грамположительные, аэробные с подвижными жгутиками. Изолят выделяет ряд экзогенных ферментов: амилазу, протеазу и фитазу, а также способен к фиксации атмосферного азота [10].

Штамм *Bacillus zanthoxyli* АК76 культивировали в среде LB (триптон 10 г/л, дрожжевой экстракт 5 г/л, NaCl 10 г/л), в термостатируемом шейкер-инкубаторе (JEIO TECH, Корея) при 180 об/мин и 30 °С. В качестве инокулята использовали культуры поздней логарифмической фазы роста в количестве, дающем начальную оптическую плотность клеточной суспензии 0,1 ОЕ ($\lambda = 600$ нм).

Получение супернатантов. Супернатанты культур отделяли от основной массы клеток с помощью центрифугирования (5000×g, 15 °С, 10 мин). Полученные супернатанты последовательно пропускали через нитроцеллюлозные фильтры с диаметром пор 0,22 мкм (Sartorius, Германия) для удаления оставшихся после центрифугирования клеток.

Линии *C. elegans* и их выращивание. В работе использовали три лабораторные линии *C. elegans*: линия дикого типа N2 и две мутантные линии, устойчивые к ивермектину – DA1316 (*avr-14(ad1305) I; avr-15(vu227) glc-1(pk54) V*) и JD740 (*avr-14(ad1302) I; avr-15(ad1051) V*). Все линии получены из Caenorhabditis Genetics Center. Нематод выращивали при температуре 22°С в чашках Петри со стандартной средой выращивания нематод, засеянной *E. coli* OP50 в качестве источника питания [11].

Оценка токсичности супернатантов бактерий. Эксперименты проводили при 22 °С в M9 буфере с молодыми половозрелыми *C. elegans*, синхронизированными по возрасту [12]. Для каждого эксперимента нематод трижды отмывали от среды выращивания, бактерий и экзометаболитов 10 мл M9 буфера [11]. После этого *C. elegans* рассаживали по 50 особей в стеклянные центрифужные пробирки объемом 10 мл. После оседания нематод на дно пробирок излишек буфера удаляли и добавляли свежий M9 буфер, супернатанты бактерий или ивермектин до конечного объема 1 мл. В качестве негативного контроля использовали M9 буфер. Через 24 часа подсчитывали количество погибших нематод. Погибшими считали *C. elegans*, у которых отсутствовала как спонтанная локомоция, так и реакция на прикосновение тонкой проволокой. Все эксперименты выполняли в четырех повторностях. Статистическую обработку проводили с использованием углового преобразования Фишера ϕ^* .

Как показано в таблице, ивермектин в концентрации 60 мкг/мл вызывал гибель 80,3% нематод линии дикого типа N2, но почти не оказывал токсиче-

ского действия на *C. elegans* мутантных линий JD740 и DA1316, устойчивых к ивермектину, приводя к гибели 8,5 и 9,0% особей соответственно. Добавление в среду инкубации супернатанта бактерий *Bacillus zanthoxyli* АК76, разбавленного в 20 раз, оказывало токсическое действие на нематод линии N2, сравнимое с действием ивермектина. Этот супернатант оказался токсичным и для *C. elegans* обеих мутантных линий. Гибель нематод линии JD740 составила 79,0%, а нематод DA1316 – 91,0% (табл.).

Таблица

Действие супернатанта бактерий и ивермектина на *Caenorhabditis elegans*

Параметры	Линии <i>Caenorhabditis elegans</i>		
	N2	JD740	DA1316
	Доля погибших нематод, %		
Контроль	0	0	0
Супернатант <i>Bacillus zanthoxyli</i> АК76, 5%	79,3±2,0	79,0±2,9	91,0±2,0
Ивермектин, 60 мкг/мл	80,3±2,0	8,5±2,0	9,0±2,0

Ивермектин, нематоцидный препарат из группы макроциклических лактонов, – это полусинтетический аналог авермектина, выделенного из бактерий *Streptomyces avermitilis* в 1980-е гг. Высокая нематоцидная активность ивермектина определяется его связыванием с глутамат-зависимыми Cl⁻-каналами (GluCl_s) [13–15]. Ивермектин вызывает паралич *C. elegans* и нарушает работу мышц глотки. Ивермектин подавляет пищевое поведение у паразитических нематод *H. contortus*, *B. malayi*, *Trichostrongylus colubriformis* и некоторых других [13–15]. У *C. elegans* устойчивость к ивермектину определяется тремя генами (*avr-15*, *avr-14* и *glc-1*), кодирующими α-субъединицы GluCl_s [13–15]. В наших экспериментах выявлена высокая чувствительность к супернатанту бактерий *Bacillus zanthoxyli* АК76 нематод мутантных линий, устойчивых к ивермектину. Это позволяет сделать вывод о наличии в исследованном супернатанте веществ, обладающих нематоцидной активностью, с отличным от ивермектина механизмом действия.

В целом результаты работы позволяют сделать вывод о возможности использования супернатантов бактерий в качестве эффективных и безопасных для человека и окружающей среды средств борьбы с нематодами, паразитирующими на растениях.

Библиографический список

1. Migunova V. D., Sasanelli N. Bacteria as biocontrol tool against phytoparasitic nematodes. DOI: 10.3390/plants10020389 // Plants. 2021. Vol. 10. Article No. 389.
2. Signal pathways involved in microbe-nematode interactions provide new insights into the biocontrol of plant-parasitic nematodes / L.-M. Liang, C.-G. Zou, J. Xu, Ke-Q. Zhang. DOI: 10.1098/rstb.2018.0317 // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 2019. Vol. 374. No. 1767. Article No. 20180317.
3. *In vitro* evaluation of some isolated bacteria against the plant parasitic nematode *Meloidogyne incognita* / G. M. Soliman, H. H. Ameen, S. M. Abdel-Aziz, G. M. El-Sayed. DOI: 10.1186/s42269-019-0200-0 // Bull. Natl Res. Cent. 2019. Vol. 43. P. 2–7.

4. Tian B., Yang J., Zhang Ke-Q. Bacteria used in the biological control of plant-parasitic nematodes: populations, mechanisms of action and future prospects. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2007.00349.x // FEMS Microbiology Ecology. 2007. Vol. 61. P. 97–213.
5. Salinas G., Risi G. *Caenorhabditis elegans*: nature and nurture gift to nematode parasitologists. DOI: 10.1017/S0031182017002165 // Parasitology. 2018. Vol. 145. P. 979–987.
6. Corsi A. K., Wightman B., Chalfie M. A Transparent window into biology: A primer on *Caenorhabditis elegans*. DOI: 10.1895/wormbook.1.177.1 // Wormbook. 2015. [Internet resource] – URL: http://www.wormbook.org/chapters/www_celegansintro/celegansintro.html. (accessed: 20.03.2024).
7. Uncovering nematicidal natural products from *Xenorhabdus* bacteria / D. Abebew, F. S. Sayedain, E. Bode, B. B. Bode. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c05454 // J. Agric. Food Chem. 2022. Vol. 70. No. 2. P. 498–506.
8. Darby C. Interactions with microbial pathogens DOI: 10.1895/wormbook.1.21.1 // Wormbook. 2005. [Internet resource]. – URL: http://www.wormbook.org/chapters/www_intermicrobpath/intermicrobpath.html (accessed: 20.03.2024).
9. Couillault C., Ewbank J. J. Diverse bacteria are pathogens of *Caenorhabditis elegans*. DOI: 10.1128/IAI.70.8.4705–4707.2002 // Infection and Immunity. 2002. Vol. 70. P. 4705–4707.
10. *Bacillus zanthoxyli* sp. nov., a novel nematicidal bacterium isolated from Chinese red pepper (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim) leaves in China / M. Li, C. Y. Hong, W. X. Yan et al. DOI: 10.1007/s10482-017-0890-y // Antonie van Leeuwenhoek. 2017. Vol. 110. P. 1179–1187.
11. Brenner S. The genetics of *Caenorhabditis elegans*. DOI: 10.1093/genetics/77.1.71 // Genetics. 1974. Vol. 77. P. 71–94.
12. Basic *Caenorhabditis elegans* methods: synchronization and observation / M. Portade-la-Riva, L. Fontrodona, A. Villanueva, J. Ceron. DOI: 10.3791/4019 // J. Vizualized Exp. 2012. Vol. 64. Article No. e4019.
13. Holden-Dye L., Walker R. J. Anthelmintic drugs and nematicides: studies in *Caenorhabditis elegans*. DOI: 10.1895/wormbook.1.143.2 // Wormbook. 2014. [Internet resource]. – URL: http://www.wormbook.org/chapters/www_anthelminticdrugs.2/anthelminticdrugs.2.html (accessed: 20.03.2024).
14. Dent J. A. What can *Caenorhabditis elegans* tell us about nematocides and parasites? DOI: 10.1007/bf02931986 // Biotechnol. Bioprocess Eng. 2001. Vol. 6. P. 252–263.
15. The genetics of ivermectin resistance in *Caenorhabditis elegans* / J. A. Dent, M. M. Smith, D. K. Vassilatis, L. Avery. DOI: 10.1073/pnas.97.6.2674 // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2000. Vol. 97. P. 2674–2679.

РАКООБРАЗНЫЕ НИЖНЕГО ПРУДА ПАРКА ПОБЕДЫ г. НОВОКУЙБЫШЕВСКА

Ю. Л. Герасимов
Самарский университет,
г. Самара, Россия, yuger55@list.ru

В Нижнем пруду парка Победы г. Новокуйбышевска обнаружено 19 видов ракообразных из 8-ми семейств. Эти виды обычны для водоёмов Самарской области, *Acanthocyclops venustus* обнаружен для городских прудов. По числу видов и численности лидируют представители сем. Cyclopoidea. Виды-индикаторы соответствуют средней степени загрязнения водоёма.

Ключевые слова: ракообразные, городской пруд, видовой состав, численность.

В рекреационных зонах городов часто создаются водоёмы. Санитарное состояние этих водоёмов зависят от процессов биологического самоочищения, определённый вклад в которые вносят ракообразные. В парке Победы в г. Новокуйбышевске (Самарская область) находится каскад из 3-х прудов. Первоначально пруды предназначались для купания и на берегах были оборудованы пляжи с соответствующей инфраструктурой. В 1990-е годы уход за прудами и пляжами ослаб. Пруды обмелели, берега и мелководья загрязнялись, вода пахла гнилью, и купание запретили. В 2018 г. территорию парка благоустроили – убрали мусор с берега и мелководий, пляжи ликвидировали, провели озеленение, в одном из прудов установили фонтан.

Цель нашей работы — изучение ракообразных Нижнего пруда парка Победы г. Новокуйбышевска. Задачи – выявление видового состава, изучение численности популяций ракообразных и её сезонной динамики, а также оценка состояния водоёма по характеристикам сообщества ракообразных. Фауна ракообразных пруда ранее не изучалась.

Нижний пруд находится на восточной границе парка Победы в овраге, по краю которого проходит улица, застроенная одноэтажными домами. Северный и южный берега образуют земляные дамбы. Форма пруда близка к трапеции, площадь 0,6 га, глубина до 1 м. Питание атмосферными осадками и грунтовыми водами. Три берега высокие и довольно крутые, покрыты высокой травой, местами кустарником, бывший пляж пологий. Летом мелководья густо зарастают водно-воздушными, а центральная часть пруда – погружёнными макрофитами (преобладают рогоз узколистый, рдест пронзеннолистный и элодея канадская). Уровень воды с весны до осени понижается на 0,4–0,6 м и мелководья частично обсыхают. Вода мутная, прозрачность воды по диску Секки 0,45–0,65 м. Берега суглинистые, дно покрыто слоем ила.

Пробы отбирали по общепринятым методикам [1] ежедекадно в апреле – сентябре 2022 г. планктонной сетью (газ № 64) и 2-литровым батометром. Рассчитывали численность (экз./л), долю размножающихся особей, индекс видового разнообразия Шеннона. Использовался пакет прикладных программ Microsoft Excel. В 2022 г. в пруду обнаружено 19 видов ракообразных относящихся к 19-ти родам и 8-ми семействам, список приводится ниже (табл. 1). В пробах присутствовали не определенные особи Сем. Cypridae.

Число видов в одной пробе от 6 до 14.

Ракообразные в Нижнем пруду обычны для водоёмов Самарской области, кроме впервые обнаруженного в пруду *Acanthocyclops venustus* [2].

Таблица 1

Список видов ракообразных и доля их присутствия в пробах

Виды ракообразных	Доля (%) проб
Сем. Cyclopidae	
<i>Acanthocyclops venustus</i> (Norman, Scott T., 1906)	13
<i>Cyclops strenuus</i> (Fisher, 1851)	33
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)	50
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	80
<i>Thermocyclops oithonoides</i> Sars, 1863	20
Сем. Eudiaptomidae	
<i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg, 1888)	53
Сем. Ameridae sp.	
	7
Сем. Bosminidae	
<i>Bosmina longirostris</i> (O. F. Muller, 1785)	53
Сем. Chydoridae	
<i>Alona rectangula</i> (Sars 1862)	20
<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Muller, 1785)	50
<i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fisher, 1848)	13
<i>Pleuroxus uncinatus</i> (Baird, 1850)	27
Сем. Daphniidae	
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O. F. Muller, 1785)	37
<i>Daphnia pulex</i> (Leydig, 1860)	47
<i>Scapholeberis mucronata</i> (O. F. Muller, 1785)	17
<i>Simocephalus vetulus</i> (O. F. Muller, 1776)	20
Сем. Moinidae	
<i>Moina brachiata</i> (Jurine, 1820)	33
Сем. Sididae	
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin, 1848)	47
<i>Sida cristallina cristallina</i> (O. F. Muller, 1776)	3
Сем. Cypridae sp.	
	20

Численность ракообразных в Нижнем пруду парка Победы невелика. Наибольшей численности достигали популяции *Bosmina longirostris* (до 92 экз./л в мае), *Pleuroxus uncinatus* (до 34 экз./л в июле), *Moina brachiata* (до 17 экз./л в мае) и *Cyclops strenuus* (до 11 экз./л в мае). У 3-х видов численность не превышала 1–2 экз./л, а у 14 видов весь сезон не превышала 1 экз./л. В течение сезона 50% численности ракообразных приходится на май. Невысокая численность связана, скорее всего, с небольшой (не более 30%) долей размножающихся особей.

Вклад семейств ракообразных в общую численность сильно различался (табл. 2).

Величина индекса видового разнообразия Шеннона от 0,5 до 1,44.

Более половины видов, обитающих в 3-м пруду парка Победы, являются индикаторами загрязнённых вод. Индикаторы слабо и умеренно загрязнённых вод присутствуют, но их численность крайне незначительна. Это говорит о накоплении в донных осадках водоёма органических загрязнений в результате многолетнего стока с окружающей территории.

**Доли (%) семейств ракообразных по численности
в Нижнем пруду парка Победы г. Новокуйбышевска**

Семейство	Доля (%)	Семейство	Доля (%)
Bosminidae	48,77	Daphniidae	1,11
Chydoridae	18,13	Ostracoda	0,55
Cyclopoidae-n	15,58	Sididae	0,50
Moinidae	10,02	Harpacticoida	0,01
Eudiaptomidae	1,92	науплии	3,43

В пруду парка Победы г. Новокуйбышевска обитают меньше видов ракообразных, чем в парках прудов г. Самары: в пруду парка Гагарина – 28 видов, в пруду парка Metallurgov – 33 вида. Средняя численность ракообразных 21 экз./л в пруду парка Победы также меньше. В пруду парка Гагарина средняя численность – более 70 экз/л, в пруду парка Metallurgov – до 111 экз/л, [3,4]. По сообществу ракообразных пруд парка Победы больше похож на самарские пруды в жилой застройке, чем на пруды парков и скверов. Особенность прудов парка Победы – мутная вода. Это возможно следствие ветрового взмучивания донного ила на обширных мелководьях. Взвесь угнетающе действует на зоопланктон, особенно на фильтраторов.

Небольшое количество видов ракообразных и их малой численности показывает, что Нижний пруд парка Победы г. Новокуйбышевска находится в неудовлетворительном состоянии. Проведенные на водоёме мелиоративные мероприятия пока не вызвали восстановления самоочищающей способности его экосистемы. Необходимо удалить из пруда накопившийся донный ил.

Библиографический список

1. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем // СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 246 с.
2. Герасимов Ю. Л., Теньгаев Е. И. Ракообразные прудов урбанизированных территорий (г. Самара) // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. Т. 11. № 1 (4). С. 699–701.
3. Герасимов Ю. Л., Дюжаева И. В., Тарасова Н. Г. Первые сведения об элементах планктонного сообщества пруда в парке Metallurgov г. Самары // Известия СНЦ РАН. 2011. Т. 13. № 1. С. 194–198.
4. Герасимов Ю. Л., Тарасова Н. Г. Ракообразные, коловратки и фитопланктон пруда в парке имени Ю. Гагарина г. Самары // Изв. ПГПУ. 2011. № 25. С. 516–522.

О ДОСТОВЕРНОСТИ УЧЕТНЫХ ДАННЫХ ПО ЗАЙЦУ-БЕЛЯКУ, ОБИТАЮЩЕМУ В РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

О. А. Греков, А. А. Манаенков, С. А. Сатарин

*Российский государственный университет народного хозяйства
имени В. И. Вернадского, г. Балашиха, Россия, airops@yandex.ru*

Заяц-беляк – важнейший объект охоты. Колебания численности вида вызывают необходимость проведения постоянного мониторинга и повышения достоверности учетных данных. В статье рассматриваются проблемы учета численности вида, пути повышения актуальности первичных данных и предлагаются направления совершенствования учета зайца-беляка.

Ключевые слова: заяц-беляк, зимний маршрутный учет, способы учета, достоверность учетных данных.

Заяц-беляк (*Lepus timidus* L., 1758) – широко распространенный вид в лесных экосистемах. Является массовым объектом спортивной любительской охоты. Учетные данные последних десятилетий свидетельствуют о значительном снижении численности зайца-беляка, что требует организации постоянного мониторинга состояния его региональных популяций и способов учета его численности для получения объективных данных.

В настоящее время для определения численности зайца-беляка в России используются данные зимнего маршрутного учета. Современные учетные данные у специалистов вызывают сомнения в их достоверности. Одна из основных причин – несоответствие применяемого метода учета этого вида его биологическим особенностям.

Для повышения достоверности показателей численности зайца-беляка, требуется совершенствование теории учета, улучшения существующих и разработки новых способов получения первичных данных учета зайца в местах его концентрации и основных станций. Достоверные учетные данные имеют важное практическое значение при планировании объемов изъятия зайца-беляка и, в конечном итоге, для рациональной и долговременной эксплуатации без ущерба для его популяции.

Заяц-беляк относится к лабильному виду [1], численность и плотность которого очень неустойчивы. К примеру, годичный прирост животных в средней полосе России колеблется от 36 до 113% и на одну взрослую особь приходится от 0,3 до 1,1 приплода [2]. Плодовитость зайцев существенно меняется по годам, и определяется почти исключительно изменением величины выводка, в то время как процент самок, участвующих в размножении, остаётся постоянным [3].

Параметры среды обитания зайца-беляка выступают важнейшим фактором, оказывающим влиянием на состояние его популяции. В процессе исследований экологическая ценность лесных типов угодий региона определя-

лась по результатам анализа категорий и классов элементов лесных экосистем, как по районам, так и по Рязанской области в целом. При этом учитывались разработанные рекомендации [2].

Лесистость Рязанской области составляет 25,6% и варьируется по отдельным районам в зависимости от характерных для них физико-географических, почвенных и климатических условий. Основные массивы хвойно-широколиственных лесов расположены в северной и восточной частях, в южной и западных частях области леса имеют фрагментарный характер. Экологическая оценка качества охотничьих угодий проводилась по материалам территориального охотустройства [4]. Анализ показал, что всего 17336 га (1,6%) лесных угодий от общей площади стадий обитания обладают хорошими кормовыми и защитными свойствами, 699984,5 га (66,6%) угодий от общей площади стадий обитания зайца-беляка характеризуются средними условиями, а еще 334006,7 га (31,8 %) – плохими.

В целом, на долю угодий со средними и плохими свойствами приходится 98,4% площади лесов, средневзвешенный показатель бонитета IV класса. Площадь угодий, пригодных для обитания вида, соответствует 1051,3 тыс. га. Согласно шкале оптимальной численности зайца-беляка, в угодьях разных бонитетов для IV класса бонитета его плотность на 1000 га лесных угодий должна соответствовать 40–10 особей, а средняя плотность – 25 особей/1000 га.

Анализ распределения зайца-беляка по биотопам показал, что в северной лесной зоне и южной подзоне смешанных лесов он одинаково предпочитает и лес, и болото, а в зоне лиственных лесов заяц-беляк предпочитает лес, на втором месте болото. В лесостепной зоне заяц-беляк предпочитает лес, на втором месте болото. В угодьях Рязанской области плотность зайца-беляка максимальна в лесу, в болотах – снижается, а минимальное количество – в поле. Это необходимо учитывать при планировании учетных мероприятий.

Использование многолетних данных зимнего маршрутного учета в Рязанской области [4] дает возможность установить оценочную численность зайца-беляка и проследить динамику его численности.

Анализ показывает, что в период с 2005 по 2022 гг. пик численности пришелся на 2008 год (17,2 тыс. особей), а спад – на 2011 год (6,1 тыс. особей), а лабильный тип беляка для условий региона отличается периодами колебаний динамики численности в 3–6 лет и значительной амплитудой. Это позволяет усомниться в достоверности результатов с применением ЗМУ. Исходя из этого, для получения достоверных данных необходимо расширять применяемые методы учета этого вида. В настоящее время, в соответствии с действующими документами основным методом учета численности охотничьих ресурсов является зимний маршрутный учет (далее – ЗМУ).

Сущность этого метода должна заключаться в следующем: плотность населения прямо пропорциональна количеству следов, обратно пропорциональна длине маршрута и длине суточного наследа животного. Согласно этой сущности, ЗМУ должен быть комбинированным методом учета, состоящим из

двух этапов: подсчет всех пересечений наследов (или числа особей, оставивших наследы) и получение пересчетного коэффициента методом тропления суточных наследов животных, или дополнительным учетом на пробных площадках. Это позволило бы далее перейти от относительных показателей (количества следов на единицу длины маршрута) к абсолютным значениям (количество особей на площадь учета).

Однако вызывает сомнение, что полученные таким образом результаты ЗМУ будут объективны, т. к. в силу своих биологических особенностей заяц-беляк может перемещаться по тропе по нескольку раз в обоих направлениях. Далее, следовая активность животных и протяженность их суточных наследов может сильно меняться в зависимости от состояния и глубины снежного покрова, обилия кормов, наличия или отсутствия хищников, степени антропогенного воздействия, длительности выпадения осадков, температуры воздуха, состояния и фазы динамики популяций.

В соответствии с математическими основами учета животных [5] точная оценка численности и плотности населения зависит непосредственно от средней длины суточного хода зайца-беляка в конкретных условиях на конкретной территории. Современный пересчетный коэффициент 1,16, назначенный официально для зайца-беляка на территории всей страны, далек от действительности. Исследования [6] показали, что на троплениях 34-х полных суточных ходов зайцев в пределах одного хозяйства, которые отличались по длине в 30 раз. Поэтому оценки численности с использованием такого пересчетного коэффициента ЗМУ заведомо не соответствуют действительности, какой бы ни был по качеству показатель этого учета. Умножение любого показателя учета ЗМУ на такой пересчетный коэффициент, дает показатели плотности населения и численности зайцев, рассчитанные по методике проведения ЗМУ, значения которых вызывают сомнения в полной их объективности. Несмотря на это, уполномоченный орган Госохотучета продолжает считать полученные результаты по регионам страны вполне корректными. Истинные данные о состоянии численности зайца-беляка могут быть достигнуты путем определения абсолютного показателя (плотности) только методом шумового прогона. Особенно это необходимо проводить в охотничьих хозяйствах, где интенсивно эксплуатируются зайцы, хотя бы один раз в 2–3 года.

Важным вопросом при проведении учетов этим методом является выбор мест проведения учета, которые должны быть ориентированы на типологию угодий. Общая площадь выбранных для учета пробных площадей должна достигать не менее 25% от всей площади угодий. Наилучший размер и конфигурация каждой пробной площадки 500 м × 2000 м или 500 м × 4000 м.

На первом этапе учетчики обходят границы учетной площадки и затирают все встреченные следы животных. После этого загонщики выстраиваются в линию по узкой стороне пробной площадки и по сигналу руководителя учета с шумом проходят пробную площадку до ее противоположной границы. Расстояние между ними – до 50 м. После прогона необходимо вновь

обойти пробную площадку по ее границам и пересчитать число свежих следов и определить численность вышедших за периметр территории животных.

Каждую следующую пробную площадь для шумового прогона лучше выбирать в противоположной стороне по направлению от предыдущей пробной площади. Во всех случаях нагонять зверей рекомендуется в направлении открытых пространств. Результаты учета на всех пробных площадях, полученные методом шумового прогона, экстраполируются на всю общую площадь. Опыт работ методом шумового прогона показывает, что при охвате выборочным учетом до 25% общей площади хозяйства и тщательном проведении работ, ошибка этого метода, как правило, не превышает 10–15%.

Метод шумового прогона предлагается использовать в комбинации с маршрутным методом. Сотрудники охотхозяйства в день прогона подсчитывают количество следов на маршрутах, заложенных из расчета 10 км на каждые 4–5 тыс. гектаров угодий.

Это дает возможность сравнения показателей учета, полученных методом шумового прогона, с аналогичными показателями на специальных маршрутах ЗМУ. Оценка полученных результатов позволит сделать вывод о целесообразности применения комбинации вышеописанных методов учета.

Библиографический список

1. Северцов С. А. Динамика населения и приспособительная эволюция животных. М. – Л., 1941. С 155–168.
2. Основы охотустройства / Д. Н. Данилов, Я. С. Русанов, А. С. Рыковский и др. М. : Лесная промышленность, 1966. 331 с.
3. Наумов С. П. Экология зайца-беляка. М. : Моск. о-во испытателей природы, 1947. 207 с.
4. Греков О. А., Манаенков А. А. Современное состояние группировки зайца-беляка в угодьях Рязанской области // Состояние среды обитания и фауна охотничьих животных России и сопредельных территорий : материалы III Междунар., VIII Всерос. науч.-практ. конф. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2024. С. 29–34.
5. Кузякин В. А. Учет численности охотничьих животных. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2017. 320 с.
6. Агафонов В. А. Суточная активность зайца-беляка и факторы ее определяющие // Промысловая териология / Отв. ред. Д. И. Бибииков, Н.Н. Граков. М. : Наука, 1982. С. 231–238.

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИММУНОТРОПНЫХ ПРЕПАРАТОВ И ФИТОТЕРАПИИ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И СПОНТАННЫХ НЕМАТОДОЗАХ

О. Б. Жданова^{1,2,3}, *Д. В. Рассохин*¹, *А. И. Русских*¹, *О. В. Часовских*^{1,3},
*О. Н. Андреянов*², *А. К. Мартусевич*^{1,4}, *Д. И. Редькин*¹, *Е. Б. Дунаева*³

¹ *Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, oliabio@yandex.ru,*

² *Всероссийский НИИ фундаментальной и прикладной паразитологии
животных и растений – филиал ФГБНУ Федеральный научный центр –
Всероссийский НИИ экспериментальной ветеринарии РАН,*

г. Москва, Россия,

³ *Кировский государственный медицинский университет, beoli@mail.ru,*

⁴ *Нижегородская ГСХА, г. Нижний Новгород, Россия*

В статье представлен опыт сравнительного изучения свойств иммуностимуляторов и иммунотропных препаратов с противопаразитарным эффектом на биологических моделях. Флора и лишенофлора Кировской области включают большое количество видов с иммунотропным и противопаразитарным эффектами. Рассматриваются возможности заготовки и выращивания данного сырья для фармацевтической промышленности.

Ключевые слова: растительное сырье, лишайники, экспериментальная инвазия.

По данным Всемирной организации здравоохранения от паразитарных инфекций страдают 4,5 млрд человек, то есть больше половины населения Земли; для 17 млн человек в год паразитарная инфекция заканчивается летальным исходом [1]. В структуре заболеваний населения гельминтозы уступают лишь гриппу и острым респираторным заболеваниям [2]. В связи со сложностью и многогранностью патогенетических механизмов, развивающихся в организме хозяина, особую актуальность приобретает изучение иммунологических аспектов паразитозов, в том числе при экспериментальном моделировании с применением в протоколах лечения иммуностимуляторов и фитотерапевтических препаратов.

Целью нашей работы было сравнение эффективности классических иммуностимуляторов и препаратов традиционной медицины на модели трихинеллеза и спонтанного сифациоза.

Экспериментальное исследование по заражению лабораторных животных личинками трихинелл провели на беспородных белых мышах, массой 16–18 г, распределенных на 5 групп по 10 животных в каждой, на базе лаборатории иммунологии и клеточных технологий Всероссийского НИИ фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений. Группа 1 двукратно получила комплексный биопрепарат, включающий иммуномоду-

лятор азоксимера бромид (полиоксидоний) в дозе 0,2 мг/кг и соматический белковый антиген-экстракт в дозе 10,0 мкг белка/мышь; группа 2 в течение недели получала препарат Цина (С30); группе 3 в течение недели вводили лишайники в виде свободного скармливания; группа 4 – положительный контроль; группа 5 – отрицательный контроль (животным контрольных групп никаких препаратов не вводили). Через неделю после последнего введения препаратов мышей групп 1–4 заражали инвазионными личинками трихинелл в дозе 80 личинок/животное с целью определения протективного эффекта.

Результаты исследований показали, что спустя 90 дней после введения личинок у мышей, подвергшихся иммунологической или фитотерапевтической коррекции (группы 1–3), после переваривания в искусственном желудочном соке количество обнаруженных личинок оказалось меньше чем у мышей контрольной зараженной группы (группа 4). Протективная активность (рассчитана из разницы от полученных при применении иммуностропных препаратов и общего количества личинок положительного контроля, %) составила 64,1% (группа 2), 74,1% (группа 3) и 95% (группа 1).

Таким образом, применение иммуностропной терапии и фитотерапии оказалось менее эффективно, чем использование иммуностимуляторов. Однако оно обладает более выраженным лечебным эффектом и позволяет скорректировать течение заболевания и уменьшить химиотерапевтическую нагрузку на организм в случае применения антигельминтиков [3].

Для подтверждения нематоцидного эффекта лишайников (на примере механообработанных цетрарии и кладонии) проводили их скармливание в течение недели мышам, спонтанно инвазированным сифациями. Обнаружено, что при применении цетрарии произошла полная элиминация паразита, а при введении кладонии интенсивность инвазии (ИИ) снизилась на 62%. Экстенсивность инвазии (ЭИ) составила, соответственно 0% и 75%. Снижение ЭИ и ИИ объясняется как иммуностимулирующим действием ягеля, так и прямым нематоцидным действием [4–6].

Список растений и лишайников Кировской области с противопаразитарным эффектом включает большое число видов. В частности, в него входят такие широко распространенные виды, как пижма обыкновенная, зверобой продырявленный, таволга вязолистная и др. Рассматриваются перспективы культивирования [4].

Наибольший интерес среди лишайнофлоры представляют виды из родов *Cladonia* и *Cetraria*. Например, различные виды извлечений из цетрарии исландской обладают наибольшим спектром лекарственных свойств: стимуляция работы желудочно-кишечного тракта, детоксикация и снятие токсикоза при беременности, муколитическое, противовоспалительное, иммунопротекторное и антиоксидантное действие, антибактериальная (в т.ч. противотуберкулезная), противодиабетическая активность и др. [5, 7–9]. Лечебные свойства экстрактов из цетрарии одобрены Европейским агентством лекарственных средств; основные области применения – воспалительные заболевания

горла и полости рта, простудные заболевания, сопровождающиеся кашлем [9].

Лишайники из родов *Usnea*, *Alectoria*, *Parmelia*, *Lecanora*, *Cornicularia*, *Ramalina* и др. также использовались для изготовления антимикробных препаратов наружного действия (для лечения гнойных процессов в раневых поверхностях) и применения внутрь (в качестве противопаразитарного, противомикробного, в частности, антималярийного препарата) [7]. Усниновая кислота лишайников обладает не только противомикробным, но также антиоксидантным, антималярийным, противораковым и гепатопротекторным эффектами [5, 8, 9]. Известны способы лечения нематодозов сельскохозяйственных животных и оленей с использованием ягеля [5, 6]. Также были предприняты успешные попытки изготовления антибактериальных и противопаразитарных препаратов из лишайников в России [4, 6–11].

Таким образом, в Кировской области имеются все предпосылки для заготовки растительного сырья для фармацевтической промышленности. Учитывая, что многие представители лишайнофлоры с противопаразитарным действием занесены в Красную книгу [12], необходимо изучать возможность выращивания данного сырья для восполнения при промышленной его заготовке. Данные литературы и результаты собственных исследований подтверждают возможность использования фитопрепаратов в паразитологии, особенно в условиях нарастания устойчивости гельминтов к препаратам химического происхождения [13]. Получение новых противопаразитарных препаратов позволит создать эффективные технологии для борьбы с паразитами [4, 8, 13].

Библиографический список

1. Ерофеева В. В. К вопросу распространения гельминтозов, представляющих опасность заражения для человека // Медицина и здравоохранение : сб. материалов междунар. науч. конф. (г. Чита, ноябрь 2012 г.). Чита : изд-во Молодой ученый, 2012. С. 62–66.
2. Кузюта С. Л., Жарнова В. В., Никитин В. Ф. Мероприятия по профилактике нематодозов у человека. DOI: 10.12737/20065 // Российский паразитологический журнал. 2016. Т. 3. № 2. С. 217–222.
3. Мамыкова О. И. Методические положения по применению иммуномодулирующих средств в комбинированной терапии гельминтозов // Российский паразитологический журнал. 2015. № 2. С. 120–123.
4. Перспективы применения препаратов из лишайников в качестве адаптогенов и иммуностимуляторов / О. Б. Жданова, О. В. Часовских, Е. Б. Дунаева и др. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2023. С. 302–305.
5. Шербакова А. И., Коптина А. В., Канарский А. В. Биологически активные вещества лишайников // Известия вузов. Лесной журнал. 2013. № 3. С. 7–16
6. Пат. 2 723 888. РФ, МПК А61К 33/00 (2006.01). Способ применения смеси из растительного и минерального сырья при групповой дегельминтизации молодняка северных оленей в сочетании с эффективными антигельминтными препаратами : № 2019123220 : заявл. 18.07.2019 : опубл. 18.06.2020 / Кокколова Л. М., Гаврильева Л. Ю., Романов И. И. 5 с.
7. Будаева С. Э., Сангидорж Б. Практическое использование лишайников Бурятии // Вестник Бурятского гос. ун-та. Биология. География. 2010. № 4. С. 123–128.

8. Лыскова Н. С., Базарнова Ю. Г., Кручина-Богданов И. В. Изучение состава и свойств вторичных метаболитов лишайника *Usnea barbata* // Химия растительного сырья. 2018. № 1. С. 121–127.

9. Скрининговое изучение противодиабетической активности водного извлечения изо мха цетрария исландская на модели стероидного сахарного диабета / Г. П. Вдовина, Г. В. Голдобина, А. А. Бурлуцкая и др. DOI: 10.24412/1609-2163-2021-3-50-53 // Вестник новых медицинских технологий. 2021. Т. 28. № 3. С. 50–53.

10. Мартусевич А. К., Жданова О. Б. Исследование зависимости кристаллогенной активности биосреды от интенсивности экспериментальной инвазии *Trichinella spiralis* // Российский паразитологический журнал. 2013. № 2. С. 64–71.

11. Окружающая природная среда Кировской области : материалы науч. исследований / под ред. Т. Я. Ашихминой. Киров : Вятский гос. пед. ун-т, 1996. 479 с.

12. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / сост. Р. В. Камелин. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.

13. Калининкова Т. Б., Гайнутдинов М. Х., Шагидуллин Р. Р. Устойчивость к антигельминтным препаратам: проблема и пути ее решения // Ветеринарный врач. 2018. № 5. С. 36–41.

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ КРОВИ РЫЖЕЙ ПОЛЕВКИ НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А. С. Климова¹, М. В. Сиротина^{1,2}

¹ Костромской государственный университет,
г. Кострома, Россия, Klimova.A.S.ecology@yandex.ru,

² ФГБУ «Государственный природный заповедник
«Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына»,
г. Кострома, Россия, mvsiroтина@gmail.com

В статье представлен опыт применения показателей системы крови рыжей полевки для оценки стресса у животных и состояния их популяций в природных и антропогенно трансформированных экосистемах. Лейкоформулы исследуемых грызунов значительно отличаются у особей, обитающих на территории заповедника «Кологривский лес» и на территории опытно-производственного хозяйства «Минское». Прослеживается сопряженность показателей крови с полом, стадией популяционного цикла и локацией отлова.

Ключевые слова: рыжая полевка, гематологические показатели, изменчивость, стресс, Костромская область.

Адаптационные реакции, обеспечивающие высокий уровень выживаемости и воспроизводства природных популяций мышевидных грызунов в постоянно меняющихся неконтролируемых условиях окружающей среды, в частности, находят свое интегральное отражение в состоянии индуцированной иммунной системы крови и ее реактивности.

Иммунная система крови является важнейшим компонентом комплексного механизма гомеостаза и наиболее чувствительным индикатором неблагоприятных воздействий [1]. Изменения абиотической и биотической среды приводят к сдвигу физиологических процессов организмов, которые могут отражаться на количественных и качественных особенностях состава циркулирующей крови, что определяет необходимость гематологических исследований.

Цель настоящей работы – с помощью гематологических показателей оценить состояние рыжей полевки, обитающей на охраняемых и антропогенно трансформированных территориях Костромской области.

Исследования являются частью многолетнего мониторинга популяционной организации цикломорфных грызунов на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» (южно-таежный ельник, Костромская область, Кологривский район) и Костромского лесничества ОПХ «Минское» (смешанный лес, Костромская область, Костромской район) [2].

В летний период 2021–2023 гг. осуществлен отлов мышевидных грызунов путем безвозвратного изъятия с помощью живоловок, принцип расположения которых был основан на методе ловушко-линий. Гематологические исследования проведены у 161 особи данного вида.

Забор крови у объектов исследований осуществлялся путем пункции сердца после слабого наркоза эфиром. Для сохранения образцов крови с целью последующего анализа использовали вакуумные пробирки с антикоагулянтом (ЭДТА).

Все манипуляции с мелкими млекопитающими проводили в соответствии с Международными рекомендациями (этическим кодексом) по проведению медико-биологических исследований с использованием животных (1985), а также этическими стандартами, утвержденными правовыми актами РФ и международными принципами Базельской декларации о гуманном отношении к животным и правил проведения работ с использованием экспериментальных животных (2011).

Для оценки гематологических параметров у грызунов определены количество лейкоцитов, лейкоцитарная формула, а также вычислены лейкоцитарные индексы крови.

Сравнительный анализ лейкограмм показал, что у рыжей полевки, обитающей на территории Костромского лесничества, лимфоцитарный профиль менее выражен (59,87–60,17%) по сравнению с грызунами, обитающими на территории биосферного резервата (66,39–71,39%) (рис. 1).

Следовательно, защитная функция крови грызунов на территории заповедника, где отсутствует антропогенный пресс, осуществляется в большей степени специфическими механизмами (лимфоцитами), что свидетельствует об отсутствии стресса и напряжения со стороны иммунной системы крови особей исследуемой популяции.

На территории Костромского лесничества доля нейтрофилов у рыжей полевки имеет близкие значения по сравнению с лимфоцитами. Согласно ис-

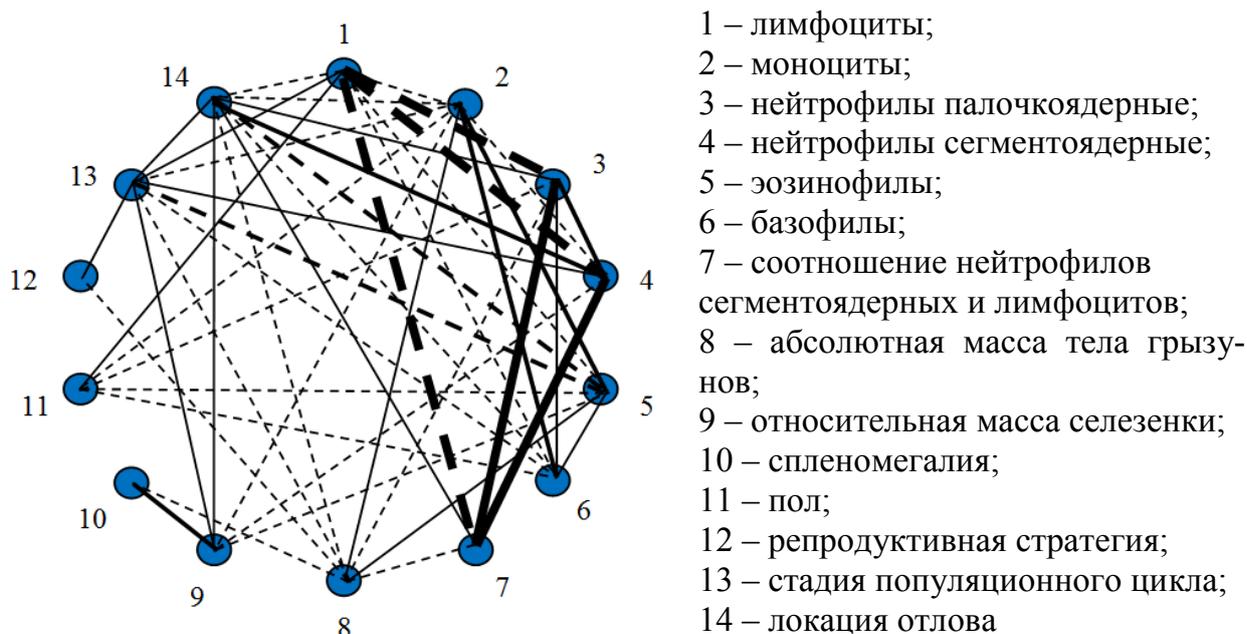


Рис. 2. Корреляция показателей крови у рыжей полевки на территории Костромской области

В свою очередь, количество палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов сильно положительно коррелируют с показателем «отношение сегментоядерных нейтрофилов к лимфоцитам» (коэффициенты корреляции составляют 0,85 и 0,81 соответственно), а лимфоциты – отрицательно (коэффициент корреляции равен $-0,83$).

Установлена слабая обратная корреляция доли лимфоцитов в крови с местом отлова ($-0,30$), слабая прямая со стадией популяционного цикла ($0,27$). Достоверной корреляции между наличием СМ и количеством лимфоцитов, нейтрофилов в крови грызунов не установлено.

Для оценки силы и значимости влияния различных факторов на показатели крови грызунов проведен многофакторный дисперсионный анализ (табл.).

Установлено, что «локация отлова», «половая структура популяции», «стадия популяционного цикла» оказывают в разной степени выраженное влияние на содержание лейкоформулы у рыжей полевки.

«Локация отлова» оказывает существенное влияние на долю лимфоцитов, нейтрофилов, базофилов, а также уровень эозинофилов, что, очевидно, в последнем случае было связано с паразитарной нагрузкой. «Стадия популяционного цикла» оказывала влияние на все показатели лейкоформулы, причем это влияние было более сильным, чем «год исследований».

Совместное действие представленных факторов на лейкоформулу в ряде случаев может достигать порядка 10%.

**Влияние различных факторов на показатели крови грызунов
на территории Костромской области**

Факторы (η , F, p)	Показатели крови, %					
	лимфоциты	моноциты	нейтрофилы палочкоядерные	нейтрофилы сегментоядерные	эозинофилы	базофилы
Половая структура популяции (А)	–	–	–	$\eta = 0,35\%$ F = 6,64 p < 0,05	–	–
Год исследований (Б)	$\eta = 14,06\%$ F = 141,14 p < 0,001	$\eta = 12,80\%$ F = 128,68 p < 0,001	$\eta = 7,15\%$ F = 40,94 p < 0,001	$\eta = 3,70\%$ F = 34,88 p < 0,001	$\eta = 11,63\%$ F = 37,11 p < 0,001	$\eta = 18,96\%$ F = 59,15 p < 0,001
Локация отлова (В)	$\eta = 21,67\%$ F = 434,87 p < 0,001	$\eta = 3,15\%$ F = 63,33 p < 0,001	$\eta = 18,02\%$ F = 206,30 p < 0,001	$\eta = 35,59\%$ F = 671,44 p < 0,001	$\eta = 9,82\%$ F = 62,63 p < 0,001	$\eta = 2,57\%$ F = 16,06 p < 0,001
Стадия популяционного цикла (Г)	$\eta = 8,84\%$ F = 18,16 p < 0,001	$\eta = 36,82\%$ F = 300,98 p < 0,001	$\eta = 12,25\%$ F = 27,41 p < 0,001	$\eta = 21,35\%$ F = 46,58 p < 0,001	$\eta = 43,39\%$ F = 127,17 p < 0,001	$\eta = 9,60\%$ F = 16,47 p < 0,001
А–Б	–	–	$\eta = 1,21\%$ F = 6,91 p < 0,01	$\eta = 0,34\%$ F = 3,19 p < 0,05	–	$\eta = 1,00\%$ F = 3,13 p < 0,05
А–В	$\eta = 0,20\%$ F = 4,02 p < 0,05	–	$\eta = 0,89\%$ F = 10,14 p < 0,01	–	–	–
А–Г	–	$\eta = 0,51\%$ F = 4,18 p < 0,05	–	–	$\eta = 1,95\%$ F = 5,71 p < 0,01	–
Б–В	$\eta = 2,64\%$ F = 26,49 p < 0,001	$\eta = 4,81\%$ F = 48,37 p < 0,001	$\eta = 5,15\%$ F = 29,46 p < 0,001	$\eta = 4,64\%$ F = 43,76 p < 0,001	$\eta = 5,95\%$ F = 18,97 p < 0,001	$\eta = 9,25\%$ F = 28,85 p < 0,001
А–Б–В	–	$\eta = 0,69\%$ F = 6,91 p < 0,01	$\eta = 1,12\%$ F = 6,40 p < 0,01	–	–	$\eta = 2,55\%$ F = 7,94 p < 0,001

Примечание: прочерк означает отсутствие достоверной зависимости показателя крови от фактора.

Таким образом, нами рассмотрен один из способов оценки природных и антропогенно трансформированных экосистем биоиндикационными методами через интегральные показатели состояния популяций мышевидных грызунов.

Установлено, что изменчивость лейкоцитарного профиля сопряжена с полом, стадией популяционного цикла и локацией отлова. Она носит приспособительный сложный взаимообусловленный характер.

Библиографический список

1. Моисеева Т. А. Иммунологические механизмы устойчивости мелких млекопитающих Карелии : спец. 03.00.08: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2000. 24 с.
2. Климова А. С., Сиротина М. В. Сравнительная характеристика популяционной организации *Myodes glareolus* Schreber и *Apodemus uralensis* Pallas на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Синицына. DOI: 10.55355/snvt2022113108 // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11, № 3. С. 69–78.
3. Davis A. K., Maney D. L., Maerz J. C. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x // Functional ecology. 2008. Vol. 22. No. 5. P. 760–772.

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О РЕДКИХ ВИДАХ ПТИЦ ЗАПОВЕДНИКА «НУРГУШ»

С. В. Кондрухова, С. В. Бакка

*Государственный природный заповедник «Нургуш»,
г. Киров, Россия, parus1970@mail.ru, sopr_nn@mail.ru*

В заповеднике «Нургуш», включающего в себя участки «Нургуш» и «Тулашор», за период 1995–2023 гг. было зарегистрировано 224 вида птиц. Из них 41 вид (18%) занесен в Красную книгу Российской Федерации и Красную книгу Кировской области. Доля особо охраняемых видов птиц заповедника составляет 86% от общего числа птиц, внесенных в региональную Красную книгу. В статье представлены материалы о встречах данной категории птиц в заповеднике «Нургуш» и его окрестностях в 2014–2023 гг.

Ключевые слова: заповедник, Нургуш, Тулашор, Красная книга, птицы, редкий вид.

Заповедникам отводится одно из центральных мест в системе мероприятий по охране и мониторингу популяций редких и находящихся под угрозой исчезновения видов, занесенных в Красную книгу. В настоящее время заповедник «Нургуш» включает в себя два участка – «Нургуш» в Котельничском и «Тулашор» в Нагорском районах. Его территория является важнейшим резерватом для значительного числа редких и охраняемых видов животных.

В заповеднике «Нургуш» за весь период исследований (1995–2023 гг.) было зарегистрировано 224 вида птиц из 18 отрядов и 47 семейств. Из них 41 вид (18%) занесен в Красную книгу Российской Федерации (ККРФ) [1] и Красную книгу Кировской области (КККО) [2]. Доля особо охраняемых видов птиц заповедника составляет 86% от общего числа птиц, внесенных в региональную Красную книгу.

Далее представлены сведения о встречах данной категории птиц в заповеднике «Нургуш» и его окрестностях за период 2014–2023 гг.

Белая куропатка (*Lagopus lagopus*). Редкий, нерегулярно зимующий на участке «Тулашор» вид, занесен в ККРФ (категория 2) и КККО (категория III). Белых куропаток регистрировали в зимний период на территории заповедника и охранной зоны в 2014 г. (не менее трех особей) и 13.02.2015 г. (две особи) [3].

Лебедь-шипун (*Cygnus olor*). Редкий пролетный (кочующий) вид, занесен в КККО (категория IV). На участке «Нургуш» стая шипунов численностью в 20 особей наблюдалась 07.06.2020 г. на р. Вятке в урочище (ур.) Ванькино озеро [3]. Пара взрослых птиц была встречена 25.10.2023 г. на оз. Кривое. На р. Федоровке в окрестностях участка «Тулашор» 15.11.2022 г. одиночного лебедя-шипуну наблюдали и сфотографировали местные жители [3].

Лебедь-кликун (*Cygnus cygnus*). Малочисленный пролетный вид, занесен в КККО (категория IV). На участке «Нургуш» одиночные птицы, пары и группы по 3–5 до 25 особей наблюдались в апреле–мае и октябре 2014–2023 гг. на озерах Старица, Кривое, р. Вятке и в окрестностях с. Боровка. Известен случай зимовки лебедя-кликуна в охранной зоне заповедника. Молодая птица держалась вместе с кряквами на свободных ото льда участках оз. Старица и р. Прость с 26.11.2015 г. по 18.03.2016 г. [4]. В охранной зоне участка «Тулашор» стаю из 16 лебедей наблюдали 08.04.2022 г. [3].

Большая выпь (*Botaurus stellaris*). Редкий, возможно, гнездящийся вид, занесен в КККО (категория III). В мае–июне 2014–2023 гг. большая выпь регулярно встречалась на участке «Нургуш» в районе озер Нургуш, Калеичи, Старица, в пойме р. Березовки, ур. Смородиновый Лог, Бобры, Крутец, в окрестностях с. Боровка, бывшей деревни (б. д.) Михалицыны.

Чомга (*Podiceps cristatus*). Редкий, возможно, гнездящийся вид, занесен в КККО (категория V). На участке «Нургуш» во время миграций встречаются отдельные особи, пары и группы по 3–6 особей на оз. Старица, Кривое и р. Вятке. В июне 2016, 2017, 2022 гг. (10.06.2016 г.; 03.06.2017 г.; 24.06.2017 г.; 02.06.2022 г.) одиночные особи и стайка из 6 птиц наблюдались в охранной зоне на оз. Старица [3].

Черношейная поганка (*Podiceps nigricollis*). Очень редкий гнездящийся вид участка «Нургуш», занесен в КККО (категория III). Черношейная поганка с признаками гнездового поведения была встречена 10.06.2016 г. на оз. Старица [4].

Кобчик (*Falco vespertinus*). Очень редкий пролетный вид участка «Нургуш», занесен в ККРФ (категория 3) и КККО (категория II). Молодая особь была встречена в заповеднике 25.08.2021 г. на берегу оз. Черного [4].

Скопа (*Pandion haliaetus*). Редкий вид, возможно, гнездящийся в окрестностях участка «Нургуш», занесен в ККРФ (категория 3) и КККО (категория II). В апреле, мае, июне, августе и сентябре 2015–2022 гг. одиночные особи наблюдались на р. Вятке и оз. Старица [3].

Орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*). Обычный гнездящийся, в отдельные годы зимующий вид участка «Нургуш», занесен в ККРФ (категория 5) и КККО (категория I). В гнездовое время 2014–2023 гг. орлан-белохвост чаще всего отмечался на оз. Нургуш, Кривое, Малое Кривое, Холщовик; в ур. Калеичи, Прудница; на р. Вятке у истоков оз. Пыжики и Нургуш. В заповеднике находится как минимум два жилых гнезда этих птиц. Одно из них известно с 50-х годов прошлого столетия. Обилие в заповеднике оценивается в 2 пары/100 км² [3].

Болотный лунь (*Circus aeruginosus*). Малочисленный гнездящийся вид, занесен в КККО (категория V). На участке «Нургуш» на пролете в апреле–мае 2014–2023 гг. наблюдались одиночные особи в окрестностях б. д. Михалицыны, Поздняки, Морозовы, Хазовы. В конце августа (29.08.2022 г; 30.08.2023 г.) этих птиц наблюдали на оз. Кривое и Старица. На участке «Тулашор» болотный лунь был встречен 07.05.2016 г. в пойме р. Федоровки возле п. Бажелка [5].

Степной лунь (*Circus macrourus*). Очень редкий пролетный вид участка «Нургуш», занесен в ККРФ (категория 3) и КККО (категория III). Впервые степной лунь был встречен 27–29.04.2013 г. в окрестностях с. Боровка на месте б. д. Михалицыны. Охотящегося самца наблюдали над зарастающей залежью в течение трех дней. Вторая встреча степного луна произошла в этом же месте 26.04.2022 г. [3].

Большой подорлик (*Aquila clanga*). Редкий гнездящийся вид, занесен в ККРФ (категория 2) и КККО (категория II). На участке «Нургуш» в 2015–2016 гг. подорлики гнездились на искусственной платформе в ур. Сосновый Куст [4]. Птицы с признаками гнездового поведения были встречены здесь 18.06.2015 г. и 04.06.2016 г. Позже одиночные особи наблюдались 30.07.2019 г. на р. Вятке в районе оз. Старица, 29.04.2020 г. и 16.05.2022 г. в окрестностях б. д. Поздняки и 26.05.2020 г. в ур. Калеичи. На участке «Тулашор» взрослая особь была встречена 13.05.2017 г. в пойме р. Федоровки возле бывшего поселка (б. п.) Естапово [3].

Погоныш-крошка (*Porzana pusilla*). Очень редкий, возможно, гнездящийся вид, занесен в КККО (категория III). Известна единственная встреча на участке «Нургуш». Вечером 01.06.2016 г. на протоке оз. Могильное была отмечена песня погоныша-крошки. Птица держалась в зарослях прибрежно-водных растений [4].

Камышница (*Gallinula chloropus*). Редкий пролетный вид, занесен в КККО (категория V). В окрестностях участка «Нургуш» встречается во время весеннего пролета. Отдельные особи и пары отмечались 06.05.2016 г., 18, 19.05.2021 г. возле б. д. Поздняки [4].

Кулик-сорока (*Haematopus ostralegus*). Обычный гнездящийся вид, занесен в ККРФ (категория 3) и КККО (категория III). В 2014–2023 гг. встречался на участке «Нургуш» преимущественно по берегам р. Вятки, а также на оз. Нургуш, Старица, Кривое, Черное, Холщовик. На весеннем пролете и в гнездовой период отмечают одиночные особи, пары и группы по 4–5, реже

по 10–12 до 20 особей. Летний показатель численности на р. Вятке составляет 3,3 (0,4–7,0) ос./10 км маршрута [6].

Южная золотистая ржанка (*Pluvialis apricaria apricaria*). Редкий пролетный и нерегулярно гнездящийся вид на сопредельной с участком «Тулашор» территории, занесен в ККРФ (категория 3) и КККО (категория III). Пролетающая пара встречена в пойме р. Федоровки возле п. Бажелка 22.05.2017 г. Самец с территориальным поведением отмечен 15.05.2017 г. на открытом участке Кушнюрского болота (Республика Коми) к северу от заповедника [7].

Поручейник (*Tringa stagnatilis*). Очень редкий пролетный вид, занесен в КККО (категория III). На участке «Нургуш» пара токующих птиц встречена 01.05.2014 г. в пойме р. Боровки (ур. Пальники) и одиночная особь – 30.04.2015 г. в окрестностях б. д. Михалицыны [3]. На участке «Тулашор» одну взрослую особь наблюдали 08.05.2022 г. в пойме р. Федоровки в окрестностях п. Бажелка.

Малая крачка (*Sterna albifrons*). Обычный гнездящийся вид участка «Нургуш», занесен в ККРФ (категория 2) и КККО (категория III). В 2014–2023 гг. встречался на участке «Нургуш» преимущественно по берегам р. Вятки, а также на оз. Нургуш, Кривое и Старица. В гнездовой период отмечаются одиночные особи, пары и группы по 5–15 до 27 особей. По результатам летнего учета, показатель численности на р. Вятке составляет 7,5 (0–24) ос./10 км маршрута [6].

Сплюшка (*Otus scops*). Редкий, вероятно, нерегулярно гнездящийся на участке «Тулашор» вид, занесен в КККО (категория IV). Токующий самец отмечен 13.05 и 06.06.2016 г., 13.06.2017 г. в ур. Пожмашор [7]. То, что птица два сезона подряд занимала практически один и тот же участок, исключает вероятность случайного залета. По-видимому, граница спорадического распространения вида в Кировской области за последнее десятилетие сдвинулась на север. В 2018–2022 гг. признаков присутствия сплюшки обнаружено не было, вероятный гнездовой участок исчез [3].

Филин (*Bubo bubo*). Редкий гнездящийся вид, занесен в ККРФ (категория 3) и в КККО (категория II). В 2016 г. на чердаке полуразрушенного дома в б. п. Тулашор было найдено гнездо филина, в котором обнаружены свежие линные перья, погадки и экскременты взрослых птиц [7]. В 2016–2017 гг. с конца зимы до середины лета здесь отмечалась активная вокализация самца. Отзывов самки не удалось услышать ни разу. В 2018 г. и позднее никаких следов присутствия филина обнаружить не удалось. Птица, вероятно, погибла, гнездовой участок исчез [3].

Серая неясыть (*Strix aluco*). Малочисленный гнездящийся вид, занесен в КККО (категория II). В 2014–2023 гг. серая неясыть встречалась на участке «Нургуш» преимущественно в августе, сентябре, октябре, единично в январе, мае, июне в окрестностях кордона на оз. Нургуш, близ оз. Нефедово и Кривое. Чаще регистрировались крики самца, реже самки и птенцов, а также визуальные встречи. На участке «Тулашор» вокализация молодого самца была

отмечена 30.03.2017 г. в долине р. Федоровки [7]. По-видимому, зарегистрирован случайный залет.

Бородатая неясыть (*Strix nebulosa*). Редкий, вероятно, гнездящийся на участке «Тулашор» вид, занесен в КККО (категория III). Одна взрослая особь была встречена 12.05.2018 г. неподалеку от б. п. Тулашор. В 2021 г. пара бородатых неясытей выявлена в ур. Пожмашор [3]. В 2023 г. по голосу токующего самца и визуальным отмеченной взрослой особи подтверждено наличие в этом месте гнездового участка.

Обыкновенный зимородок (*Alcedo atthis*). Очень редкий, возможно, гнездящийся вид, занесен в КККО (категория III). На участке «Нургуш» был встречен на р. Вятке 10.10.2015 г. у истока оз. Нургуш, 14.05.2019 г. – в ур. Черная Ласка [3], 06.08.2022 г. – в ур. Лаптевские покосы.

Удод (*Urupa eops*). Очень редкий залетный вид участка «Нургуш», занесен в КККО (категория III). Удод был встречен 16.05.2018 г. в окрестностях заповедника на грунтовой дороге с. Боровка [4].

Пестрый дрозд (*Zoothera varia*). Редкий гнездящийся на участке «Тулашор» вид, занесен в КККО (категория III). Предпочитает участки высоковозрастной темнохвойной тайги по берегам р. Федоровки. На участке «Тулашор» выявлено наиболее крупное поселение пестрого дрозда в Кировской области. Впервые токующий самец обнаружен в 2016 г. возле кордона Пожмашор. В 2017 г. по поющим самцам идентифицировано не менее 6 гнездовых участков в заповеднике, охранной зоне и сопредельной территории; в 2018 и 2019 гг. – по 5 гнездовых участков. Средняя плотность гнездования в 2016–2021 гг., составляла 0,7 вероятных гнездовых участков на 1 км² [3]. В 2022 гг. пестрые дрозды на участке «Тулашор» не были обнаружены. В 2023 г. один поющий самец зарегистрирован 03.05.2023 г. в окрестностях ур. Пожмашор. По-видимому, тулашорская тайга служит важным местообитанием вида на западной границе ареала, но его численность здесь значительно колеблется по годам, что характерно для периферических частей ареалов.

Горихвостка-чернушка (*Phoenicurus ochruros*). Редкий гнездящийся вид, занесен в КККО (категория III). Впервые поющий самец был обнаружен в окрестностях участка «Нургуш» 29.04–01.05.2020 г. Позже, 11.06.2020 г., в с. Боровка были найдены три слетка и кормящие их родители [8]. В последующие два года, 26–27.04.2021 г. [9] и 26–27.04.2022 г., здесь снова был встречен поющий самец. Пару птиц, строящих гнездо, наблюдали 06.06.2022 г., а 30.06.2022 г. было обнаружено гнездо с четырьмя птенцами [10]. В Нагорском районе вид был впервые обнаружен в 2023 г. Токующий самец встречен и сфотографирован 18.07.2023 г. на территории п. Бажелка.

Серый сорокопуд (*Lanius excubitor*). Редкий пролетный вид, занесен в КККО (категория III). На участке «Нургуш» одиночные особи наблюдались в апреле–мае 2018, 2020, 2022 гг. в окрестностях д. Морозовы; в октябре 2020, 2023 гг. – возле кордона на оз. Нургуш, в ур. Прудища и Нургушская Пола.

Князек (*Parus cyaneus*). Очень редкий зимующий вид, занесен в ККРФ (категория 3) и КККО (категория I). Князек встречен 18, 19.02.2021 г. в

охранной зоне участка «Нургуш». Птица в течение двух дней держалась в тростниковых зарослях в стайке с лазоревками (*Parus caeruleus*) [11].

Овсянка-ремез (*Ocyris rusticus*). Малочисленный гнездящийся вид, занесен в ККРФ (категория 2). Отмечен только в высоковозрастной темнохвойной тайге в пойме р. Федоровка и ее притоков. Плотность гнездования в 2016–2021 гг., составляла от 1,2 до 6,1 (в среднем 3,6) вероятных гнездовых участков на 1 км² [3]. В 2022–2023 гг. плотность населения составляла от 4,5 до 6 пар/км². На долю овсянки-ремеза приходилось 0,7–0,9% в составе птичьего населения тулашорской тайги. Общая численность этого вида на участке «Тулашор» (вместе с охранной зоной) может быть оценена в несколько сотен (до 1000) пар. Заповедник играет важную роль в сохранении этого редкого вида в Европейской России.

Библиографический список

1. Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. М. : ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. 1128 с.
2. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. 2-ое издание. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.
3. Позвоночные животные заповедника «Нургуш» / С. В. Кондрухова, С. В. Бакка, Е. В. Рогожникова, Н. Ю. Киселева // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Т. 7. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2023. 200 с.
4. Кондрухова С. В. Встречи особо охраняемых птиц в заповеднике «Нургуш» и его окрестностях в 2015–2021 гг. // Материалы V городских научно-практических чтений памяти ученого-естествоиспытателя С. В. Маракова (1929–1986) (г. Киров, 26 ноября 2021 г.). Киров, 2022. С. 36–40.
5. Бакка С. В., Киселева Н. Ю. Дневные хищные птицы Тулашорского участка заповедника «Нургуш» и сопредельной территории // Хищные птицы в ландшафтах Северной Евразии: Современные вызовы и тренды : материалы VIII Междунар. конф. РГХП, посвященной памяти А. И. Шепеля. (Воронежский заповедник, 21–27 сентября 2020 г.). Тамбов : Тамбовский полиграфический союз, 2020. С. 131–135.
6. Кондрухова С. В. Мониторинг численности околоводных птиц в Нургушской излучине р. Вятки // Материалы IV городских научно-практических чтений памяти учёного-естествоиспытателя С. В. Маракова (1929–1986). (г. Киров, 21 ноября 2019 г.). Киров : ООО «Радуга-ПРЕСС», 2020. С. 26–30.
7. Бакка С. В., Киселева Н. Ю. Итоги инвентаризации фауны наземных позвоночных участка «Тулашор» заповедника «Нургуш» и его окрестностей в 2011–2017 гг. // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Т. 4. Киров : ООО «Типография «Старая Вятка», 2017. С. 9–31.
8. Кондрухова С.В. Гнездование горихвостки-чернушки *Phoenicurus ochruros* в окрестностях заповедника «Нургуш» (Кировская область) // Русский орнитологический журнал. 2020. Т. 29. № 2000. С. 5475–5477.
9. Горихвостка-чернушка *Phoenicurus ochruros* в Кировской области / В. Н. Сотников, С. Ф. Акулинкин, Л. В. Батина и др. // Русский орнитологический журнал. 2021. Т. 30. № 2106. С. 4011–4018.
10. Дополнительные сведения о птицах Кировской области / В. Н. Сотников, И. А. Степанов, Е. А. Вотинцева и др. // Русский орнитологический журнал. 2023. Т. 32. № 2262. С. 57–87.

11. Борняков Г. А. Находка князька *Cyanistes cyanus* в заповеднике «Нургуш» (Кировская область) // Русский орнитологический журнал. 2021. Т. 30. № 2050. С. 1433–1434.

**ЭКСПРЕССИЯ ГЕНА *CYP6D1*
У ИМАГО ТРЕХ ЛИНИЙ *MUSCA DOMESTICA* L. (MUSCIDAE)
ПРИ ИНСЕКТИЦИДНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
НА ЛИЧИНОЧНУЮ СТАДИЮ**

К. С. Крестоношина, А. Д. Мельничук
*Всероссийский научно-исследовательский институт
ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал ТюмНЦ СО РАН,
г. Тюмень, Россия, krutko.k.s@hotmail.com*

В данной работе представлены результаты исследования воздействия хлорфенапира в сублетальной концентрации на уровень экспрессии гена *CYP6D1*, который потенциально может быть использован в качестве биомаркера, в имаго комнатной мухи. У имаго природной популяции (линия Nik) обнаружено статистически значимое снижение экспрессии гена при культивировании личинок в среде с инсектицидом.

Ключевые слова: сублетальное воздействие, хлорфенапир, *Musca domestica*, ген *CYP6D1*.

Исторически сложилось, что для борьбы с насекомыми вредителями используют инсектициды. Находясь продолжительное время в окружающей среде, инсектициды подвергаются влиянию абиотических и биотических факторов, что приводит к изменению их концентрации в пространственном и временном масштабе. При этом популяции насекомых зачастую пребывают под воздействием сублетальной и летальной концентрации инсектицидов, что в свою очередь влияет на их физиологию, выживаемость, поведение, экологию [1]. В некоторых случаях хроническое воздействие инсектицида приводит к развитию резистентности.

В последнее время наблюдается интерес к разработке диагностических систем на основе биохимических маркеров на присутствие в среде различных типов ксенобиотиков [2]. Перспективными кандидатами считаются ферменты семейства P450, которые играют ключевую роль в детоксикации широкого спектра синтетических инсектицидов [3, 4]. Поэтому вероятно изменение в их активности и экспрессии отдельных генов может быть использовано как биохимический маркер на присутствие инсектицидов в окружающей среде. Биохимические маркеры представляют собой биомаркеры эффекта, то есть демонстрируют отличительные реакции на присутствие определенной группы ксенобиотиков [1]. В этом исследовании мы проверяли ответную реакцию насекомых на присутствие в среде химического соединения – инсектицида хлорфенапира.

Хлорфенапир известен с конца 1990-х годов и является проинсектицидом, метаболит которого в организме насекомых разобщает окислительное фосфорилирование в митохондриях, прерывая синтез АТФ, что приводит к энергетическому голоданию и гибели клеток и, как следствие, всего организма. Инсектицид приобрел широкую популярность в защите растений, продемонстрировав хорошую активность и широкий инсектицидный спектр. Однако, со временем были обнаружены его недостатки, такие как токсикологическое воздействие на нецелевые виды и низкая степень деградации в окружающей среде. Таким образом, необходим контроль в использовании данного препарата [4].

Целью данного исследования было проверить, изменяется ли экспрессия гена *CYP6D1* у имаго, полученных при культивировании личинок в среде, содержащей инсектицид.

Комнатная муха – *Musca domestica* (Linnaeus, 1758) обладает коротким жизненным циклом и высоким репродуктивным потенциалом, реализуемым в лабораторных условиях, что делает её удобным модельным объектом для изучения различных генетических и популяционных процессов [5]. В данной работе были использованы особи *Musca domestica* линий Lab TY, Lab UF, Nik. Линия Lab TY была получена из Новосибирского аграрного университета в 2009 году, линия Lab UF – из лаборатории биохимии адаптивности насекомых Института биохимии и генетики УФИЦ РАН в 2023 году. Особи природной популяции Nik были выловлены в мае – сентябре 2023 года в животноводческих помещениях Тюменской области. Особи всех линий содержались в боксах с поддержанием постоянной температуры 27 ± 1 °C и относительной влажности воздуха $50 \pm 5\%$.

Личинок II возраста пересаживали на субстрат, однократно обработанный хлорфенапиrom в концентрации 0,0025% по д. в. (Пирафен КЭ, д. в. хлорфенапир, 360 г/л). Тотальную РНК (тотРНК) выделяли с помощью микроколонок High Pure totalRNA kit (Magen, Китай), дополнительно обрабатывая ДНКазой I. Количество и качество тотРНК оценивали спектрофотометрически на приборе Nano-500 (Allsheng, Китай) по соотношению оптической плотности при длине волн 260/280 нм (коэффициент поглощения 1,9–2,1). Целостность фракций тотРНК проверяли в 1 % агарозном геле электрофорезе. Первую цепь кДНК синтезировали с помощью набора MMLV RT (Eurogen, РФ) согласно инструкции производителя. Праймеры для исследования гена *CYP6D1*: F 5' - AGAACGCTTTGCCGATGAG - 3'; R 5' - GCTACSTTGGAATTGATAACGC - 3' были разработаны с использованием программного обеспечения Beacon designer 5.0 на последовательность №AF200191.1 в базе NCBI. ПЦР в реальном времени проводили, используя смесь 5X qPCRmix-HS SYBR (Eurogen, РФ), на амплификаторе Gentier 96E (Tianlong, Китай). Каждую реакцию проводили не менее чем в трех повторях, для исключения загрязнения реагентов использовали нематричный контроль и негативный контроль. Стандартную кривую строили для каждого отобра-

ного гена *M. domestica* с использованием 10-кратных серийных разведений объединенной кДНК.

Так как было использовано два референсных гена (*EF-1*, *RPS18*) для начала усредняли их значения Ct: $ct[ref] = \text{mean}(ct[ref[1]], ct[ref[2]])$. Относительно полученного значения Ct[ref] проводили анализ дельта-дельта-Ct для каждой линии. Сравнение линий до и после воздействия хлорфенапиrom проводили по U-критерию Манна-Уитни при $p = 0,05$. Объемы выборок для каждой линии составляли по 10 самцов и 10 самок.

Анализ полученных данных показал статистически значимые отличия только для линии Nik как у самок, так и у самцов, где обнаружено снижение экспрессии в 1,7 и 1,9 раз ($p < 0,05$) соответственно. Для остальных линий уровень экспрессии гена *CYP6D1* незначительно увеличивается, за исключением самцов линии Lab UF, однако эти изменения являются недостоверными (рис.).

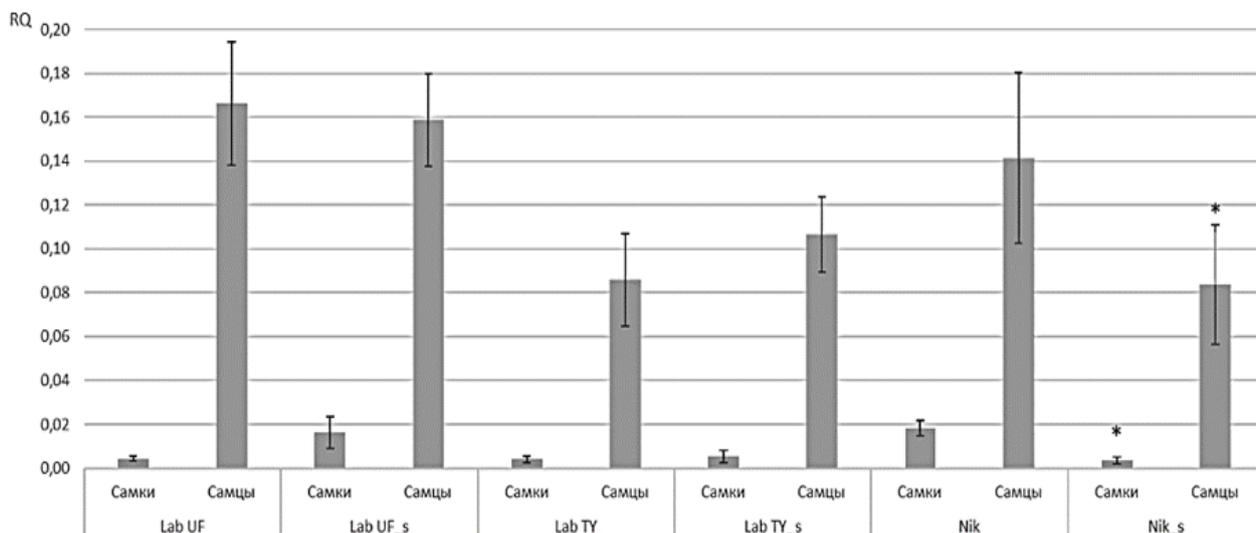


Рис. Относительный анализ экспрессии гена *CYP6D1* в имаго до и после однократного воздействия хлорфенапира на личиночную стадию.

RQ \pm SD – стандартное отклонение, * – отличия статистически значимы, $p \leq 0,05$, по U-критерию Манна-Уитни

Таким образом, особи (самки и самцы) природной популяции продемонстрировали снижение уровня экспрессии гена *CYP6D1* в ответ на сублетальное воздействие хлорфенапиrom на личинки. Так как для других линий данной закономерности не обнаружено, использование гена *CYP6D1* в качестве биомаркера эффекта для хлорфенапира нецелесообразно.

Работа выполнена всероссийским научно-исследовательским институтом ветеринарной энтомологии и арахнологии ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2022-0022).

Библиографический список

1. The sublethal effects of insecticides in insects / S. M. De França, M. O. Breda, D. R. S. Barbosa et al. DOI: 10.5772/66461 // Biological control of pest and vector insects. InTech, 2017. P. 23–39.
2. Tabrez S., Ahmad M. Cytochrome P450 system as potential biomarkers of certain toxicants: comparison between plant and animal models. DOI: 10.1007/s10661-012-2765-z // Environ. Monit. Assess. 2013. Vol. 185. P. 2977–2987.
3. Scott J. G. Cytochromes P450 and insecticide resistance. DOI: 10.1016/s0965-1748(99)00038-7 // Insect Biochem. Mol. Biol. 1999. Vol. 29. No. 9. P. 757–777.
4. A comprehensive review of the current knowledge of chlorfenapyr: synthesis, mode of action, resistance, and environmental toxicology / P. Huang, X. Yan, B. Yu et al. DOI: 10.3390/molecules28227673 // Molecules. 2023. Vol. 28. No. 22. Article No. 7673.
5. Никоноров Ю. М., Беньковская Г. В. Селекция на продолжительность жизни в лабораторных линиях комнатной мухи *Musca domestica* // Биомика. 2013. Т. 5. № 1 (2). С. 44–47.

ПАЗИТОФАУНА РЫБ В РЕКЕ СЕХЕ НА ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦЫНА

Д. Д. Малышева¹, Л. В. Мурадова^{1,2}

¹ Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия,

² ГПЗ «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына,
г. Кострома, Россия, dashamalysheva_0_0_0@mail.ru, mlv44@mail.ru

В статье представлена количественная оценка зараженности паразитами рыб в реке Сехе, находящейся на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына за 2023 г. Обнаружено 4 вида паразитов, из которых преобладает *Ligula intestinalis*, определена общая зараженность рыб паразитами, экстенсивность и интенсивность инвазии.

Ключевые слова: паразитофауна, индекс обилия, интенсивность инвазии, экстенсивность инвазии, заповедник «Кологривский лес».

Заражение паразитами оказывает негативное воздействие на рыб, приводит к снижению выживаемости и роста особей, нарушению обмена веществ и воспроизводства, а также способствует различным заболеваниям. Эктопаразиты, разрушая покровы кожи и жабр, облегчают проникновение в организм рыб различных инфекций, бактерий, грибов, простейших и др. Паразиты играют важную роль в биологическом балансе и экологическом состоянии водных экосистем. Они могут воздействовать на разные организмы, регулировать их численность и биоразнообразие. Поэтому важно контролировать зараженность рыб паразитами, принимать меры по ее предотвращению и лечению, чтобы сохранить экосистему, здоровье рыб и других животных.

Исследования проводились в летний период 2023 г. на территории заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына. Объектом исследования были 78 особей разных видов рыб, обитающих в р. Сехе, длина которой составляет 34 км, ширина – 4–6 м и глубина – от 0,3 до 1,5 м [1]. Видовую принадлежность рыб устанавливали с помощью определителя [2]. Все рыбы подвергались полному гельминтологическому вскрытию [3]. На наличие паразитов исследовались кровь, кожа, плавники, носовая и ротовая полости, жабры, желчный и мочевой пузыри, брюшная полость, почки, сердце, пищеварительный тракт, печень, селезенка, гонады, головной и спинной мозг, хрящи, мышцы, глаза. Определение видов паразитов проводили с помощью определителя [4]. Для количественной характеристики зараженности рыб паразитами рассчитывали экстенсивность инвазии (%) по формуле: $E = n / N \cdot 100$, где n – количество зараженных особей-хозяев, N – число исследованных особей хозяев; среднюю интенсивность инвазии по формуле: $I = m / n$, где m – число обнаруженных гельминтов, n – число зараженных особей хозяев; индекс обилия по формуле: $M = m / N$, где m – число обнаруженных гельминтов, N – число исследованных особей хозяев. Математическая обработка данных выполнялась общепринятыми статистическими методами [5].

В результате анализа материала у рыб в р. Сехе было обнаружено 4 вида паразитов, относящихся к 4 классам: *Oligohymenophoreade*, *Monogenea*, *Cestoda*, *Clitellata* (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав и количество зараженности рыб паразитами в р. Сехе

Виды гельминтов и их систематическое положение	Хозяин	Место локализации паразита	Заражено особей, %	Количество гельминтов, мин.-макс. (всего)
<i>Apiosoma piscicolum</i> (Blanchard, 1885) Класс: <i>Oligohymenophoreade</i>	<i>Gymnocephalus cernua</i>	жабры	33,3	5–8
<i>Dactylogyrus rutili</i> (Glaser, 1965) Класс: <i>Monogenea</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	жаберные лепестки	15,8	3–8
<i>Ligula intestinalis</i> (Linnaeus, 1758) Класс: <i>Cestoda</i>	<i>Leuciscus leuciscus</i>	полость тела	31,4	2–6
	<i>Rutilus rutilus</i>	полость тела	47,4	1–8
<i>Piscicola geometra</i> (Linnaeus, 1758) Класс: <i>Clitellata</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	Поверхность тела, ротовая и жаберная полости	5,3	1

В результате наших исследований установлено, что наиболее часто рыба заражена распространенным паразитом *Ligula intestinalis*: *Rutilus rutilus* – 47,4% особей в улове, *Leuciscus leuciscus* – 31,4% особей в улове. Это связано с употреблением в пищу инвазированных рачков и частым посещением реки

рыбоядными птицами, в том числе инвазированными половозрелыми стадиями гельминтов, что и служит источником распространения инвазии. У 33,3% особей обыкновенного ерша в жабрах был обнаружен паразитический вид инфузорий *Apiosoma piscicolum*. В жаберных лепестках у 15,3% особей *Rutilus rutilus* был обнаружен широко распространенный в реках вид *Dactylogyrus rutili*. У 5,3% особей *Rutilus rutilus* на поверхности тела, в ротовой и жаберной полости обнаружен эктопаразит *Piscicola geometra*.

Таблица 2

Количественные показатели зараженности рыб паразитами

Паразит	Хозяин	Экстенсивность инвазии, E,%	Средняя интенсивность инвазии, I	Индекс обилия, M
<i>Apiosoma piscicolum</i>	<i>Gymnocephalus cernua</i>	33,3	5,0	0,8
<i>Dactylogyrus rutili</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	15,8	5,3	0,8
<i>Ligula intestinalis</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	47,4	1,3	2,7
<i>Ligula intestinalis</i>	<i>Leuciscus leuciscus</i>	31,4	1,0	1,6
<i>Piscicola geometra</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	5,3	1,0	0,002

Экстенсивность инвазии *Ligula intestinalis* у *Rutilus rutilus* достигает 47,4%, при средней интенсивности инвазии 1,3 и индексе обилия – 2,7. У *Leuciscus leuciscus* экстенсивность инвазии *Ligula intestinalis* составила — 31,4% при средней интенсивности инвазии – 1 и индексе обилия – 1,6. Высокая зараженность рыб *Ligula intestinalis* объясняется наличием большого количества дефинитивных и промежуточных хозяев: птиц и рачков диаптомусов в водной экосистеме. Экстенсивность инвазии *Apiosoma piscicolum* достигает 33,3% при средней интенсивности инвазии – 5 и индексе обилия – 0,8. Этот паразит встречался лишь на двухлетках, что характерно для данного паразита. У паразита *Dactylogyrus rutili* экстенсивность инвазии составляет 15,8% при средней интенсивности инвазии – 5,3.

В результате наших исследований установлено, что заражению паразитами подвержены в большей степени особи в возрасте 3+, от 10,5% (*Dactylogyrus rutili*) до 31,5% (*Ligula intestinalis*). Экстенсивность инвазии *Dactylogyrus rutili* у *Rutilus rutilus* в возрасте 2+ лет достигает 5,2% при средней интенсивности инвазии 8 и индексе обилия 0,4. В возрасте 3+ лет экстенсивность инвазии была в 2 раза выше, а интенсивность инвазии и индекс обилия – ниже. Максимальные показатели инвазии *Ligula intestinalis* у *Rutilus rutilus* были в возрасте 3+ лет, экстенсивность инвазии составляет 31,5%, интенсивность инвазии – 3,8, индекс обилия – 0,2. В молодом неполовозрелом возрасте заражение плотвы встречается реже, и количество паразитов в особи-хозяине меньше. В возрасте 4+ лет зараженных особей мало, но интенсивность и индекс обилия достаточно высок и составляет 0,2 и 3 соответственно. Аналогичная ситуация заражения *Ligula intestinalis* наблюдается у *Leuciscus leuciscus*. В возрасте 3+ лет максимальная зараженность, интенсивность инвазии и индекс обилия – 14,2, 3,6 и 0,1 соответственно. У неполовозрелых осо-

бей и в возрасте 4+ лет и старше показатели зараженности ниже. Самые высокие показатели интенсивности инвазии и индекса обилия наблюдались у особей 6+ лет, у которых происходят возрастные изменения иммунитета.

Исследования, проведенные на отдельных видах гельминтов, показали, что причинами большей зараженности самок по сравнению с самцами являются различия в спектре питания рыб разного пола и пищевая активность половозрелых самок [6]. Мы провели сравнительный анализ зараженности самцов и самок (табл. 3).

Таблица 3

Зараженность паразитами самцов и самок разных видов рыб

Паразит	<i>Apiosoma piscicolum</i>	<i>Dactylogyrus rutili</i>		<i>Ligula intestinalis</i>				<i>Piscicola geometra</i>
	<i>Gymnocephalus cernua</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	<i>Leuciscus leuciscus</i>	<i>Leuciscus leuciscus</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	
Хозяин								
Пол особей	♂	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♀
Экстенсивность инвазии, E, %	33,3	5,2	10,5	0,2	0,3	0,2	0,1	5,3
Средняя интенсивность инвазии, I	5	8	4	0,9	0,6	0,5	0,4	1
Индекс обилия, M	0,8	0,4	0,2	0,2	0,12	0,07	0,1	0,002

Экстенсивность инвазии *Dactylogyrus rutili* у самок *Rutilus rutilus* значительно выше, чем у самцов и составила 10,5%, при этом средняя интенсивность инвазии и индекс обилия был в 2 раза выше у самцов. Аналогичная картина с инвазией *Ligula intestinalis*: у самок *Rutilus rutilus* экстенсивность инвазии была выше, чем у самцов, и составила 0,3%, а интенсивность инвазии и индекс обилия был выше у самцов. В выборке *Leuciscus leuciscus* экстенсивность и интенсивность инвазии *Ligula intestinalis* была выше у самцов, а индекс обилия больше у самок – 0,1.

Таким образом, в р. Сехе на территории заповедника «Кологривский лес» в 2023 г. обнаружено 4 вида паразитов рыб, среди которых наиболее распространенным является *Ligula intestinalis*: зараженность *Rutilus rutilus* составила 47,4 % особей в улове, *Leuciscus leuciscus* – 31,4% особей в улове. В большей степени паразитами *Dactylogyrus rutili* и *Ligula intestinalis* заражены рыбы в возрасте 3+, выявлены различия у самцов и самок количественных показателей зараженности паразитами.

Библиографический список

1. Оценка состояния ихтиофауны в реке Сехе на территории Кологривского участка заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына / А. С. Максимов, Л. В. Мурадова, Д. Д. Малышева, П. С. Стрекалова // Научные труды Государственного природного заповедника «Кологривский лес» : сборник науч. трудов. Кологрив : Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына, 2023. С. 139–145.
2. Евдокимов В. Д., Кривошеин В. В., Назарова А. В. Определитель позвоночных животных Костромской области. Кострома : КГУ имени Н. А. Некрасова, 2007. 190 с.
3. Паразитологическое исследование рыб : методическое пособие / Н. Б. Чернышёва, Е. В. Кузнецова, В. Н. Воронин, Ю. А. Стрелков. СПб., 2009. 20 с.

4. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР / под ред. О. Н. Бауера. Т. 3 : Паразитические многоклеточные, ч. 2 / [Сост. В. В. Авдеев и др.]; Отв. ред. О. Н. Бауер. Л. : Наука, 1987. 583 с.

5. Лакин Г. Ф. Биометрия : учебное пособие для биологических специальностей вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Высшая школа, 1990. 352 с.

6. Евланов И. А. Экологические аспекты устойчивости паразитарных систем (на примере паразитов рыб) : спец. 03.00.19 : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1993. 41 с.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ *FORMICA RUFULA* L. В УСЛОВИЯХ ЛЕСНЫХ БИОТОПОВ ЗЕЛЕНОДОЛЬСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

А. С. Низамова, Н. В. Турмухаметова
Марийский государственный университет,
г. Йошкар-Ола, Россия, n.alsu2015@yandex.ru, bonid@mail.ru

В статье приводятся данные о изменчивости суточных биоритмов рыжих лесных муравьев *Formica rufa* L. в лесных биотопах Зеленодольского района Республики Татарстан. Установлена зависимость активности муравьёв от погодных условий и временем суток ($p < 0,05$). С увеличением температуры и активности солнечной радиации активность муравьёв возрастает в 5 раз.

Ключевые слова: *Formica rufa*, лесные экосистемы, муравейник, гнездо, активность муравьёв, муравьиные тропы

Суточная активность и архитектура муравейников *Formica rufa* L. представляют собой ключевые аспекты их жизнедеятельности, существенно влияющие на адаптацию и выживаемость данного вида в различных условиях окружающей среды. Изучение биоритмов и структуры гнезд рыжих лесных муравьев в лесных биотопах Зеленодольского района Республики Татарстан является актуальной задачей, поскольку позволяет не только понять особенности поведения этого вида, но и расширить знания о взаимодействии между муравьями и их окружающей средой.

Изменчивость сезонных и суточных биоритмов рыжих лесных муравьев *Formica rufa* зависит от погодных условий, в первую очередь от состояния окружающей среды, особенности поведения и образа жизни муравьев.

Многие виды муравьев имеют чрезвычайно большие по площади ареалы. Учитывая существенные различия в условиях обитания в разных районах столь обширной области распространения, можно предположить, что экология и поведение, в частности – динамика активности в течение дня, у представителей конкретного вида может существенно отличаться на различных территориях.

Рыжий лесной муравей широко распространен в Евразии. Интересно, что это единственный вид группы рыжих лесных муравьев, который обнару-

жен даже в горных лесах Кавказа, хотя в этой местности он встречается крайне редко [1].

Представители *Formica rufa* одинаково охотно заселяют как хвойные, так и лиственные леса, избегая при этом открытых мест. Купол может находиться на лугу, но всегда рядом с опушкой леса, или же под отдельно стоящим деревом, группой деревьев [1, 2].

Цель исследования: изучить жизнедеятельность *Formica rufa* в условиях лесных биотопов одного из районов Республики Татарстан.

Исследование проводилось в пгт. Васильево Зеленодольского района. Район находится на северо-западе Республики Татарстан. Левобережная часть района, где проводилось исследование, расположена в зоне умеренно-континентального климата и относится к Предкамскому климатическому району с относительно влажным и прохладным летом и умеренно холодной и снежной зимой. Доминирующим типом лесной растительности являются сосновые леса с разреженным моховым покровом.

Рыжий лесной муравей относится к видам с дневной активностью [1]. Одной из главных задач исследования была оценка суточной активности муравьёв в различных условиях. Было выбрано 5 модельных муравейников разного объёма и месторасположения. Сбор данных по суточной активности муравьёв проводился в июле 2023 г. Исследования проводили в разные по погоде дни – пасмурные с повышенной влажностью, а также в ясные и засушливые. Для анализа активности муравьёв в различное время суток было выбрано три временные точки: 9:00; 13:00 и 17:00.

Результаты количественного анализа суточной активности муравьёв были статистически обработаны при помощи однофакторного дисперсионного анализа по критериям Шеффе, трехфакторного анализа с фиксированными переменными: Модель I и непараметрической статистики по критериям Краскела-Уоллиса и Вилкоксона-Манна-Уитни, корреляционного анализа Спирмена [3].

Была установлена зависимость активности муравьёв от погодных условий и времени суток ($p < 0,05$). В ясную и сухую погоду в 9:00 средним значением активности среди всех муравейников было 65 шт./мин, в то время как в пасмурную и влажную всего 14 шт./мин. Такая же тенденция наблюдается и в других временных точках: в 13:00 в солнечную погоду наблюдается средняя активность 65 шт./мин, против 7 в пасмурную. В вечернее время (17:00) это значения 39 и 13 шт./мин в солнечную и пасмурную погоду соответственно. Изучение активности муравьёв в ясную и пасмурную погоду в зависимости от влажности и солнечной радиации показало, что активность муравьёв выше в солнечную погоду, чем в пасмурную. На основе среднего значения активности между всеми пятью муравейниками, можно сказать, что в солнечную погоду активность муравьёв в 5 раз выше.

Выявлена биотопическая приуроченность муравьёв семейства *Formicidae*. Гнездо рыжего лесного муравья состоит из подземной и наземной (покровной) частей. Особенностью строения гнезда является покровный слой.

Он сооружается муравьями из мелкого растительного материала: чешуек почек, еловых шишек, засохших соцветий. Покровный слой имеет значительную плотность и толщину. Функция покровного слоя заключается в защите гнезда от промокания и в сохранении тепла в муравейнике.

Были произведены измерения параметров гнезда для дальнейших подсчетов его объема и площади. Также были измерены муравьиные тропы, выяснено их назначение и конечное место тропы [4]. В ходе чего проводился анализ зависимости объема муравейника и средней длины всех его троп.

От гнезд муравьев отходят тропы различного назначения. Исследования показали, что по кормовым тропам осуществлялось активное перемещение муравьев. Дороги обеспечивают оптимальное для использования ресурсов кормового участка размещения фуражиров на нем. Величина динамической плотности на кормовом участке и интенсивность движения по дорогам являются важными показателями в характеристике поведения муравьев на своей территории.

Для установления зависимости средней длины троп от объема муравейника был проведен корреляционный анализ Спирмена. Результаты анализа показали наличие статистически значимой зависимости между средней длиной троп и объемом муравейника ($p < 0,05$). Это свидетельствует о тесной взаимосвязи между структурой муравейника и характеристиками муравьиной активности, что подчеркивает важность изучения не только поведенческих аспектов, но и архитектуры муравьиных поселений для понимания адаптации рыжих лесных муравьев к условиям их обитания.

Полученные результаты нашего исследования об изменчивости суточных биоритмов рыжих лесных муравьев *F. rufa* в лесных биотопах Зеленодольского района Республики Татарстан подтверждают предыдущие исследования, указывающие на влияние погодных условий на активность муравьев [5–7]. Наши результаты также показывают, что суточная активность муравьев может быть связана с такими факторами, как температура и влажность воздуха.

Наши результаты представляют интерес для дальнейших исследований в области поведения и экологии муравьев.

Библиографический список

1. Длусский Г. М. Муравьи рода Формика (Hymenoptera, Formicidae, *G. Formica*). М. : Наука, 1967. 236 с.
2. Мониторинг муравьев Формика : информационно-метод. пособие / Отв. ред. А. А. Захаров. М. : КМК, 2013. 99 с.
3. Елисеева И. И., Юзбашев М. М. Общая теория статистики : учебник. М. : Финансы и статистика, 2004. 656 с.
4. Дунаев Е. А. Муравьи Подмоскovie: методы экологических исследований. М. : МосгорСЮН, 1999. 96 с.
5. Бритиков А. И. Дневная активность рыжего лесного муравья (*Formica rufa* Linnaeus, 1761) и северного лесного муравья (*Formica aquilonia* Yarrow, 1955) // StudArctic forum. 2021. Т. 2. № 22. С. 34–58.

6. Павлова Н. С., Аникин В. В., Воронин М. Ю. Особенности суточной активности муравьев (Hymenoptera, Formicidae) в Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Химия. Биология. Экология. 2013. Т. 13. № 4. С. 73–76.

7. Parr C. L., Bishop T. R. The response of ants to climate change. DOI: 10.1111/gcb.16140 // Glob. Chang. Biol. 2022. Vol. 12 No. 15. P. 112–122.

ФАУНА И ЭКОЛОГИЯ СЛЕПНЕЙ (DIPTERA, TABANIDAE) ПОРХОВСКОГО РАЙОНА ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

П. И. Петрова, В. В. Прокофьев

*Псковский государственный университет,
г. Псков, Россия, rusik_yak.16@mail.ru*

В статье представлены сведения о фауне слепней Порховского района Псковской области. Определены особенности сезонной динамики лёта слепней и зависимость активности лёта от температуры и относительной влажности воздуха.

Ключевые слова: Tabanidae, сезонная динамика, температура воздуха, относительная влажность воздуха.

Слепни – теплолюбивые и светолубивые эктопаразиты, принадлежащие к кровососущим двукрылым насекомым комплекса «гнус». Нападение табанид в период массового лёта наносит вред здоровью человека и негативно влияет на его хозяйственную деятельность [1–3]. Имаго появляются в природе в умеренных широтах в конце мая [1] с наступлением устоявшейся летней солнечной погоды, при среднесуточной температуре воздуха 12–18 °С [3]. Лёт слепней и нападение на прокормителя наиболее интенсивны при температуре выше 20 °С [1], а при температуре воздуха, превышающей 30–32 °С начинается угнетение активности имаго [2]. Препятствует лёту большинства видов слепней, за исключением представителей рода *Haematopota*, пасмурная погода или слабый дождь с температурой воздуха 13–14 °С [1]. Поэтому разные виды слепней характеризуются различными сроками начала лёта. Одни виды появляются раньше, другие позже, сменяя друг друга.

В связи с вышеизложенным, целью работы стало определение оптимальных условий, регулирующих сезонную активность слепней на территории Порховского района Псковской области. При проведении исследований учитывались такие факторы, как температура и относительная влажность воздуха, которые выступают в качестве основных регуляторов динамики активности табанид [4, 5].

Сборы имаго проводили с мая по август в 2020, 2021 и 2023 гг. в д. Боровичи (57.955877°N, 29.641718°E) Порховского района Псковской области. Отлов слепней проводили с использованием чучелообразной ловушки (2021 г.) и шаровидной ловушки типа «Манитоба» (2020 и 2023 г.) в дни благоприятных погодных условий. Всего было собрано 5566 экземпляров слеп-

ней. Определение видовой принадлежности слепней осуществляли по монографии Н. Г. Олсуфьева [1]. Для разделения видов слепней по степени их обилия пользовались градацией, ранее предложенной К. В. Скуфьиным [2]. Согласно этой градации к массовым (доминирующим) относились виды, число особей которых в сборах превышает 8%, к многочисленным (субдоминирующим) – от 2 до 8%, малочисленным – от 0,5 до 2%, редким – от 0,1 до 0,5%.

В результате исследований было установлено, что фауна слепней Порховского района включает 23 вида, принадлежащих к 5 родам. Анализ фауны табанид, проведённый с учётом ландшафтно-зонального типа ареала, позволил выделить 8 неморальных и 8 таёжно-неморальных видов, 4 лесостепных и 3 таёжных вида. Из них наибольшее количество особей принадлежат к неморальным (45,4%), а наименьшее – таёжным видам (0,6%). При этом к массовым видам среди неморальных относится *Haematopota pluvialis* (39,2%), лесостепных – *H. subcylindrica* (25,4%) и таёжно-неморальных – *Hybomitra bimaculata* (14,3%). К многочисленно встречающимся видам принадлежит неморальный *Chrysops viduatus* (2,2%) и таёжно-неморальный *Hybomitra muehlfeldi* (5,7%). Остальные виды относятся к малочисленным, редким и единично встречающимся (табл.).

Таблица

Видовой состав слепней Порховского района Псковской области

Вид	Год сборов							
	2020		2021		2023		Всего	
	N (экз.)	ИД (%)	N (экз.)	ИД (%)	N (экз.)	ИД (%)	N (экз.)	ИД (%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Таёжные виды								
<i>Hybomitra arpadii</i>	10	0,81	11	0,38	6	0,37	27	0,47
<i>H. nigricornis</i>	–	–	1	0,03	–	–	1	0,03
<i>H. tarandina</i>	5	0,4	–	–	1	0,06	6	0,1
Таёжно-неморальные виды								
<i>Chrysops caecutiens</i>	19	1,53	8	0,28	17	1,05	44	0,77
<i>Hybomitra bimaculata</i>	303	24,4	97	3,38	417	25,75	818	14,25
<i>H. lundbeckii</i>	18	1,45	–	–	23	1,42	41	0,72
<i>H. lurida</i>	25	2,01	1	0,03	–	–	26	0,45
<i>H. muehlfeldi</i>	140	11,27	108	3,76	78	4,82	326	5,69
<i>H. nitidifrons confiformis</i>	36	2,9	2	0,07	8	0,5	46	0,8
<i>H. kaurii</i>	–	–	1	0,03	–	–	1	0,01
<i>H. montana</i>	3	0,24	–	–	–	–	3	0,05
Неморальные виды								
<i>Atylotus fulvus</i>	–	–	3	0,1	1	0,06	4	0,07
<i>A. rusticus</i>	–	–	–	–	1	0,06	1	0,02
<i>Chrysops viduatus</i>	42	3,38	62	2,16	19	1,17	123	2,15
<i>Haematopota crassicornis</i>	3	0,24	97	3,38	–	–	100	1,74
<i>H. pluvialis</i>	262	21,1	1518	52,84	468	28,91	2248	39,2
<i>Hybomitra distinguenda</i>	6	0,48	15	0,52	11	0,68	32	0,56
<i>Tabanus bovinus</i>	22	1,77	18	0,63	12	0,74	52	0,91
<i>T. sudeticus</i>	1	0,08	35	1,22	6	0,37	42	0,73

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Лесостепные виды								
<i>Haematopota subcylindrica</i>	241	19,4	749	26,07	466	28,78	1456	25,39
<i>Hybomitra ciureai</i>	33	2,66	29	1,01	11	0,68	73	1,27
<i>Tabanus autumnalis</i>	1	0,08	–	–	1	0,06	2	0,03
<i>T. bromius</i>	3	0,24	63	2,19	28	1,73	94	1,64

Примечание: N – количество слепней, ИД – индекс доминирования, прочерк означает отсутствие вида.

Сравнительный анализ видового состава слепней показал, что в 2020 г. в районе исследований было отмечено 19 видов, в 2021 и 2023 гг. – 18 видов. При этом, каждый год с разной частотой встречаемости регистрировали 11 видов и всегда доминирующих 2 вида слепней (*Haematopota pluvialis* и *H. subcylindrica*). Помимо этого, некоторые виды были отловлены лишь в двух сезонах или только за один сезон. Так, только в 2020 г. встречался таёжно-неморальный вид *Hybomitra montana*, в 2021 г. – таёжный вид *H. nigricornis* и таёжно-неморальный вид *H. kaurii* и в 2023 г. – неморальный вид *Atylotus rusticus*. Следует отметить, что 2021 г. отличается от остальных сезонов преобладанием в сборах неморальных видов слепней из рода *Haematopota*. Возможно, это обусловлено поздним вылетом слепней (во второй декаде июня) из-за неблагоприятных погодных условий, что обусловило снижение численность таёжно-неморальных видов рода *Hybomitra*, которые активно летят в период с третьей декады мая по третью декаду июня (табл.).

Результаты исследований сезонной динамики лёта слепней показали, что характер лёта слепней в разные годы различался. Так, в 2023 г. начало лёта приходилось на вторую декаду мая, в 2021 г. – на вторую декаду июня и в 2020 г. – на первую декаду июня. Окончание лёта в 2023 г. отмечено в третьей декаде августа, в 2021 г. – в первой декаде июля и в 2020 г. – во второй декаде июля. В начале сезона преобладали раннелетние виды слепней рода *Hybomitra*, лёт которых заканчивался в третьей декаде июля. Со второй или третьей декады июня к лету слепней рода *Hybomitra* присоединялись виды рода *Chrysops*, *Haematopota* и *Tabanus*. Лёт летних видов рода *Chrysops* завершался во второй декаде июля, рода *Tabanus* во второй декаде июня (2020 г.), в первой или третьей декаде августа (2021 и 2023 г.). Виды рода *Haematopota* последними завершали лёт. Также в конце сезона отмечали единичные вылеты слепней рода *Atylotus* (рис. 1).

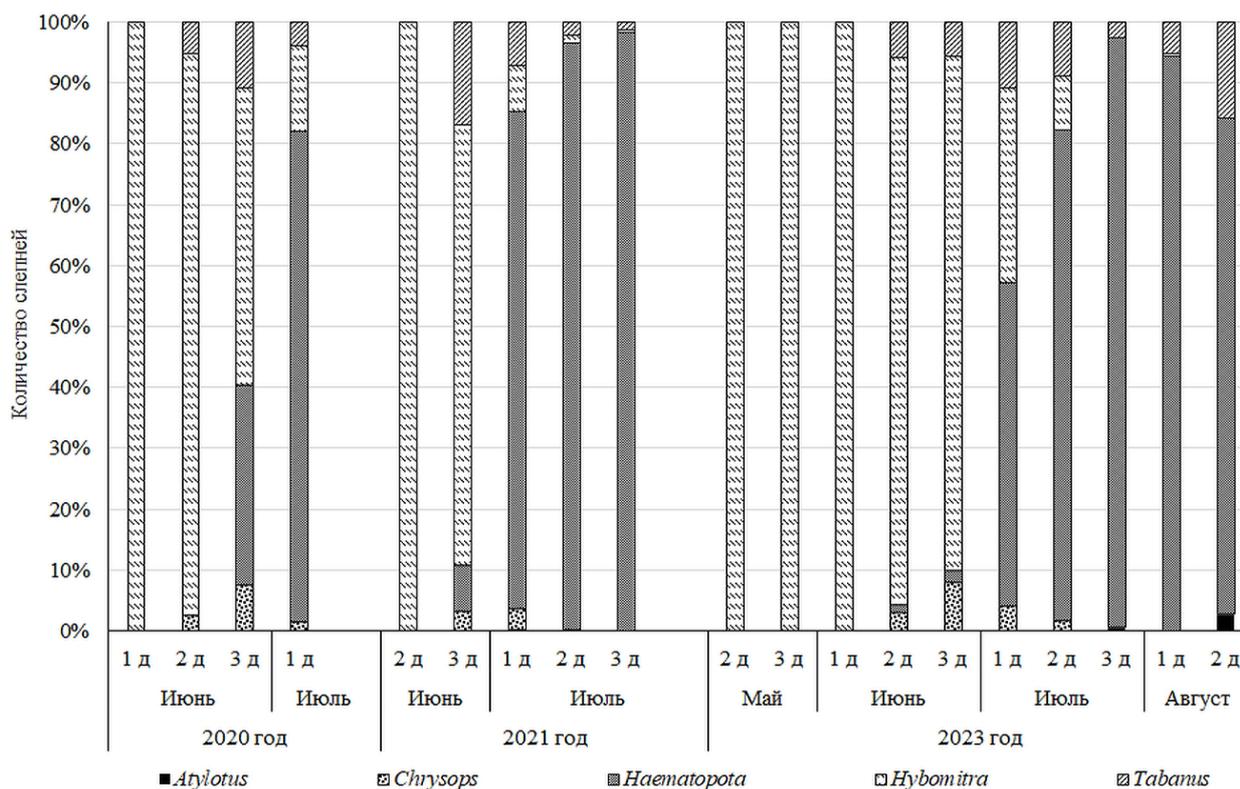


Рис. 1. Сезонная динамика лёта слепней в Порховском районе Псковской области в 2020, 2021 и 2023 гг.

Анализ зависимости сезонной динамики лёта слепней от среднесуточной температуры и относительной влажности воздуха показал, что пики активности имаго наблюдались при колебаниях среднесуточной температуре воздуха от 19 до 21 °С и среднесуточной относительной влажности воздуха от 68 до 75%. При этих показателях максимальное количество табанид в третью декаду июня 2020 г. составило 677 особей, в первую декаду июля 2021 г. – 1941 особей и первую декаду августа 2023 г. – 597 особей. При повышении среднесуточной температуры воздуха до 21 °С и снижении среднесуточной относительной влажности воздуха до 68–75% отмечали наибольшую активность лёта слепней. При повышении температуры выше 21 °С и при возрастании среднесуточной относительной влажности воздуха выше 76% интенсивность лёта слепней снижалась (рис. 2).

Таким образом, в 2020 г. общая продолжительность лёта составила 33 дня, в 2021 г. – 40 дней и в 2023 г. – 86 дней. Указанные различия в продолжительности лёта обусловлены погодными условиями. Так, если в начале летнего сезона погодные условия крайне неблагоприятны (май и июнь характеризуются низкими среднесуточными температурами воздуха, запоздалым таянием снега, частыми дождями, градом), то лёт слепней начинался в первой или во второй декаде июня (2020 и 2021 гг.). И, наоборот, при ранней и тёплой весне первые слепни появляются уже во второй декаде мая (2023 г.). Следует заметить, что окончание лёта в 2020 г. приходилось на более ранний период (на вторую декаду июля). Это обусловлено отмеченными, с середины

июля и до середины августа, понижениями среднесуточной температуры в сочетании с повышениями среднесуточной относительной влажности воздуха из-за ежедневных атмосферных осадков в виде дождей.

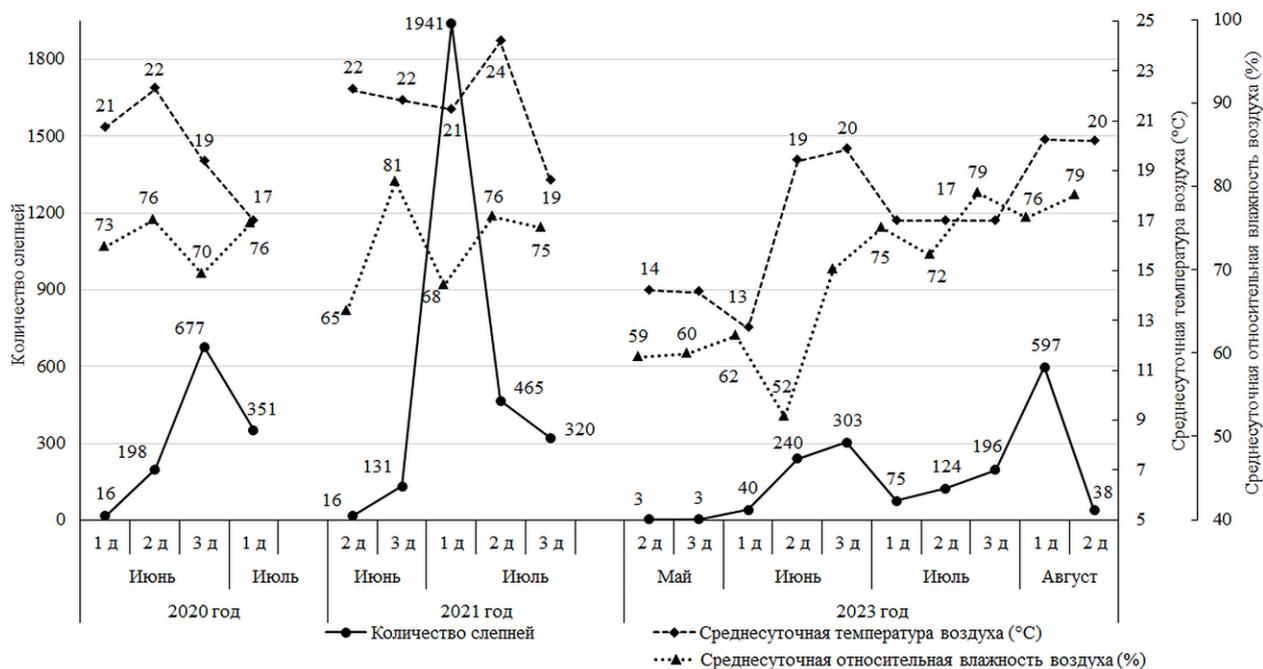


Рис. 2. Зависимость интенсивности лёта слепней от среднесуточной температуры и относительной влажности воздуха в Порховском районе Псковской области.

Пик наибольшей активности слепней в 2020 г. пришёлся на третью декаду июня, в 2021 г. – на первую декаду июля и в 2023 г. – на первую декаду августа. Указанные смещения интенсивности лёта связаны с тем, что предыдущие декады характеризовались либо понижением температуры (ночные температуры от 4,5 до 10,7 °C), либо сочетанием пониженной температуры с интенсивными осадками. Пики активности слепней наблюдались при колебаниях среднесуточной температуры от 19 °C до 21 °C и среднесуточной относительной влажности воздуха от 68 до 70%. Массовый лёт составил 10–15 дней.

Библиографический список

1. Олсуфьев Н. Г. Фауна СССР. Насекомые двукрылые. Слепни. Семейство Tabanidae. Т. 7. Вып. 2. Л. : Наука, 1977. 436 с.
2. Скуфьин К. В. Методы сбора и изучения слепней. Л. : Наука, 1973. 202 с.
3. Лутта А. С. Слепни Карелии. Л. : Наука, Ленинградское отделение, 1970. 304 с.
4. Агасой В. В., Прокофьев В. В., Медведев С. Г. Сезонная динамика активности слепней (Diptera: Tabanidae) в Псковской области // Паразитология. 2020. Т. 54, № 4. С. 267–284.
5. Агасой В. В., Прокофьев В. В. Сезонная динамика активности лёта слепней (Diptera, Tabanidae) Псковской области // Современные проблемы общей и частной паразитологии : материалы IV Междунар. паразитологического симпозиума. СПб. : Изд-во СПбГУВМ, 2022. С. 9–12.

О ВСТРЕЧАЕМОСТИ САДОВОЙ СОНИ *ELIOMYS QUERCINUS* НА ЮГО-ВОСТОКЕ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С. А. Пичугина¹, Э. М. Пичугина¹, В. М. Рябов²
¹ МКОУ СОШ д. Рыбная Ватага, Кильмезский район,
Кировская область, Россия, pichugina.elya@yandex.ru,
² Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, ryapitschi@yandex.ru

В статье представлен анализ встречаемости садовой сони *Eliomys quercinus* на юго-востоке Кировской области. Исследования проводили с мая по декабрь 2023 года. По опросным данным и личным наблюдениям выявлена тенденция обитания данного вида вблизи жилища человека и построек в лесу (пасеки).

Ключевые слова: садовая соня, Красная книга Кировской области, встречаемость, биоразнообразие.

Сохранение биоразнообразия – актуальнейшая задача современности. Решение проблемы сохранения биологического разнообразия неразрывно связано с созданием и ведением Красных книг, а также функционированием системы особо охраняемых природных территорий [1].

Садовая соня – *Eliomys quercinus* внесена в Красную книгу Кировской области (III категория, редкий малочисленный вид) [2]. Обитание данного вида отмечено только на юго-востоке области [2]. В связи с этим, целью работы была оценка распространения садовой сони на юго-востоке Кировской области (Немский, Кильмезский, Малмыжский, Уржумский районы).

Исследования проводили в период с мая по декабрь 2023 г. Летом 2023 г. двух особей садовой сони регулярно отмечали в подсобном помещении (избушка) на пасеке в 9 км к северу от д. Рыбная Ватага в урочище Тонкино Кильмезского района Кировской области (57,10.838 N, 50,41.976 E). Один зверек был более крупный, второй мельче. Вероятно, это была родительская особь с детенышем, что предполагает факт размножения в этом месте.

В светлое время суток ее всегда можно было увидеть в своем летнем укрытии под крышей избушки. Обнаруживала она себя по свисающему хвосту. В вечернее время зверек проявлял активность. На появление человека и фотографирование со вспышкой реагировал спокойно, позволяя приближаться до одного метра.

В избушке были отмечены погрызенные соней пчелиные рамки с пергой, об употреблении которой говорят наблюдения других пчеловодов, которым доводилось встречать зверька на своих пасеках.

В трехлитровой банке, которая стояла в избушке, садовая соня устроила себе гнездо. Почти доверху банка наполнена мхом, травинками, перьями,

ватой. Кроме этого, в августе в избушке было размещено искусственное убежище, в котором садовая соня могла бы устроить себе гнездо. Но зверек не поселился в нем.

Для опроса населения была разработана анкета, включающая в себя шесть вопросов о встречаемости садовой сони. Анкетированием были охвачены Немский, Кильмезский, Малмыжский и Уржумский районы Кировской области. В качестве респондентов выступили жители дд. Рыбная Ватага, Тат-Бояра, Максимовский, пгт. Кильмезь Кильмезского района; д. Марково и пгт. Нема Немского района; дд. Мелеть, Плотбище, Рожки Малмыжского района; дд. Пиляндыш, Цепочкино Уржумского района. Анкетированием было охвачено 50 человек, возврат анкет составил 68% (34 респондента). В анкетировании преимущественно принимали участие работники лесного хозяйства, охотники, пчеловоды.

По результатам опроса жителей садовая соня была отмечена только на территории Кильмезского района. Из 34 респондентов только 12 отметили встречу с данным видом, что составляет 35% опрошенных.

Исходя из географии анкет, можно выделить область распространения садовой сони на территории Кильмезского района. Достоверно встречена на пасеках в урочищах Жарки (57,10.838 N, 50,41.976 E) и Тонкино (57,15.944 N, 50,53.635 E), в личных хозяйствах жителей дд. Тат-Бояры, Рыбная Ватага Кильмезского района Кировской области.

Большинство респондентов, встречавших садовую соню, отмечали ее в личном хозяйстве – 75% (9 человек), на пасеке – 25 % (3 человека). В лесу и лесных избушках встреч с садовой соней не отмечено.

Однократно встречали садовую соню 25% опрошенных, редко – 8% и 67% отмечают многократную встречу с данным видом.

Все респонденты отмечают встречи с садовой соней в вечернее и сумеречное время. Также, согласно данным анкет, этот зверек попадает в мышеловки и погибает после дератизационных работ в личных хозяйствах.

Таким образом, большинство встреч садовой сони зафиксировано вблизи жилища человека. Встречи садовой сони в лесу, даже в антропогенно нарушенных биотопах, не отмечены. Прослеживается тенденция нахождения данного вида в населенных пунктах и постройках в лесу. Предполагаем, что снижение численности садовой сони и сокращение (фрагментация) ареала является следствием исчезновения деревьев и применения химических методов борьбы с грызунами.

Библиографический список

1. Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия в регионах Российской Федерации. Красная книга как объект государственной экологической экспертизы : материалы межрегиональной научно-практической конференции / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015 175 с.
2. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. Изд. 2-е / под ред. О. Г. Барановой, Е. П. Лачоха, В. М. Рябова, В. Н. Сотникова, Е. М. Тарасовой, Л. Г. Целищевой. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА ОЗЕРА СВЯТОГО КОСТРОМСКОГО РАЙОНА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. И. Родина, Т. Л. Соколова

*Костромской государственный университет,
г. Кострома, Россия, rolik.2121@mail.ru, tl.sokol@yandex.ru*

В статье представлены результаты исследования сообществ макрозообентоса озера Святого Костромского района Костромской области за период 2021–2023 г. Приведен список видов зообентонтов, дана количественная характеристика зообентоценоза, а также представлены результаты оценки экологического состояния озера на основе использования биоиндикационного индекса по Пантле и Букку в модификации Дзюбан-Кузнецовой.

Ключевые слова: макрозообентос, видовое разнообразие, численность, биомасса, биоиндикационные индексы, сапробность.

В современных условиях многие водные экосистемы испытывают интенсивное антропогенное воздействие, которое может приводить к нарушению гидрологического режима, загрязнению вод токсикантами, развитию процессов заиления и эвтрофикации. Озеро Святое Костромского района также испытывает влияние со стороны человека (выпас скота, захламленность берегов и др.) и отличается эвтрофированием (наблюдается зарастаемость берегов макрофитами, заиливание). Данные процессы сказываются на состоянии гидробионтов, в том числе на состоянии и донных беспозвоночных. Зообентонты и их сообщества являются чувствительными индикаторами загрязнения биогенными и токсическими веществами, закисления и эвтрофикации водных объектов.

Целью исследования явилось изучение видового разнообразия и количественных показателей сообществ макрозообентоса озера Святого Костромского района с последующей экологической оценкой изучаемого водоема.

Материалом для исследования послужили пробы зообентоса (в количестве 32 проб), отобранные в озере в период с 2021 по 2023 гг. Сбор бентосных организмов производили по общепринятым в гидробиологии методикам [1]. Количественные показатели (численность и биомасса) пересчитывались на м² [1]. Определение видового состава проводилось с помощью определителей таких авторов, как С. Я. Цалолихин [2], Б. М. Мамаев [3], Л. А. Кутикова [4]. Для оценки экологического состояния озера использованы индекс сапробности Пантле-Букка в модификации Дзюбан-Кузнецовой.

Всего за период исследования был обследован 461 экземпляр зообентонов относящихся к 3 типам (Annelida, Arthropoda, Mollusca), 5 классам, 21 семействам и 42 низших определяемых таксона (НОТ). Видовой состав сообществ макрозообентоса за период исследования представлен в таблице 1.

Таблица 1

Видовой состав зообентоса озера Святого

Низший определяемый таксон	2021 г.	2022 г.	2023 г.
1	2	3	4
Класс Clitellata			
Семейство Glossiphoniidae			
<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
<i>Helobdella stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	+
Семейство Erpobdellidae			
<i>Erpobdella octoculata</i> (Linnaeus, 1758)	–	+	+
Семейство Tubificidae			
<i>Tubifex tubifex</i> (O. F. Müller, 1774)	–	–	+
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (Claparède, 1862)	–	–	+
Класс Gastropoda			
Семейство Viviparidae			
<i>Viviparus contectus</i> (Millet, 1813)	+	+	+
<i>Viviparus viviparus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
Семейство Lymnaeidae			
<i>Lymnaea stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
<i>Lymnaea ovata</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
<i>Lymnaea auricularia</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
<i>Lymnaea truncatula</i> (O. F. Müller, 1774)	+	–	+
<i>Lymnaea palustris</i> (O. F. Müller, 1774)	–	+	–
Семейство Bithyniidae			
<i>Bythinia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
Семейство Planorbidae			
<i>Anisus vorticulus</i> (Troschel, 1834)	–	+	+
<i>Choanomphalus rossmaessleri</i> (Auerswald, 1852)	–	–	+
Семейство Helisomatidae			
<i>Planorbarius corneus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
Семейство Valvatidae			
<i>Cincinna antiqua</i> (Sowerby, 1838)	+	–	–
<i>Valvata piscinalis</i> (O. F. Müller, 1774)	–	+	+
Семейство Physidae			
<i>Physa fontinalis</i> (Linnaeus, 1758)	+	–	–
Класс Bivalvia			
Семейство Sphaeriidae			
<i>Sphaerium</i> sp.	+	–	–
<i>Pisidium</i> sp.	+	–	–
Семейство Unionidae			
<i>Colletopterum ponderosum</i> (Pfeiffer, 1825)	–	–	+
Класс Insecta			
Отряд Odonata			
Семейство Coenagrionidae			
<i>Enallagma cyathigerum</i> (Charpentier, 1840)	+	–	–
<i>Coenagrionidae</i> gen. sp.	–	–	+
Семейство Calopterygidae			
<i>Agria virgo</i> (Linnaeus, 1758)	+	–	–

1	2	3	4
Семейство Corduliidae			
<i>Ephiteca bimaculata</i> (Charpentier, 1825)	–	+	+
Семейство Lestidae			
<i>Sympetma fusca</i> (Vander Linden, 1820)	–	–	+
Отряд Hemiptera			
Семейство Corixidae			
<i>Sigara striata</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	+
Отряд Diptera			
Семейство Ceratopogonidae			
<i>Ceratopogonidae gen. sp.</i>	+	+	+
Семейство Chironomidae			
<i>Glyptotendipes sp.</i>	–	+	+
<i>Chironomus sp.</i>	–	+	+
<i>Procladius sp.</i>	–	–	+
<i>Cryptochironomus sp.</i>	–	+	
<i>Orthocladius sp.</i>	–	+	+
<i>Endochironomus sp.</i>	–		+
<i>Prodiamesa sp.</i>	–	–	+
Отряд Ephemeroptera			
<i>Cloeon dipterum</i> (Linnaeus, 1761)	+	+	+
<i>Baethis rhodani</i> (Pictet, 1843)	+	–	–
Отряд Trichoptera			
Семейство Limnephilidae			
<i>Limnephilus sp.</i>	–	+	+
Отряд Coleoptera			
Семейство Halplidae			
<i>Halplis sp.</i>	–	+	+
Отряд Megaloptera			
Семейство Sialidae			
<i>Sialis sordata</i> (Klingstedt, 1933)	–	–	+
Класс Malacostraca			
Семейство Asellidae			
<i>Asellus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758)	–	+	+

Примечание: прочерк означает отсутствие вида.

Наибольшее видовое богатство характерно для 2023 г. (33 вида), что вероятно связано с наиболее благоприятными условиями для формирования сообществ зообентоса в данной экосистеме, а именно оптимальное содержание кислорода в озере, наличие достаточной кормовой базы. Меньше всего видов обнаружено в 2021 г. (18 видов). Во все года исследования наибольшее количество выявленных НОТ приходилось на насекомых и брюхоногих моллюсков, которые составили соответственно 44% и 33% от числа выявленных видов донных беспозвоночных, что типично для лентических экосистем средней полосы России. В 2023 году впервые обнаружены виды, предпочитающие полисапробные воды – *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Asellus aquaticus*.

Данные количественных показателей численности и биомассы зообентоса озера Святого представлены в таблице 2.

Таблица 2

Количественные показатели численности и биомассы зообентоса в озере

Период	Группа	Численность	Cv	Биомасса	Cv
Июнь 2021 г.	Oligochaeta	не обнаружено			
	Hirudinea	2,75±2,75	200	0,03±0,03	200
	Bivalvia	2,75±2,75	200,00	111,56±111,56	200
	Gastropoda	80,00±25,44	31,80	77,32±31,04	80,30
	Malacostraca	не обнаружено			
	Insecta	48,75±24,67	101,21	3,82±3,40	177,75
Август 2021 г.	Oligochaeta	не обнаружено			
	Hirudinea	13,5±10,17	150,67	0,11±0,08	136,36
	Bivalvia	2,75±2,75	200,00	112,34±112,34	200
	Gastropoda	77,25±31,33	81,11	79,005±24,02	60,82
	Malacostraca	не обнаружено			
	Insecta	130,67±15,53	11,88	0,66±-0,20	38,63
Июнь 2022 г.	Oligochaeta	не обнаружено			
	Hirudinea	18,50±15,06	162,81	0,61±0,57	186,89
	Bivalvia	4,77±4,77	200,00	256,81±256,81	200
	Gastropoda	77,25±31,33	81,11	79,005±24,02	60,82
	Malacostraca	не обнаружено			
	Insecta	130,67±15,53	11,88	0,66±0,20	38,63
Октябрь 2022 г.	Oligochaeta	не обнаружено			
	Hirudinea	не обнаружено			
	Bivalvia	не обнаружено			
	Gastropoda	44,5±6,69	30	72,11±48,997	136,10
	Malacostraca	2,75±2,75	200	0,08±-0,08	200
	Insecta	83±23,36	56,28	57,92±55,30	194,04
Апрель 2023 г.	Oligochaeta	не обнаружено			
	Hirudinea	2,75±2,75	200	0,03±0,03	200
	Bivalvia	не обнаружено			
	Gastropoda	80 ±25,44	31,80	77,32±31,04	80,30
	Malacostraca	не обнаружено			
	Insecta	130,67±15,53	11,88	0,66±0,20	38,63
Июль 2023 г.	Oligochaeta	13,5±10,17	150,67	0,11±0,08	136,36
	Hirudinea	16,00±12,60	157,56	0,90±0,62	138,89
	Bivalvia	2,75±2,75	200,00	112,34±112,34	200
	Gastropoda	183,00±62,19	67,76	157,79±69,15	87,10
	Malacostraca	13,25±9,93	149,81	0,08±0,05	125,00
	Insecta	48,75±24,67	101,21	3,82±3,40	177,75
Сентябрь 2023 г.	Oligochaeta	не обнаружено			
	Hirudinea	18,50±15,06	162,81	0,61±0,57	186,89
	Bivalvia	2,75±2,75	200	127,895±127,895	200
	Gastropoda	77,25±31,33	81,11	79,005±24,02	60,82
	Malacostraca	13,75±13,75	200	0,185±0,185	200
	Insecta	94,00±37,09	78,91	3,70±1,70	91,76

На протяжении всего периода исследования численно преобладали насекомые, составившие 47% от числа все найденных представителей макрозообентоса и брюхоногие моллюски – 44%. Наибольшие показатели численности и биомассы брюхоногих моллюсков и насекомых приходятся на 2023 г., что связано с оптимальной температурой в водоёме и обилием кормовой базы. Наиболее часто встречаемыми видами явились *Viviparus contectus*, *Bythinia tentaculata*, *Cloeon dipterum*.

Для оценки состояния озера определено значение индекса сапробности Пантле-Букка. Вода в озере во все периоды исследования характеризуется β-мезосапробностью (III класс чистоты – вода слабо (умеренно) загрязненная). Выявлено, что за период исследования прослеживается тенденция увеличения значения индекса сапробности с 1,89 (в 2021 г.) до 2,22 (в 2023 г.), что свидетельствует о возможном ухудшении экологического состояния, а именно накоплении органики, развитии процессов эвтрофикации.

Таким образом, всего за период исследования выявлено 42 низших определяемых таксона зообентонов относящихся к 3 типам, 5 классам, 21 семействам. На протяжении всего периода исследования озера наиболее многочисленны представители насекомых и брюхоногих моллюсков. Наибольшие показатели численности и биомассы брюхоногих моллюсков и насекомых приходятся на июль 2023 г., что связано с оптимальной температурой в водоёме и обилием кормовой базы.

Вода в озере во все периоды исследования характеризуется β-мезосапробностью. Стоит отметить, что прослеживается тенденция увеличения значения индекса, что говорит об ухудшении экологического состояния озера. Вероятно, это связано с эвтрофикацией и зарастанием водоёма.

Библиографический список

1. Биоиндикация водных экосистем : учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений / М. В. Сиротина, Л. В. Мурадова, И. Г. Криницын, Г. А. Семенова. Кострома : Костромской государственной университет, 2018. – 224 с.
2. Цалолихин С. Я. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / под ред. В. Р. Алексеева и С. Я. Цалолихина. М. – СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.
3. Мамаев Б. М. Определитель насекомых по личинкам : учеб. пособие для биол. специальностей пед. ин-тов. М. : Просвещение, 1976. 304 с.
4. Кутикова Л. А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР // Планктон и бентос. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 511 с.

ЭНТОМОГЕННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИСТЬЕВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

А. А. Романова, Н. В. Турмухаметова
Марийский государственный университет,
г. Йошкар-Ола, Россия, anrom07@yandex.ru, bonid@mail.ru

Работа посвящена изучению энтомогенных повреждений листьев древесных растений различных типов экологических стратегий. К концу вегетационного периода на листьях *B. pendula* отмечались выгрызание, высасывания, минирование листьев, *T. cordata* – высасывание и галлообразование, *Q. robur* – высасывание и минирование

Ключевые слова: древесные растения, *Betula pendula* Roth, *Tilia cordata* Mill., *Quercus robur* L., насекомые-филлофаги, энтомогенные повреждения.

Растительноядные насекомые в лесном биогеоценозе играют значительную роль. Они активизируют круговорот веществ в наземных экосистемах, потребляя 5–10% ежегодной продукции растений и заселяя ослабленные и отмершие деревья. С экологических позиций вспышки массового размножения насекомых следует рассматривать как естественное явление. Ускоряя круговорот элементов, насекомые способствуют увеличению продуктивности биоценозов [1, 2].

Цель данной работы – изучить энтомогенные повреждения листьев древесных растений различных типов экологических стратегий.

Объектами исследования являются собственно реактивный вид – берёза повислая (*Betula pendula* Roth), конкурентно-толерантный вид – липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.) и типичный конкурент дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) [2]. Исследование проводилось в Республике Марий Эл на территории Сернурского района в окрестностях с. Казанское, д. Клубеничное Поле в 2023 г.

Учеты повреждений насекомых-филлофагов были проведены 3 раза на участке в течение всего периода наблюдений. Сроки учета – начало июля, августа и сентября. Для морфологического анализа были отмечены по 5 ветвей с 5 деревьев модельных видов. Проводили качественный анализ листовых пластинок: описывали тип повреждений листьев насекомым-филлофагами [3] и процент повреждения по пятибалльной шкале [4].

При проведении качественного анализа листовых пластинок на одном и том же листе были обнаружены несколько разновидностей зоогенных повреждений. На листьях берёзы повислой отмечали разнообразные повреждения: выгрызание, объедание, скелетирование, высасывание, минирование. Имаго насекомых-филлофагов, личинки долгоносиков, а также гусеницы чешуекрылых, наносят повреждения листовой пластине путем выгрызания и создания галлов, а также приводят к деформации листьев, изменению их цвета и обра-

зованию «паутиных гнезд» [3]. У липы сердцевидной, наоборот, наиболее часто встречающимися видами повреждений для фотосинтетических органов являются образование галл и изменение цвета. Образование мозаики вызвано воздействием гусениц чешуекрылых, галлов – личинками галлиц, а также клещами, которые ведут скрытый или полускрытый образ жизни и создают защитные приспособления. Сосущими листья насекомыми являются тли и клопы. У дуба черешчатого преобладают следующие виды повреждений: выгрызание, высасывание, минирование, образование «паутиных гнезд». Жуки-листоеды выгрызают отверстия в листьях дуба, оставляя их пронизанными. Гусеницы бабочки минируют листья, обгрызая их и высасывая необходимый для питания клеточный сок.

Установлено, что к концу вегетационного периода на листьях *B. pendula* имелись в основном выгрызание, высасывания и минирование листьев, *T. cordata* – высасывание и галлообразование, *Q. robur* – высасывание и минирование ($p < 0,05$). К концу вегетационного сезона степень повреждения листьев, оцененная по визуальной балловой шкале, составляет для дуба — до 5%, для липы — от 5 до 25%, для березы — от 25 до 50% ($p < 0,05$). Повидимому, это может быть связано с определенным спектром насекомых-филлофагов разных видов деревьев. По раннее полученным данным можно сказать, что *T. cordata* в большей степени подвержена поеданию насекомыми-филлофагами [5]. В нашем случае более уязвимым к повреждению видом оказалась *B. pendula*. Это можно связать с их местом произрастания, а именно расположением их на лугу, вблизи водоёма. Особи *T. cordata* располагались вблизи культивируемых и обрабатываемых участков человеком, что могло привести к наименьшему поражению листовой пластины липы.

Ранее выявлено, что среди филлофагов *B. pendula* и *T. cordata* доминируют представители Coleoptera: Curculionidae, Apionidae, Attelabidae, Elateridae, Chrysomellidae [6]. Жуки-фитофаги *Q. robur* представлены такими семействами, как Curculionidae, Apionidae, Elateridae, Atellidae, Chrysomelidae и др. [7].

Так же из ранее проведённых исследований стоит отметить, что в условиях городской среды происходит сокращение видового разнообразия членистоногих филлофагов и увеличение относительного обилия отдельных видов, адаптированных к загрязнению кормового субстрата путем формирования защитных приспособлений [6].

Эти данные могут быть важными для понимания взаимодействия между различными видами деревьев и насекомыми и для разработки стратегий управления вредителями в лесных экосистемах [3]. Состояние листового аппарата деревьев, разнообразие и относительное обилие насекомых и клещей-филлофагов могут быть использованы в качестве биоиндикационных показателей оценки качества окружающей среды [6].

В заключение подчеркиваем важность изучения повреждений листьев древесных растений, вызываемых насекомыми, для понимания взаимодействия между растениями и насекомыми в лесных экосистемах. Результаты ис-

следования позволяют выявить различия в повреждениях у разных видов деревьев к концу вегетационного периода, что может быть ключом к разработке эффективных стратегий управления вредителями. Данные выводы подчеркивают необходимость продолжения исследований в этой области для более глубокого понимания процессов в лесных экосистемах и разработки эффективных мер контроля численности насекомых-филлофагов, что способствует сохранению биоразнообразия и здоровью лесов в целом.

Библиографический список

1. Исаев А. С. Системный анализ взаимодействия леса и насекомых // Научные исследования для лесов будущего. М. : Лесн. пром-ть, 1981. С. 111–125.
2. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность : В 2 кн. Кн. 1 / отв. ред. О. В. Смирнова. М. : Наука, 2004. 479 с.
3. Гусев В. И. Определитель повреждений лесных, декоративных и плодовых деревьев и кустарников. М. : Лесная пром-ть, 1984. 472 с.
4. Зоология беспозвоночных: Ч. 1 Метод. указания к летней практике / Сост. В. К. Дмитриенко, Г.Н. Скопцова. Красноярск, 2001. 32 с.
5. Turmukhametova N. V., Zeleev R. M., Zabotin Y. I. A new approach to description of the structure of the consortium of *Betula pendula* Roth and *Tilia cordata* Mill. and its capabilities for bioindication // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677. No. 4. Article No. 042008.
6. Турмухаметова Н. В. Оценка состояния лиственных деревьев и состава филлофагов в условиях г. Йошкар-Олы // Самарский научный вестник. 2017. Т. 6. № 4 (21). С. 80–84.
7. Турмухаметова Н. В., Воробьева И. Г. Разнообразие дендро- и герпетобионтов в некоторых биотопах лесопарка «Сосновая роща». DOI: 10.23670/IRJ.2021.9.111.031 // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 9–1 (111). С. 188–191.

О НАХОДКАХ НОВЫХ МЕСТООБИТАНИЙ *MANTIS RELIGIOSA* (LINNAEUS, 1758) В ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

И. С. Семенов, С. В. Шабалкина
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, ilua.semenov456@gmail.com, usr11855@vyatsu.ru

В работе приведены сведения о находках новых местообитаний богомола обыкновенного – *Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758) – в Козловском районе Чувашской Республики в 2022–2023 гг. Анализ данных литературы показал, что этот вид повсеместно встречается в республике, однако степень изученности отдельных административных районов различна.

Ключевые слова: ареал, миграция, пути проникновения, популяция, Козловский район Чувашской Республики.

В последние годы все чаще наблюдается необычное явление: наличие животных, ранее присущих лишь южным регионам, в северных районах. В основе этого направленного миграционного процесса лежит одна важная тен-

денция: потепление климата. Изменения температурного режима на нашей планете обуславливают наступление более мягких и комфортных условий, которые стимулируют перемещение и приспособление разнообразных форм жизни, включая животных, из южных регионов к северу. Это приводит к неконтролируемому перетеканию и смешению видов, создавая «новую» фауну.

Одним из наиболее известных обитателей членистоногих южного происхождения является богомол обыкновенный – *Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758). Встречаясь в основном на юге, этот вид активно расширяет свой ареал и уже обосновался в лесостепной и лесной зонах европейской части России [1]. По данным различных авторов, к 2014 году указанный вид распространен на территории Чувашской Республики [2, 3], Республики Татарстан и Ульяновской области [4], Республики Марий Эл [5], Нижегородской области (устное сообщение) и Республики Мордовии [1].

Предполагается два возможных пути проникновения *Mantis religiosa* в северные районы. Первый путь связан с вмешательством человека: вид случайно завезен в вышеуказанные регионы. Это утверждение подтверждается фиксированием данного вида в 2014 году в г. Чебоксары по приезду из Словении. В том же году произошел завоз богомола обыкновенного в г. Казань из г. Краснодар. Второй путь связан с естественной миграцией, обусловленной незначительным потеплением и относительно высокой влажностью, которые создают оптимальные условия для жизни *Mantis religiosa* в северных районах [6].

С 2010 по 2016 годы находки *Mantis religiosa* в Чувашской Республике достоверно подтверждались. Данный вид обнаружен на всей территории, включая шесть городов (Чебоксары, Новочебоксарск, Мариинский посад, Шумерля, Алатырь и Канаш) и все административные районы [6, 7].

Однако степень изученности районов, в том числе Козловского, различна. В 2015 г. этот вид отмечен в д. Можары – 18.09.2015 г., на свет фонаря, 1 экз., А. Е. Герасимов [7].

В 2022–2023 г. *Mantis religiosa* найден в следующих местах:

– г. Козловка – 55,835902° с. ш., 48,240896° в. д., 17.08.2022 г., во дворе дома по ул. Герцена, 13 (рис.), 1 экз. (самец);

– г. Козловка – 15.08.2023 г., во дворе МБОУ КСОШ № 3 по адресу ул. Маяковского, 3, 1 экз. (самец);

– г. Козловка, 18.07.2023 г., на территории частного дома по ул. Суворова, 13, 1 экз.;

– лес вблизи д. Токташево, 28.07.2023 г., 1 экз. (самец).

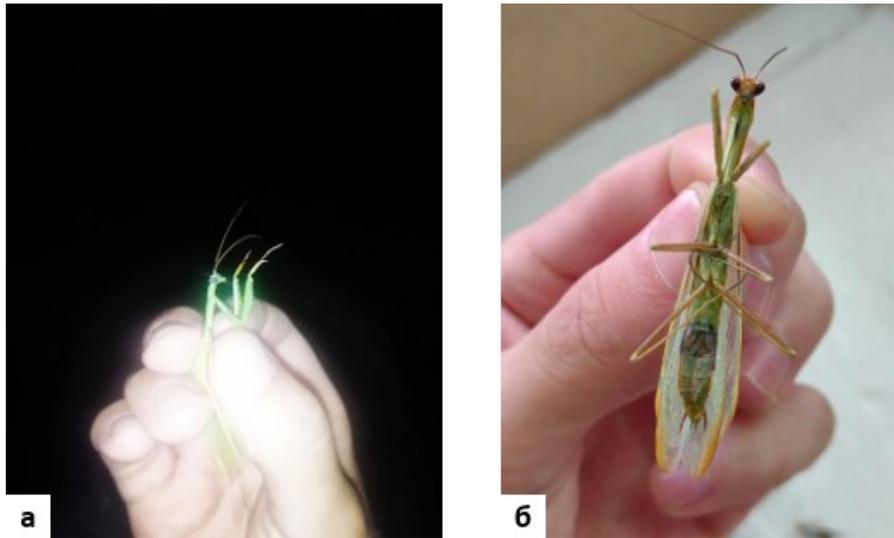


Рис. *Mantis religiosa* в г. Козловка, ул. Герцена, 13:

а – объект при нахождении (самец);

б – собранный образец в коллекцию (фото И. С. Семенова)

Для процессов нормальной жизнедеятельности *Mantis religiosa* диапазон оптимальной температуры окружающей среды должен составлять от +23 ° до +30 °С при влажности воздуха не менее 60% [8]. Климат региона, где найден данный вид, характеризуется как умеренно континентальный, со средней температурой января –13 °С, июля +19 °С. Среднегодовой объем выпадения осадков – 530–570 мм. Наибольшее количество осадков приходится на лето. Снежный покров держится пять месяцев.

Таким образом, находки новых местообитаний богомола обыкновенного в последние годы подтверждают, что популяция продолжает устойчиво существовать в условиях Чувашской Республики.

Библиографический список

1. Самые северные находки богомола обыкновенного *Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758) (Mantodea: Mantidae) в Европейской России / Л. В. Большаков, Е. О. Щербаков, С. Г. Мазуров и др. // Эверсмания. Энтомологические исследования в России и соседних регионах. 2010. № 23–24. С. 22–25.
2. Егоров Л. В., Бочкарев С. В. Первая находка *Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758) (Insecta, Mantodea) в Чувашской Республике // Биодиверситиология: Современные проблемы сохранения и изучения биологического разнообразия : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары : Новое время, 2010. С. 139–140.
3. Егоров Л. В. Новые находки *Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758) (Insecta, Ductioptera, Mantidae) в Чувашской Республике // Естественнонаучные исследования в Чувашии : материалы докладов регион. науч.-практ. конф. (г. Чебоксары, 18 ноября 2014 г.). Чебоксары : Новое время, 2014. С. 48–51.
4. Кармазина И. О., Шулаев Н. В. Распространение богомола обыкновенного *Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758) (Ductioptera: Mantidae) в Республике Татарстан и сопредельных территориях // Труды Казанского отделения Русского энтомологического общества. Казань, 2012. Вып. 2. С. 36–44.

5. Гаврилов Р. И. О новом виде насекомого в составе фауны Республики Марий Эл // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Йошкар-Ола, 2013. Вып. 6. С. 346–347.

6. Егоров Л. В. О распространении *Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758) (Insecta, Mantodea, Mantidae) на севере Среднего Поволжья // Зоологические исследования регионов России и сопредельных территорий : материалы III Междунар. науч. конф. Нижний Новгород : НГПУ имени К. Минина, 2014. С. 77–78.

7. Егоров Л. В., Александров А. Н. О распространении *Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758) (Insecta, Ductioptera, Mantidae) в Чувашской Республике // Естественнонаучные исследования в Чувашии. 2016. № 3. С. 66–71.

8. Богомол [Электронный ресурс]. – URL: <https://wildfauna.ru/bogomol> (дата обращения: 19.11.2023).

СООБЩЕСТВА ЗООПЛАНКТОНА ЗАРОСЛЕЙ МАКРОФИТОВ РЕКИ ЛОНДУШКИ НА ТЕРРИТОРИИ КОЛОГРИВСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

А. Л. Сиротин¹, М. В. Сиротина^{1,2}

¹ Костромской государственной университет,

г. Кострома, Россия, lasirotin@gmail.com, mvsiroтина@gmail.com

² ФГБУ «Государственный природный заповедник «Кологривский лес»
имени М. Г. Сеницына», г. Кострома, Россия

Исследованы особенности развития сообществ зоопланктона в зарослях высшей водной растительности на р. Лондушке на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына. Определен таксономический состав сообществ и их количественные показатели. Проведен анализ основных экологических групп в структуре зоопланктона, рассчитаны экологические индексы.

Ключевые слова: зоопланктон, макрофиты, р. Лондушка, заповедник «Кологривский лес».

Сообщества зоопланктона малых рек занимают важнейшее значение в функционировании гидробиоценозов. Количественные и качественные показатели зоопланктона могут изменяться в связи с воздействием на сообщества различных биотических и абиотических факторов. Главным лимитирующим фактором в лотических системах зачастую выступает фактор течения [1, 2]. Участки реки с высоким течением создают неблагоприятные условия как для развития сообществ зоопланктона, так и для разрастания макрофитов. Напротив, в заводях, на участках с замедленным течением могут формироваться довольно устойчивые зоопланктонные сообщества, а произрастающая здесь высшая водная растительность обеспечивает создание большого количества рефугиумов для развития зоопланктона [1–3].

Река Лондушка имеет длину 26 км, протекает по территории кологривского кластера заповедника Кологривский лес и относится к самым малым

рекам. Отбор проб проводился в летний период с 2021 по 2023 гг. на 4 станциях, расположенных в среднем и нижнем течении реки. Отбор проводили в зарослях макрофитов и на участках свободных от них. Пробы отбирали по общепринятым методикам с помощью малой количественной сети Джеди (размер ячеек 70 мкм) и последующей фиксацией 4% формалином.

Обработку проб проводили по общепринятым методикам под бинокулярным микроскопом, виды определяли с помощью тринокулярного микроскопа с цифровой камерой и определителя под редакцией Алексева. Расчет массы зоопланктона проводили на основе отношения этого показателя к длине тела организма [4, 5]. Видовую структуру сообщества оценивали с помощью индекса доминирования Паляя-Ковнацки (D) [6]. Выравненность структуры сообществ зоопланктона определяли при помощи индекса Пиелу [7]. Видовое разнообразие оценивали с помощью индекса Шеннона-Уивера (Hn) бит/экз. [8]. Сапробность рассчитывали с помощью индекса по Пантле-Букк в модификации Сладечека (S).

В результате исследований был выявлен видовой состав сообществ зоопланктона, представленный 25 видами зоопланктона, из них 15 видов Cladocera, 7 видов Copepoda и 3 вида Rotifera.

Экологические группы зоопланктона р. Лондушки представлены: плавающими первичными фильтраторами – 16%, ползающими и плавающими вторичными фильтраторами – 28%, плавающими и прикрепляющимися к субстрату первичными фильтраторами – 12%, плавающими и ползающими хищниками с активным захватом – 24%, ползающими и плавающими собирателями – 8% и ползающими и плавающими вертикаторами – 12%. Преобладает группа ползающих и плавающих вторичных фильтраторов.

Большинство зоопланктона относится к фитофильному комплексу видов – 10 видов (40%). Также представлены эупланктонный комплекс – 8 видов (32%), планктобентический комплекс – 4 вида (16%) и эвритопный комплекс – 3 вида (12%).

По географической распространенности большинство зоопланктона представлено палеарктическими видами – 14 видов (56%), остальные относятся к космополитам.

В 2021–2023 годах были исследованы участки реки с зарослями кубышки желтой *Nuphar lutea* (L.), хвоща приречного *Equisetum fluviatile* L. и участки, не покрытые высшей водной растительностью (табл. 1).

Следует отметить, что во все 3 года исследований численность и биомасса зоопланктона участков, покрытых высшей водной растительностью, значительно выше аналогичных показателей на участках без макрофитов. Так, биомасса зоопланктона в зарослях кубышки желтой в 2021 г. в 175,8 раз выше, чем на участках, не покрытых высшей водной растительностью, а по показателю численности – в 74,5 выше. В 2022 г. количественные показатели в зарослях кубышки превышают в 58,4 раз по биомассе и в 29,7 по численности аналогичные показатели на участках без макрофитов. В 2023 г. – в 95,2 и в 37,9 раз соответственно.

Таблица 1

**Качественные и количественные показатели сообществ зоопланктона
р. Лондушки в 2021-2023 гг.**

Участок	N, тыс.экз./м ³ *	B, мг/м ³ *	Hп, бит/экз. *	En *	S *
2021 г.					
Кубышка желтая	105,76±7,54	3164,64±824,85	0,50±0,03	0,20±0,02	1,90±0,01
Хвощ приречный	54,56±24,16	2510,94±678,92	0,49±0,09	0,20±0,04	1,81±0,02
Без макрофитов	1,42±0,48	18,00±8,32	0,62±0,02	0,28±0,02	1,81±0,03
2022 г.					
Кубышка желтая	21,36±11,04	446,67±211,60	1,30±0,30	0,41±0,09	1,86±0,02
Хвощ приречный	29,98±17,82	382,98±182,36	1,93±0,11	0,54±0,04	1,78±0,04
Без макрофитов	0,72±0,44	7,65±10,13	1,25±0,11	0,62±0,03	1,83±0,03
2023 г.					
Кубышка желтая	44,44±27,16	1485,31±1026,67	0,59±0,21	0,21±0,03	1,76±0,04
Хвощ приречный	13,05±12,65	375,77±373,22	0,34±0,04	0,22±0,07	1,76±0,08
Без макрофитов	1,17±0,79	15,60±4,83	0,57±0,04	0,46±0,07	1,71±0,003

Примечание: * – указаны средняя арифметическая и ошибка средней.

В зарослях кубышки желтой доминировали ювенильные стадии веслоногих (*D* составлял 8,6–35,1), а также *Daphnia longispina* (O. F. Müller, 1776) *D*=2,8–12,6 и *Scapholeberis mucronata* (O. F. Müller, 1776) *D*=10,47. В зарослях хвоща приречного также были представлены ювенильные стадии веслоногих и индекс сильно варьировал (*D*=13,5–75,8), также доминантами являлись ветвистоусые рачки – *Acroporus harpae* (O. F. Müller, 1776) *D*=1,3–5,9; и *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1776) *D*=1,6–11,5. На участках, не покрытых высшей водной растительностью, доминировали копеподиты *D*=35,2–43,8 и науплиусы *D*=10,1–19,5.

В зоопланктонных сообществах на всех участках исследований отмечаются низкие индексы видового разнообразия Шеннона-Уивера и низкие индексы выравненности по Пиелу (табл. 1). Самое высокое значение индекса видового разнообразия наблюдалось в 2022 г. на участке, покрытом хвощом приречным. Коэффициент сапробности от 2021 к 2023 г. несколько снизился, но во все периоды исследований он соответствовал β – мезосапробным условиям (рис.).

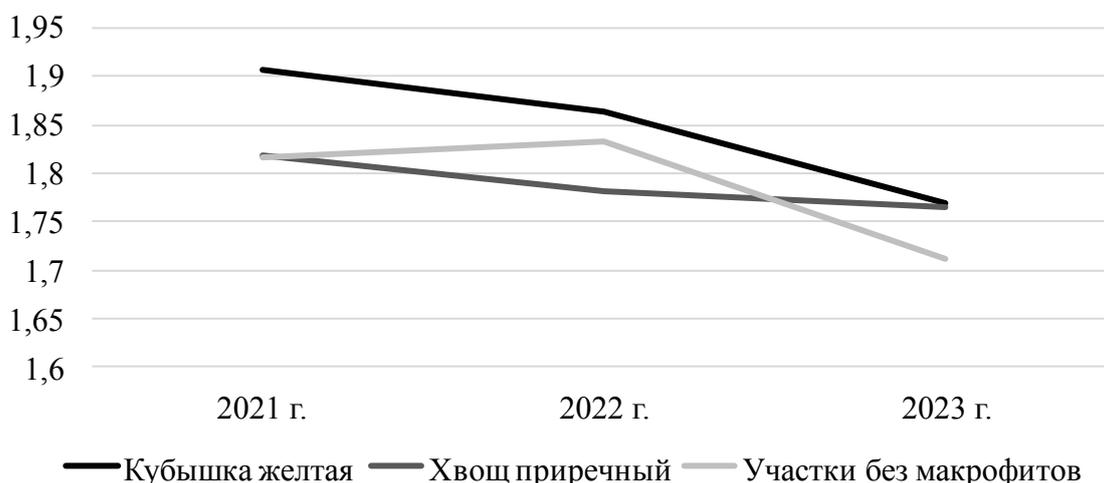


Рис. Динамика коэффициента сапробности (S) на участках исследования

Высокая численность зоопланктона во все годы и на всех исследуемых участках обеспечивалась за счет веслоногих рачков, в основном ювенильных стадий (табл. 2). В зарослях кубышки желтой в 2021 г. высокую биомассу обеспечивали крупные формы ветвистоусых рачков, таких как *D. longispina* и *S. mucronata*. Также на участках реки, свободных от макрофитов, основу биомассы составляли крупные *D. longispina*, но при их низкой численности низкими являются и показатели биомассы. В зарослях хвоща приречного основу биомассы составляли крупные *A. harpae* и *Simocephalus vetulus* (O.F.Müller, 1776). В 2022 году по численности и биомассе стали доминировать веслоногие рачки, которые были представлены в основном ювенильными стадиями копепод, а также встречались взрослые *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851) и *Thermocyclops oithonoides* (Sars G. O., 1863). Они составляли основу зоопланктона на всех станциях (табл. 2), что не позволило достичь высоких значений биомассы (табл. 1).

Таблица 2

Процентное соотношение таксономических групп в численности и биомассе зоопланктона на исследованных участках

Систематическая группа	Кубышка желтая		Хвощ приречный		Без макрофитов	
	N	B	N	B	N	B
2021 г.						
Cladocera	36,92	84,21	8,65	65,35	35,74	87,8
Copepoda	63,08	15,79	91,35	34,65	63,51	12,18
Rotifera	—	—	—	—	0,75	0,02
2022 г.						
Cladocera	8,66	4,72	28,39	37,34	5,6	2,86
Copepoda	87,59	95,17	69,91	62,58	94,4	97,14
Rotifera	3,74	0,09	1,69	0,06	—	—
2023 г.						
Cladocera	28,77	15,27	27,61	23,82	27,35	38,87
Copepoda	67,32	84,66	71,92	76,16	67,52	60,86
Rotifera	3,91	0,07	0,46	0,008	5,12	0,19

Примечание: прочерк означает отсутствие группы.

В 2023 г. показатели численности и биомассы также в основном были обеспечены веслоногими рачками, но их численность существенно выше по сравнению с 2022 годом. Коловраточный зоопланктон за время исследования был представлен незначительно и в основном одним видом *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, 1832.

Таким образом, в результате исследований, проведенных в 2021–2023 гг., нами был проведен мониторинг сообществ зоопланктона реки Лондушки на участках, покрытых высшей водной растительностью и свободных от нее. Самые высокие показатели биомассы и численности зоопланктона были отмечены для зарослей кубышки желтой, что может быть связано с тем, что кубышка создает более благоприятные условия для зоопланктона и большее число рефугиумов для обитания за счет площади своих листовых пластинок. В зарослях хвоща приречного показатели биомассы и численности зоопланктона были значительно ниже. Участки свободные от макрофитов ожидаемо имели самые низкие количественные показатели зоопланктона. Все исследованные участки характеризовались низкими значениями индекса видового разнообразия Шеннона-Уивера и выравниенности по Пиелу. Коэффициент сапробности по Пантле-Букк в модификации Сладечека характеризует воды исследованных участков р. Лондушки как β -мезосапробные.

Библиографический список

1. Крылов А. В. Зоопланктон равнинных малых рек. М. : Наука, 2005. 263 с.
2. Влияние водных растений разных экологических групп на распределение и обилие зоопланктона / С. А. Курбатова, З. М. Мыльникова, И. Ю. Ершов и др. DOI: 10.15372/SEJ20180105 // Сибирский экологический журнал. 2018. № 1. С. 56–66.
3. Влияние высших водных растений на структуру сообществ зоопланктона малой реки (на примере реки Вьюница г. Нижнего Новгорода) / Д. Е. Гаврилко, И. А. Кудрин, Д. С. Ручкин, Г. В. Шурганова // Актуальные проблемы планктонологии : материалы III Междунар. конф. (г. Зеленоградск, 24–28 сентября 2018 г.). Калининград : АтлантНИРО, 2018. С. 47–50.
4. Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озёр. Зоологический институт АН СССР. 1979. С. 58–72.
5. Ruttner-Kolisko A. Suggestions for biomass calculating of plankton rotifers // Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 1977. Vol. 8. P. 71–76.
6. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы современной идентификации // Известия Самарского научного центра РАН. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. С. 439–442.
7. Pielou E. The measurement of diversity in different types of biological collections. DOI: 10.1016/0022-5193(66)90013-0 // Journal of Theoretical Biology. 1966. Vol. 13. P. 131–144.
8. Shannon C. E., Weaver. W. The mathematical theory of communication. Illinois : Urbana, 1963. 117 p.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА РЕКИ ПОНГИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦЫНА

Е. А. Урекин^{1,2}, Т. Л. Соколова¹, Л. В. Мурадова^{1,3}, Я. В. Ильин¹
¹ Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия, eureka@mail.ru, tl.sokol@yandex.ru, yarik_ila@mail.ru, mlv44@mail.ru,
² Эколого-биологический центр «Следово» имени Ю. П. Карвацкого, г. Кострома, Россия,
³ Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына, г. Кострома, Россия

В статье представлены результаты изучения сообществ макрозообентоса реки Понги на территории Кологривского заповедника. На основе проведенных исследований составлен фаунистический список представителей зообентоса, экспонированы показатели численности, особенности пространственного распределения, а также определен индекс биотической дисперсии Коха, отражающий видовое сходство зообентоса.

Ключевые слова: макрозообентос, видовой состав, численность, пространственное распределение, река Понга, заповедник «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына».

Макрозообентос как экологическая группа донных гидробионтов является наиболее многочисленной и разнообразной в таксономическом отношении. Изучение видового состава, количественного развития, пространственного распределения зообентосных сообществ актуально, так как указанные и другие параметры отражают состояние гидроценоза в целом [1]. Особенно важно изучение сообществ зообентоса в условиях заповедника в рамках экологического мониторинга.

Целью исследования явилось изучение видового разнообразия и особенностей пространственного распределения сообществ макрозообентоса реки Понги на территории ГПЗ «Кологривский лес» (Костромская область).

Река Понга по классификации Рохмистрова-Наумова (1984) [2] относится к средне-малым, имеет длину 73 км, площадь водосборного бассейна составляет 824 км². Протяженность водотока на территории заповедника составляет 21,5 км. Река Понга образуется слиянием рек Лондушки и Сехи, впадает в р. Унжу.

Исследования сообществ макрозообентоса проводились в летний период с 2020 по 2023 гг. в акватории реки Понги на территории Кологривского заповедника. Отбор проб проводился общепринятыми в гидробиологии методами с помощью гидробиологического скребка на пяти мониторинговых станциях. Идентификацию видовой принадлежности донных организмов

производили по определителям С. Я. Цалолихина [3], Б. М. Мамаева [4], Л. А. Кутиковой [5]. Для характеристики сообществ макрозообентоса составлен список видов, определена их численность (экз./м²) и пространственное распределение с использованием индексов видового разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу [6]. Фаунистическое сходство зообентоса станций отбора проб определяли при помощи индекса биотической дисперсии Коха [7].

Первая мониторинговая станция в верхнем течении реки (станция 1) характеризуется песчано-илистым дном, заросшими водной и прибрежно-водной растительностью берегами. На второй мониторинговой станции (станция 2) в верхнем течении реки также отмечается зарастание прибрежных участков макрофитами, дно песчано-илистое или песчаное. На третьей станции в среднем течении (станция 3) дно песчано-каменистое с включениями из растительного детрита. На четвертой мониторинговой станции в среднем течении (станция 4) дно характеризуется как песчано-илистое. Дно пятой мониторинговой станции (станция 5) песчано-илистое с большим количеством растительного детрита, в прибрежно-водной зоне отмечается наличие высшей водной и прибрежно-водной растительности.

В составе сообществ макрозообентоса реки Понги за период исследований выявлено 49 низших определяемых таксонов (НОТ), относящихся к 3 типам и 5 классам: Insecta – 35 видов, Bivalvia – 4 вида, Gastropoda – 6 видов, Hirudinea – 2 вида, также отмечены представители класса Clitellata. Видовой состав зообентоценозов представлен в таблице.

Таблица

Видовой состав сообществ макрозообентоса реки Понги на территории Кологривского заповедника

Таксономическая группа	Станции отбора проб				
	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
Класс Clitellata					
<i>Oligochaeta incertae sedis</i>	–	–	+	–	+
<i>Lumbriculus variegatus</i> Muller, 1774	–	+	–	+	–
<i>Glossiphonia complanata</i> Linnaeus, 1758	+	–	–	–	+
<i>Herpobdella octoculata</i> Linnaeus, 1758	+	–	–	–	–
Класс Bivalvia					
<i>Pisidium</i> sp. C. Pfeiffer, 1821	+	–	+	+	+
<i>Sphaerium</i> sp. Scopoli, 1777	+	+	–	–	–
<i>Unio pictorum</i> Linnaeus, 1758	+		–	–	–
<i>Anodonta cygnea</i> Linnaeus, 1758		+	–	–	+
Класс Gastropoda					
<i>Lymnaea cf. ovata</i> Draparnaud, 1805	+	–	–	–	+
<i>Lymnaea cf. ampla</i> Hartmann, 1821	–	+	–	–	–
<i>Bathyomphalus contortus</i> Linnaeus, 1758	–	–	+	–	–
<i>Choanomphalus rossmaessleri</i> A. Schmidt, 1851	–	–	–	–	+
<i>Choanomphalus riparius</i> Westerlund, 1865	+	–	–	–	–
<i>Viviparus contectus</i> Millet, 1813	+	–	–	–	–

1	2	3	4	5	6
Класс Insecta					
Отряд Megaloptera					
<i>Sialis sordida</i> Klingstedt 1932	+	+	+	+	–
Отряд Plecoptera					
<i>Nemoura</i> sp. Latreille, 1796	–	–	–	–	+
Отряд Ephemeroptera					
<i>Potamanthus luteus</i> Linnaeus, 1767	+	–	–	–	+
<i>Ephemera vulgata</i> Linne, 1758	+	+	–	+	–
<i>Ephemera danica</i> Müller, 1764	–	+	–	–	–
<i>Baetidae</i> gen. sp.	+	–	+	–	–
<i>Baetis rhodani</i> Pictet, 1843	–	–	+	–	–
<i>Baetis tricolor</i> Tshernova, 1928	–	+	–	–	–
<i>Cloeon dipterum</i> Linnaeus, 1761	–	–	+	–	–
<i>Habrophlebia lauta</i> McLachlan, 1884	+	–	–	–	–
Отряд Diptera					
<i>Chironomus plumosus</i> Fabricius, 1787	–	+	–	+	+
<i>Tabanus</i> sp. Linnaeus, 1758	–	+	–	+	+
Отряд Odonata					
<i>Aeshna juncea</i> Linnaeus, 1758	+	–	–	–	–
<i>Anax imperator</i> Leach, 1815	+	–	–	–	–
<i>Platycnemis pennipes</i> Pallas, 1771	+	–	–	–	–
<i>Coenagrion hastulatum</i> Kirby, 1890	+	–	–	–	–
<i>Corduliidae</i> gen. sp.	–	+	–	–	–
<i>Cordulia aenea</i> Leach, 1814	–	–	+	–	–
<i>Somalochlora metallica</i> Vander Linden Linden, 1885	+	–	+	+	–
<i>Cordulegaster boltonii</i> Donovan, 1807	+	–	–	–	–
<i>Onychogomphus forcipatus</i> Vander Linden, 1820		+	–	–	–
<i>Calopteryx splendens</i> Harris, 1780		–	–	–	+
<i>Calopteryx virgo</i> Linnaeus, 1758	+	–	–	–	
<i>Calopteryx</i> sp. Leach, 1815	+	–	–	–	
Отряд Coleoptera					
<i>Haliplus fluviatilis</i> Aube, 1836	+	–	–	–	
<i>Laccophilus</i> sp. Leach, 1815	+	–	–	–	
<i>Gyrinus</i> sp. Latreille, 1810			+		
<i>Noterus cf. crassicornis</i> O. F. Müller, 1776	+	–	–	–	
Отряд Trichoptera					
<i>Limnephilus</i> sp. Leach in Brewster, 1815	+	–	–	–	+
<i>Limnephilus vittatus</i> Fabricius, 1798	–	–	–	–	+
<i>Limnephilus flavicornis</i> Fabricius, 1787	–	–	+	–	–
<i>Limnephilus rhombicus</i> Linnaeus, 1758	–	–	+	–	+
<i>Halesus interpunctates</i> Zetterstedt, 1840	+	–		+	–
<i>Molanna</i> sp. Curtis, 1834	–	–	+	–	–
<i>Molana angustata</i> Curtis, 1834	–	–	+	–	–
Общее количество НОТ	26	12	14	8	14

Примечание: прочерк означает отсутствие вида.

В составе макрозообентоса преобладали палеарктические виды, которые составили 34,5% от общего числа выявленных видов, присутствовали также голарктические (13,7%) виды-космополиты (13,7%) и транспалеарктические виды (6,9%). Стоит отметить, что в рамках исследования обнаружен вид *Cordulegaster boltonii*, который типичен для Европы и Северной Африки [8]. Находки личинок *C. boltonii* на территории Кологривского заповедника свидетельствуют о расширении ареала данного вида стрекоз.

Наибольшее видовое разнообразие характерно для класса Insecta, что типично для пресных водоемов. Данная группа бентосных организмов составила 71,4% от числа выявленных НОТ и представлена 7 отрядами, 19 семействами. Среди насекомых наиболее многочисленны личинки отрядов Odonata и Ephemeroptera, которые составили соответственно 34,3% и 22,9% от общего числа обнаруженных видов данной группы. Субдоминантной группой, уступающей по количеству видов зообентонтов, является отряд Trichoptera, доля которого среди насекомых составила 20%. Меньшим числом видов представлены отряды Coleoptera (11,4%), Diptera (5,1%), Megaloptera (2,9%) и представители отряда Plecoptera (2,9%). Довольно большой процент от общего числа НОТ составили моллюски – 20,4%. Среди данной группы практически на всех станциях отбора проб зарегистрированы представители рода *Pisidium* sp., которые предпочитают медленно текущие водоемы с илистым или песчаным дном.

Количество таксономических групп и их соотношение на разных станциях отбора значительно варьируют. Больше число видов отмечено на станции 1, где р. Понга образуется слиянием рек Лондушки и Сехи. Данный участок реки можно считать переходной зоной между двумя гидроэкосистемами – экотонном, в котором проявляется краевой эффект, характеризующийся увеличением плотности организмов и биоразнообразия [9]. На этой станции выявлено 26 видов донных беспозвоночных, среди которых также преобладают насекомые (69,2% от числа бентонтов данной станции), 23% составили брюхоногие и 15,4% – двустворчатые моллюски. На остальных станциях отбора выявлено меньшее количество видов.

Зообентоценозы станций отбора проб в целом характеризуются как слабообразные по видовому составу. Индекс Шеннона за весь период исследований варьировал от 0,69 до 2,10. Стоит отметить, что наибольшее видовое разнообразие зообентоса наблюдалось в 2022 г. (индекс Шеннона составил $1,78 \pm 0,16$), что может быть связано с благоприятными условиями формирования и развития донных сообществ. На станции 1, в сравнении с другими станциями, отмечается высокое разнообразие сообществ макрозообентоса (индекс Шеннона варьировал в разные года от 1,42 до 1,33), что также подтверждает явление краевого эффекта. Разнообразие и выравненность не всегда коррелируют друг с другом: независимо от уровня видового разнообразия сообществ зообентоса выравненность же сообществ выражена достаточно сильно. Индекс Пиелу за весь период исследований варьировал от 0,76 до 1,00.

Достаточно низкие показатели фаунистического сходства наблюдаются во все года исследования. Индекс биотической дисперсии Коха колеблется от 5,6% до 11,1%. Неравномерность видового состава в пределах водотока может объясняться различием характера грунта, развитием высшей водной растительности и глубиной отбора проб на различных станциях. В целом, пространственная организация зообентоценозов характеризуется гетерогенностью и неоднородностью.

Таким образом, макрозообентос реки Понги на территории Кологривского заповедника на период исследования представлен 49 НОТ, среди которых преобладали палеарктические виды. Наибольшее количество обнаруженных видов характерно для класса Insecta – 71,4%. Пространственная организация зообентоценозов в реке Понге характеризуется гетерогенностью и неоднородностью. Формирование зообентоценозов в зоне слияния рек Лондушки и Сехи, где образуется река Понга (станция 1), связано с явлением краевого эффекта. Именно для этой станции характерны наибольшие показатели видового богатства и разнообразия.

Библиографический список

1. Безматерных Д. М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири. Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2007. 86 с.
2. Рохмистров В. Л., Наумов С. С. Физико-географические закономерности распределения речной сети Ярославского Нечерноземья // Географические аспекты рационального природопользования в Верхневолжском Нечерноземье : межвузовский сб. науч. трудов. Ярославль : ЯГПИ имени К. Д. Ушинского, 1984. С. 53–64.
3. Цалолихин С. Я. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М.-СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.
4. Мамаев Б. М. Определитель насекомых по личинкам. М. : Просвещение, 1972. 414 с.
5. Кутикова Л. А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР // Планктон и бентос / Отв. ред. д-ра биол. наук Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 511 с.
6. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : Изд-во Самар. науч. центра РАН, 2003. 463 с.
7. Koch L. F. Index of biotal dispersity. DOI: 10.2307/1932140 // Ecology. 1957. Vol. 38. No. 1. P. 145–148.
8. Скворцов В. Э. Стрекозы Восточной Европы и Кавказа : атлас-определитель. М. : Товарищество науч. изд. КМК, 2010. 623 с.
9. Соловьева В. В. Что такое «экотон»? // Самарский научный вестник. 2014. № 2 (7). С. 116–119.

СЕЗОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОПЛАСТИКА В ЖАБРАХ И КИШЕЧНОМ ТРАКТЕ ЛЕЩА *ABRAMIS BRAMA* В МЁШИНСКОМ ЗАЛИВЕ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

М. Р. Халиуллин, К. А. Шевчук, Н. Ю. Степанова
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
г. Казань, Россия, mansur-khaliullin@mail.ru

Проведено исследование содержания микропластика в жабрах и кишечном тракте леща (*Abramis brama*) в Мёшинском заливе Куйбышевского водохранилища. Показано отсутствие сезонных особенностей накопления микропластика в жабрах и кишечнике леща. В жабрах было выявлено в 1,5 раза больше частиц по сравнению с кишечником при преобладании нитей над фрагментами и гранулами. Размерный ряд частиц был примерно идентичен, как в жабрах, так и в кишечнике, где частицы размером более 900 мкм составляли более 30%.

Ключевые слова: микропластик, лещ, Мёшинский залив, Куйбышевское водохранилище.

Растущее использование пластика влечет за собой проблему загрязнения окружающей среды, особенно из-за массового одноразового использования и неудовлетворительного управления пластиковыми отходами. Пластиковые частицы, размером менее 5 мм называются микропластиком (МП). Это результат разложения пластмасс в окружающей среде или прямого использования в различных отраслях промышленности и быту. Микропластик широко распространен в водной среде, что представляет угрозу жизнедеятельности гидробионтов. В последнее десятилетие исследования по проблемам окружающей среды, связанные с МП, находятся в центре внимания. Многие исследования направлены на определение загрязнения МП поверхностных вод региона/страны и его накопления в живых организмах [1].

Негативные последствия, вызванные микропластиком, могут быть связаны с самими частицами, добавками, вносимыми при производстве пластмассовых изделий, химическими веществами, добавляемыми при использовании микропластика (например, в качестве абразивов), и/или загрязняющими окружающую среду веществами, адсорбированными на МП во время его пребывания в окружающей среде [2].

Цель работы – оценить содержание микропластика в жабрах и кишечном тракте бентосоядных рыб (лещ *Abramis brama*) в Мёшинском заливе Куйбышевского водохранилища в сезонном аспекте.

Река Мёша – правый приток р. Камы, впадает в Камский залив Куйбышевского водохранилища. Длина реки 204 км, ширина колеблется от 30 м до 2–3 км. Скорость течения примерно 1–2 м/с. Глубина реки 0,2–0,6 м. Площадь

бассейна 4180 км² [3]. Река испытывает антропогенную нагрузку со стороны сельскохозяйственных и коммунальных предприятий.

Мёшинский залив находится в северной части Волжско-Камского плеса, имеет воронкообразную форму, сужаясь к северу, и представляет собой затопленное водное расширение р. Меша и ее пойменных приустьевых участков площадью около 120 км². Залив имеет большое количество мелководных участков и островов, особенно в его предустьевой части, которые представляют собой бывшие пойменные дюны и луговые террасы, расположенные в основном вдоль водораздельной гряды между руслами Мёши и Камы [4]. В прибрежной части Мёшинского залива Куйбышевского водохранилища нерестится в среднем около 40% всего рыбного населения данного водоема, кроме нереста здесь происходит и нагул рыбы [5].

Отбор проб производили в мае и сентябре 2022 г. в Мёшинском заливе Куйбышевского водохранилища (рис. 1). Отлов рыбы (леща *Abramis brama*, Linnaeus, 1758) осуществляли около островов и в открытой части Мёшинского залива на станции контрольного лова Татарского филиала ФГБНУ «ВНИРО» сетями с ячейей 30, 45 и 65 мм. Выбор рыбы для анализа на содержание МП осуществляли случайным образом. Общее количество отобранных рыб – 22 шт.

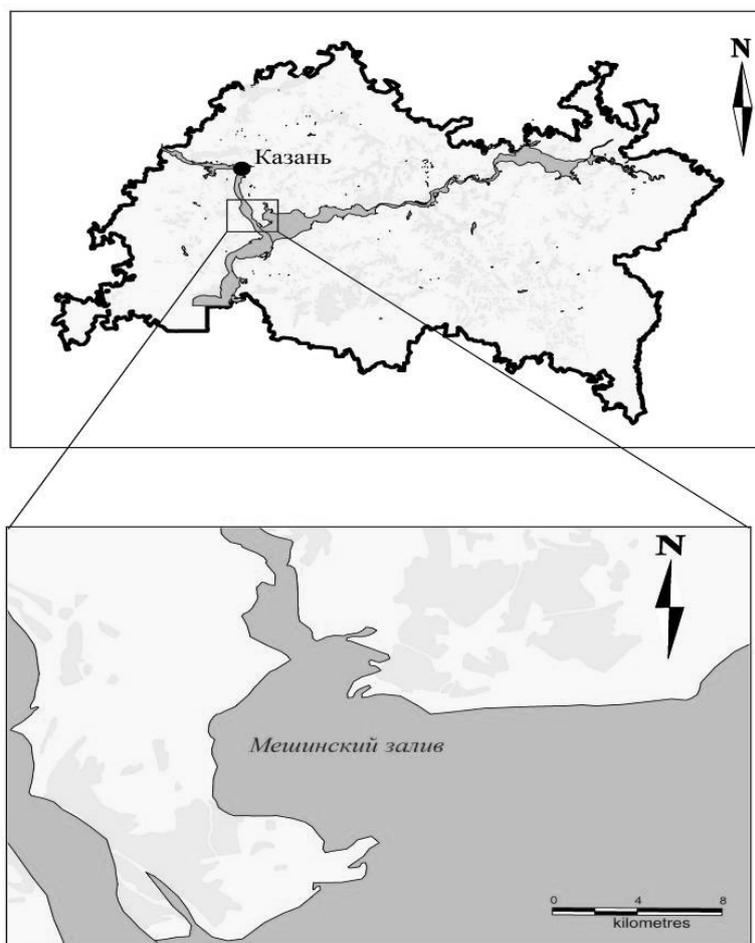


Рис. 1. Карта-схема района исследования

Подготовку проб воды и донных отложений проводили по методике, описанной в литературе [6]. У каждого экземпляра рыбы выделяли жабры и кишечный тракт (КТ), взвешивали, заливали 10% раствором КОН в соотношении 1 : 20 по сырому весу и выдерживали на водяной бане при $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 48 часов [7]. Раствор с КТ и с жабрами фильтровали последовательно через металлические сита с размером ячейки 2 мм и 100 мкм, промывали 70% раствором этилового спирта для удаления жира. Частицы МП идентифицировали под микроскопом, размер определяли при помощи окуляра-микрометра.

Размерный анализ отобранных образцов рыб показал, что средняя длина составила $34,5 \pm 3,2$ см, масса 927 ± 110 г. Применение непараметрического анализа (по критерию Манна-Уитни) не показал значимых различий массы рыбы весеннего вылова от осеннего, отличие показано по длине: весна 36 ± 3 см, осень 32 ± 1 см.

Количество частиц МП весной было ниже по сравнению с осенью, как в кишечнике, так в жабрах (рис. 2), однако значимых отличий в сезонном содержании частиц не выявлено.

Жабры выступают первичным барьером, препятствующим проникновению МП в организм, что привело к тому, что содержание МП в жабрах в 1,5 раз выше по сравнению с кишечником.

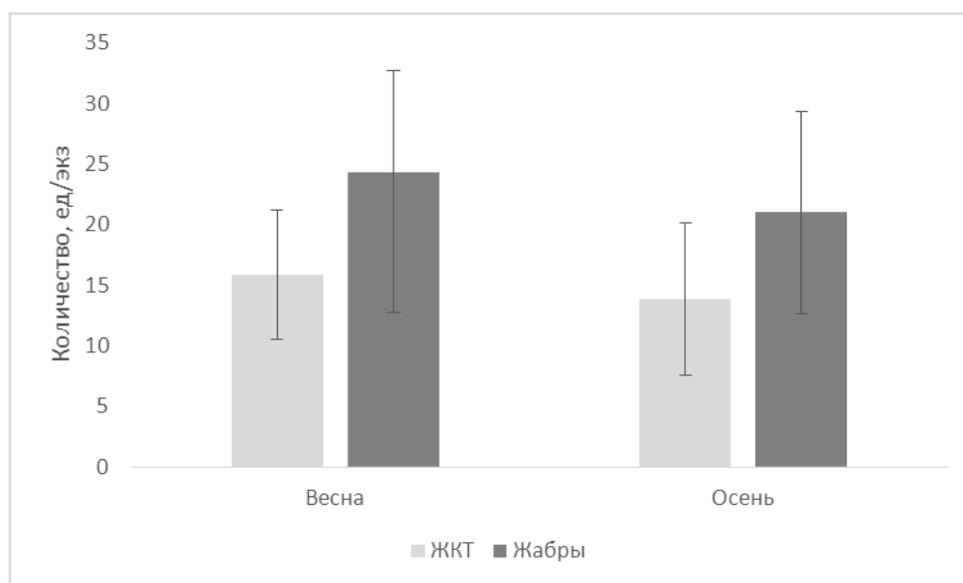


Рис. 2. Содержание микропластика в кишечнике и жабрах леща

Анализ распределения МП по форме в жабрах показало преобладание нитей (18–21 ед/экз) над фрагментами (0,3–2,3 ед/экз) и гранулами (0,7–2,8 ед/экз) (рис. 3). Нити обладают большей плавучестью по сравнению с более плотными фрагментами и гранулами, которые быстрее оседают и элиминируются из воды.

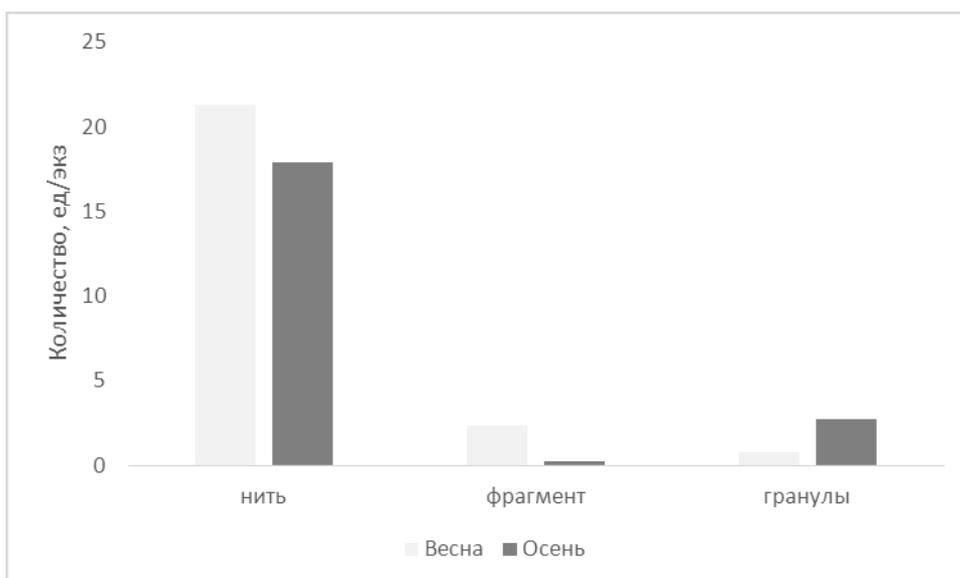


Рис. 3. Количество частиц МП в жабрах

Пищевые особенности леща, который относится к бентосоядным рыбам, отражается на распределении МП, обнаруженного в кишечнике, по форме (рис. 4). В кишечнике содержание нитей и гранул несколько ниже: 14–16 ед./экз и 0,9–1,2 ед./экз соответственно и значительно выше содержание фрагментов – 10–12 ед./экз.

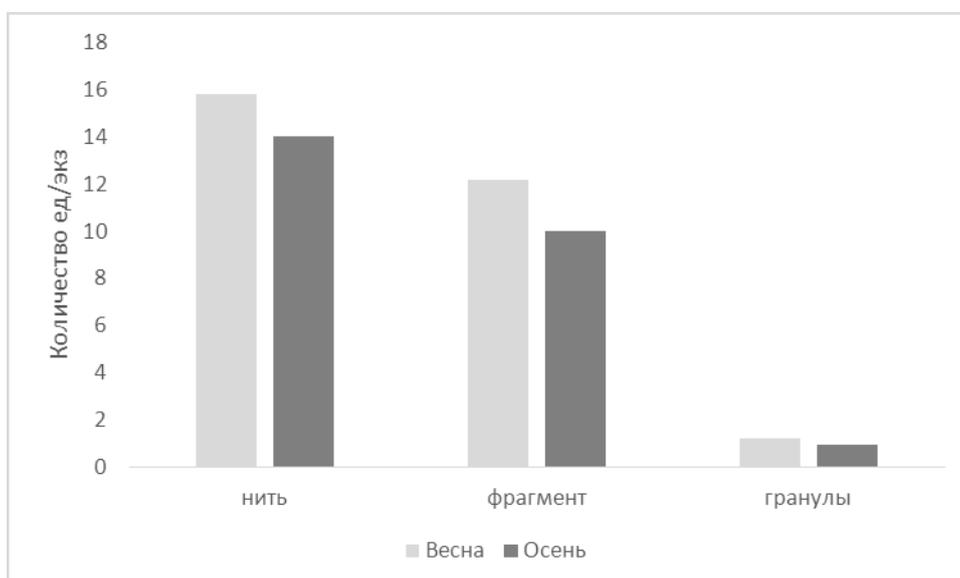


Рис. 4. Количество частиц МП в кишечнике

Анализ размерного распределения МП (рис. 5–6) показал преобладание частиц большого размера (> 900 мкм) как в жабрах, так и в кишечнике. Значимых различий размера частиц в рыбе весеннего и осеннего вылова не выявлено.

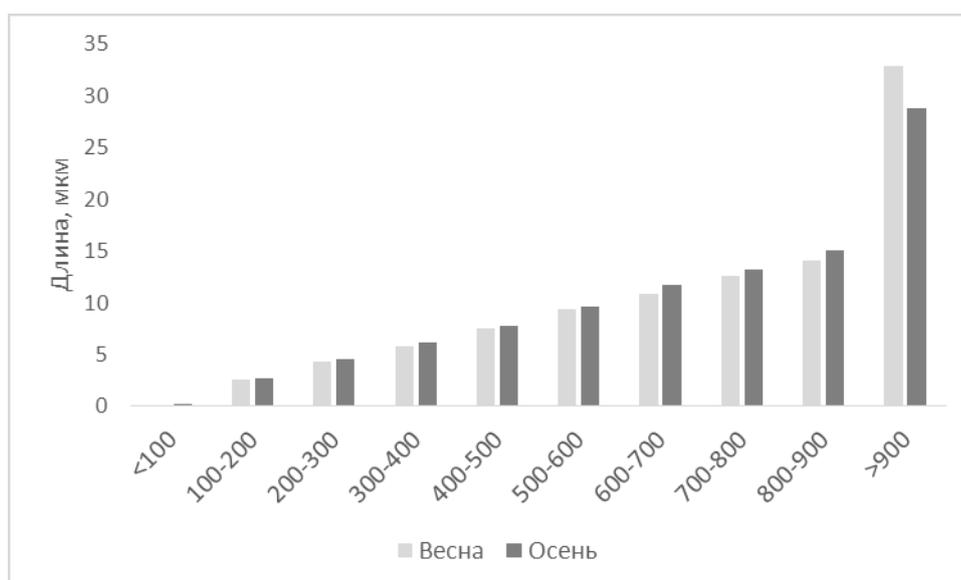


Рис. 5. Распределение МП по длине в жабрах

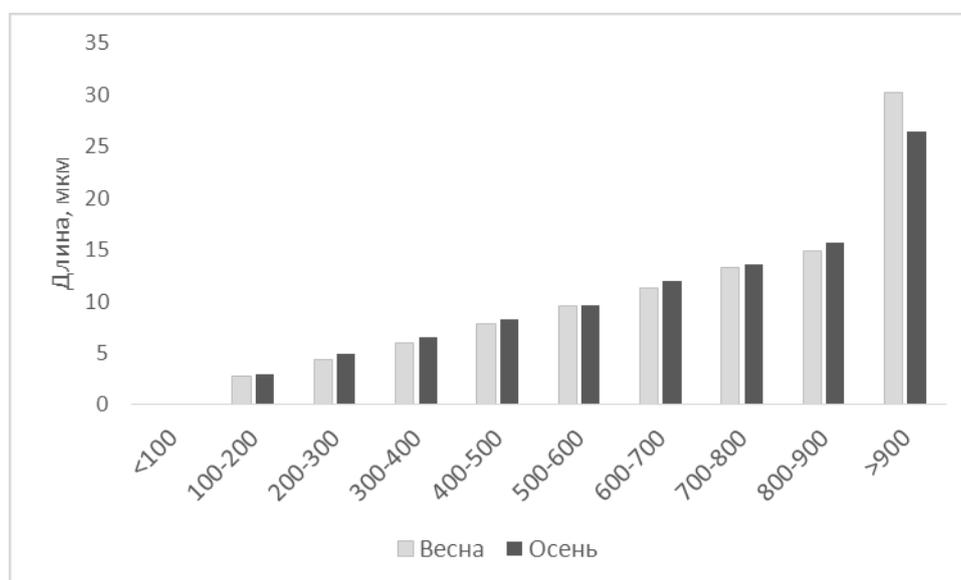


Рис. 6. Распределение МП по длине в кишечнике

Сезонные особенности аккумуляции МП отмечаются в литературе [8]. Так, авторами было показано значимое преобладание нитей в кишечнике *Mola mola*, выловленной в западной части Атлантического океана у берегов Португалии, осенью по сравнению с весной. Австралийскими авторами [9] было показано содержание МП в рыбе, выловленной у берегов Австралии и на уровне $1,58 \pm 0,23$ ед/экз. Приведенные литературные данные не подтверждают полученные нами результаты, что связано с тем, что морская вода, обладающая большей плотностью, способствует лучшей сепарации МП и концентрированию его на поверхности. В пресных водах распределение МП происходит в толще воды, что приводит к их большей доступности для гидробионтов.

Таким образом, проведенное исследование показало отсутствие сезонных особенностей накопления микропластика в жабрах и кишечнике леща, обитающего в Мёшинском заливе Куйбышевского водохранилища. В жабрах было выявлено в 1,5 раза больше частиц по сравнению с кишечником при преобладании нитей над фрагментами и гранулами. Размерный ряд частиц был примерно идентичен, как в жабрах, так и в кишечнике, где частицы размером более 900 мкм составляли более 30%.

Библиографический список

1. Microplastics in tissues (brain, gill, muscle and gastrointestinal) of *Mullus barbatus* and *Alosa immaculata* / M. Atamanalp, M. Köktürk, A. Uçar et al. DOI: 10.1007/s00244-021-00885-5 // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2021. Vol. 81. P. 460–469.
2. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure / L. G. A. Barboza, C. Lopes, P. Oliveira et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134625 // Sci. Total Environ. 2020. Vol. 717. Article No. 134625.
3. Водные объекты Республики Татарстан : Гидрографический справочник. Казань : Изд-во «Идел-пресс», 2006. 504 с.
4. Структура островных экосистем Куйбышевского водохранилища / под ред. Ю. Е. Егорова. М. : Наука, 1980. 176 с.
5. Северов Ю. А., Кузнецов В. А., Шакирова Ф. М. Оценка численности ранней молодежи рыб на прибрежных нерестилищах Мёшинского залива Куйбышевского водохранилища // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. 2018. № 2. С. 33–40.
6. Зобков М. Б., Есюкова Е. Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов. DOI: 10.7868/S0030157418010148 // Океанология. 2018. Т. 58. № 1. С. 149–157.
7. Ingestion and depuration of microplastics by a planktivorous coral reef fish, *Pomacentrus amboinensis* / M. F. Santana, A. L. Dawson, C. A. Motti et al. DOI: 10.3389/fenvs.2021.641135 // Front. Environ. Sci. 2021. Vol. 9. Article No. 641135.
8. First evidence of microplastic ingestion in the ocean giant sunfish (*Mola mola*) / C. Lopes, C. Figueiredo, M. Baptista et al. DOI: 10.1016/j.marenvres.2023.106064 // Mar. Environ. Res. 2023. Vol. 190. Article No. 106064.
9. A comparison of microplastic in fish from Australia and Fiji / N. Wootton, M. Ferreira, P. Reis-Santos, B. M. Gillanders. DOI: 10.3389/fmars.2021.690991 // Front. Mar. Sci. 2021. Vol. 8. Article No. 690991.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОПЛАСТИКА В МОЛЛЮСКАХ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЙОНЕ КАМСКОГО УСТЬЯ

К. А. Шевчук¹, В. А. Шаронова², Л. М. Миннегулова¹, Н. Ю. Степанова¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия,

² Многопрофильный лицей № 185, г. Казань, Россия, pilulik2001@mail.ru

Проведено исследование содержание микропластика в двустворчатых моллюсках рода *Dreissena*, обитающих в Камском устье Куйбышевского водохранилища. Выявлено содержание микропластика на уровне 0,7 ед/экз с преобладанием гранул (61%) над нитями (37%) и фрагментами (2%). В размерном ряду преобладали частицы в интервале от 42 до 102 мкм.

Ключевые слова: микропластик, моллюски, Куйбышевское водохранилище.

Длительное воздействие на гидробионтов мелких пластиковых частиц (< 5 мм), известных как микропластик (МП), и их потенциальные неблагоприятные последствия вызывают серьезную обеспокоенность. Основными причинами этой обеспокоенности являются: глобальное распространение МП в водной среде и трофических сетях, неблагоприятное воздействие МП на водных животных и, возможно, на человека.

Во многих исследованиях зафиксированы уровни МП в диких популяциях морских и пресноводных животных [1, 2]. Сообщенные уровни указывают на значительные различия в зависимости от районов, мест и времени отбора проб, трофических уровней, видов, мест обитания и других факторов.

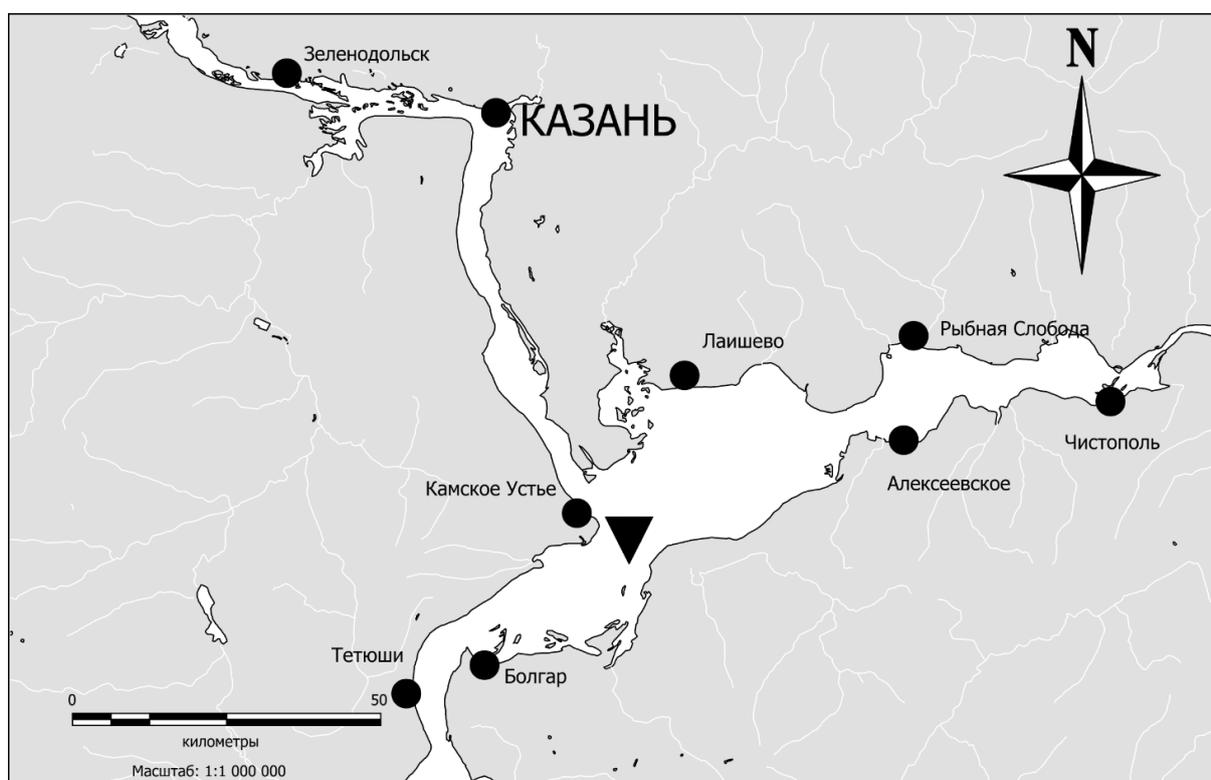
Изучению содержания микропластика в воде, донных отложениях, в тканях и органах рыб посвящено много научной литературы, особенно в зарубежных источниках [3], однако исследований содержания МП в моллюсках относительно мало и касаются, преимущественно, морских сред. Однако, именно моллюски играют важную роль в процессах самоочищения воды, благодаря фильтрующей способности. Тем самым они очищают воду не только от взвеси, органических веществ, но и аккумулируют МП, который при отмирании моллюсков захоранивается в донных осадках.

Целью данной работы было сделать предварительную оценку содержания микропластика рода *Dreissena*, обитающих в Камском устье Куйбышевского водохранилища.

Объектом исследования были моллюски, обитающие в Куйбышевском водохранилище (КВ). КВ – самое крупное в Европе равнинное водохранилище, важнейший компонент Волжско-Камского каскада, имеет площадь 6500 км². Расположено в долинах рек Волги и Камы на участке от г. Тольятти до г. Новочебоксарска и от населенного пункта Камское Устье до г. Набережные Челны, занимая акваторию между плотинами трех ГЭС (Куйбышевской,

Нижнекамской и Чебоксарской). Протяженность акватории водохранилища по судовому ходу – 510 км, а водосбора между его крайними точками (северной и южной) – 760 км. Северная граница бассейна проходит по границе водосборов северных притоков р. Вятка, южная – по водоразделу рек Большой Черемшан и Кондурча. Куйбышевское водохранилище в целом относится к Средней Волге. Границей между Средней и Нижней Волгой служит плотина Жигулевской ГЭС. Водоем представляет собой ряд озеровидных расширений, соединенных между собой узкими речного типа протоками [4].

Пробы моллюсков отбирались в июле 2023 года в Волго-Камском плесе, в районе Камского устья, координаты – 55,181202 N, 49,359397 E (рис. 1). Пробы отбирались при тралении сетью с размером ячеей 30 мм и площадью 4 кв. м по ходу движения судна на расстоянии 300 м. Моллюсков собирали вручную в стеклянные банки и замораживали до доставки в лабораторию.



Легенда

▼ Место отбора проб

● Города

Рис. 1. Карта-схема отбора проб моллюсков

Для выделения МП из моллюсков в пробу добавляли 10% раствор КОН из расчета 1 : 20 и омыляли в течении 48 часов на водяной бани при температуре 60 °С [5]. После этого раствор последовательно отфильтровывали через металлические сита 1 мм и 100 мкм, створки после высушивания измеряли, определяли возраст по годовым кольцам, а осадок высушивали. Частицы МП идентифицировали под микроскопом, размер определяли при помощи окуляр-микрометра.

В интегральной пробе было обнаружено 229 двустворчатых моллюсков, все относились к роду *Dreissena*, видам *D. polymorfa* и *D. bugensis*. Средний размер моллюсков составил $1,82 \pm 0,67$ см, возраст в среднем определили как $1,86 \pm 0,36$ лет (рис. 2).

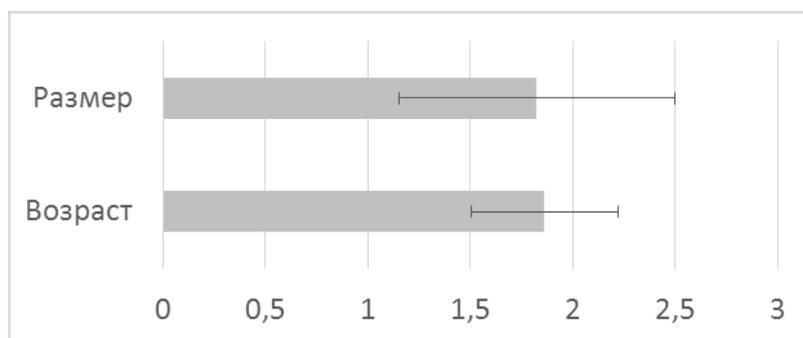


Рис. 2. Среднее значение возраста (года) и размера моллюсков (см)

Общее количество частиц МП составило 161 единицу или 0,7 частиц на одного моллюска. Полученные нами значения укладываются в интервал, отмеченный в литературе, 0,12–1,02 ед/экз [1].

Моллюски активно задерживают гранулы (61%) , на втором месте следуют нити (37%) и только 2% приходится на фрагменты, пленки не были обнаружены (рис. 3).



Рис. 3. Процентное соотношение количества частиц микропластика в интегральной пробе моллюсков

Размеры частиц, в основном, укладывались в интервал от 42 до 102 мкм (рис. 4). Преобладание мелких частиц связано с доминированием гранул, которые имеют самые маленькие размеры (табл.).

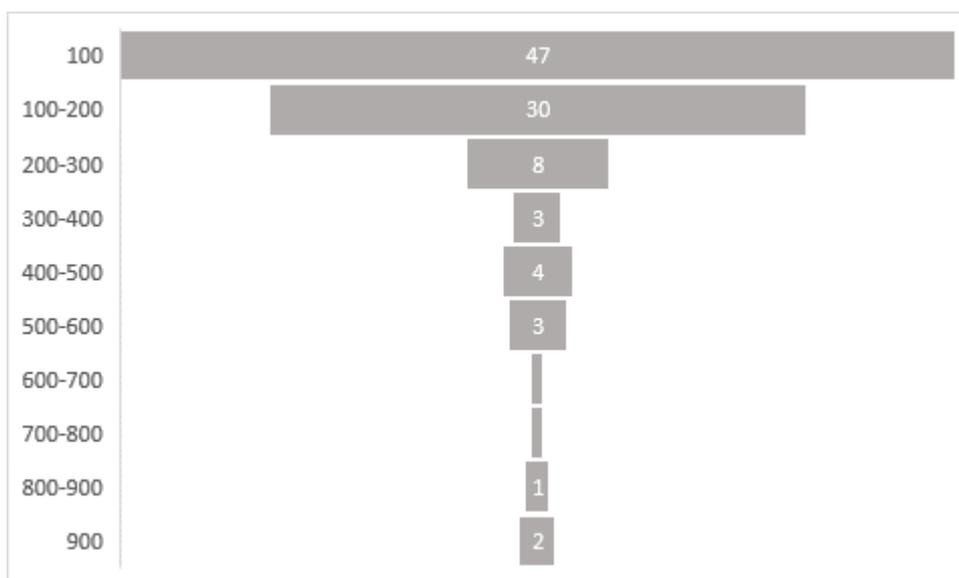


Рис. 4. Процентное соотношение частиц микропластика в интегральной пробе моллюсков

Таблица

Размеры частиц микропластика по видам в интервалах длин (мкм)

Вид частиц	Длина	< 100	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600	600–700	700–800	800–900	> 900
Нити	среднее	68,6	135,0	259,2	328,6	450,9	546,5	653,9	731,6	866,0	1105,9
	СКО	9,2	18,9	16,0	24,4	37,0	34,3	–	–	24,1	75,5
Гранулы	среднее	74,5	135,7	232,5	–	–	–	–	–	–	–
	СКО	14,6	29,3	17,2	–	–	–	–	–	–	–
Фрагменты	среднее	61,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	СКО	17,7	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание: прочерк означает не обнаружено.

В интервале менее 100 мкм и 100–200 мкм гранулы составляют 88 и 75% соответственно (рис. 5). Нити – самые крупные по длине частицы – были отмечены в интервале 300 мкм и более.

Гранулы имеют самую большую массу $738,6 \pm 530,6$ мкг, рассчитанную по [6], по сравнению с другими видами частиц (масса нитей составила $426,5 \pm 489,7$ мкг, фрагменты $377,7 \pm 231,6$ мкг), поэтому именно гранулы оседают и накапливаются в донных отложениях. Моллюски обитают на границе воды и донных отложений, что приводит к накоплению в их организмах именно этих видов МП.

Цветовая характеристика частиц показала, что основную часть составили белые – 74%, синие – 24% и по 1% желтые и красные. Белый цвет имеют, в основном, гранулы, а разнообразие цветов связано с нитями.

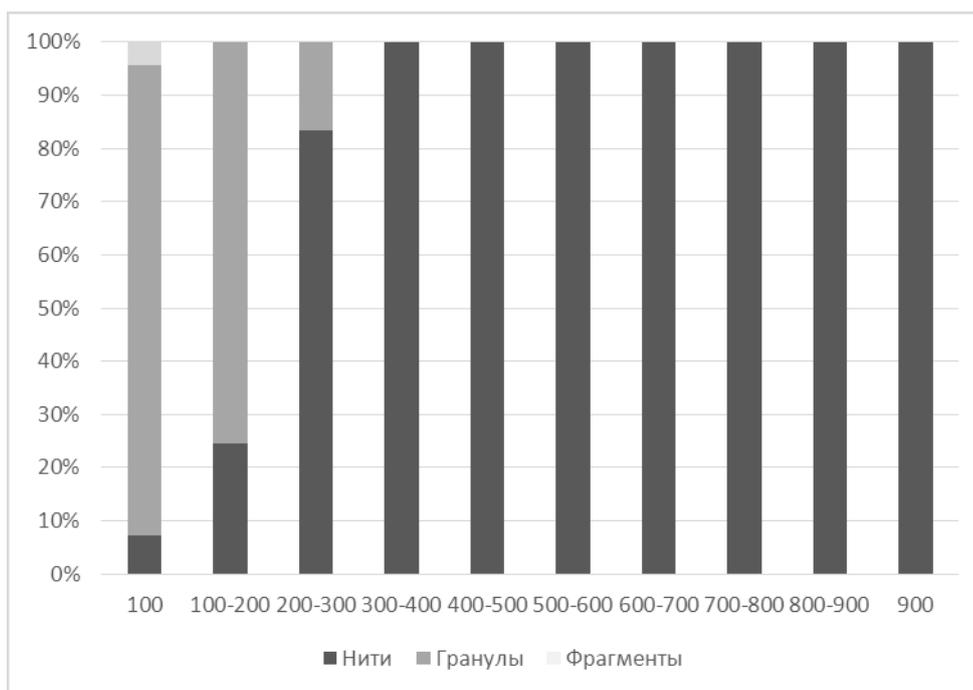


Рис. 5. Процентное соотношение частиц микропластика в каждом интервале длин (мкм)

Выводы. 1. Интегральная проба состояла из двустворчатых моллюсков *Dreissena polymorpha* и *Dreissena bugensis*, средний размер которых составил $1,82 \pm 0,67$ см, возраст – $1,86 \pm 0,36$ лет.

2. Общее количество частиц МП составило 0,7 ед. на один организм. Моллюски накапливают преимущественно гранулы (61%), нити (37%) и фрагменты (2%).

3. Размеры частиц, в основном, укладывались в интервал от 42 до 102 мкм, что связано с преобладанием гранул, имеющих большую массу по сравнению с другими видами МП. Доминирование частиц белого цвета также определяется большим содержанием гранул.

Библиографический список

1. Microplastics in marine mussels, biological effects and human risk of intake: A case study in a multi-stressor environment / O. Ferreira, L. G. A. Barboza, A. Rudnitskaya, et al. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.115704 // Mar. Pollut. Bull. 2023. Vol. 197. Article No. 115704.

2. Степанова Н. Ю., Шевчук К. А., Вьюшкова У. А. Характеристика микропластика в мышцах леща Мёшинского залива (Республика Татарстан) // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 124–127.

3. Neves R. A. F., Guimarães T. B., Santos L. N. First record of microplastic contamination in the non-native dark false mussel *Mytilopsis leucophaeata* (Bivalvia: Dreissenidae) in a Coastal Urban Lagoon. DOI: 10.3390/ijerph21010044 // J. Environ. Res. Public Health. 2024. Vol. 21. Article No. 44.

4. Куйбышевское водохранилище / Отв. ред. А. В. Монаков. Л. : Наука, 1983. 214 с.

5. Ingestion and depuration of microplastics by a planktivorous coral reef fish, *Pomacentrus amboinensis* / M. F. Santana, A. L. Dawson, C. A. Motti et al. DOI: 10.3389/fenvs.2021.641135 // Front. Environ. Sci. 2021. Vol. 9. Article No. 641135.

6. A new method for analyzing microplastic particle size distribution in marine environmental samples / V. S. Mukhanov, D. A. Litvinyuk, E. G. Sakhon et al. DOI: 10.37828/em.2019.23.10 // *Ecologica Montenegrina*. 2019. Vol. 23. P. 77–86.

АДВЕНТИВНЫЕ ВИДЫ МОЛЛЮСКОВ ВЯТСКОГО ПРИКАМЬЯ

Т. Г. Шихова

*ФГБНУ ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства
имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, Россия, biota.vniioz@mail.ru*

Приведены сведения о видах-вселенцах на территории Кировской области – 1 пресноводный и 3 наземных вида моллюсков. Обнаруженные популяции виноградной улитки и речной дрейссены находятся на северо-восточной периферии инвазионных ареалов на территории европейской части России. Указаны чужеродные виды, вероятность обнаружения которых на водосборной территории Вятки очень высока.

Ключевые слова: чужеродные виды, *Helix pomatia* Linnaeus, 1758, *Boettgerilla pallens* Simroth, 1912, *Oxychilus translucidus* (Mortillet, 1854), *Dreissena polymorpha* Pallas, 1771.

Процесс расселения видов за пределы естественных ареалов, их натурализация в новых природных и антропогенных экосистемах и расширение границ распространения – одна из серьезных экологических проблем современности. Вселенцы, как правило, оказывают негативное влияние на биоразнообразие местной фауны и флоры, нарушая экологический баланс естественных экосистем, а многие из них оказываются вредителями сельскохозяйственных культур. Освоение адвентами новых территорий чаще происходит в результате преднамеренной интродукции или случайного заноса (с транспортом, почвой, водой и т.д.). В России переселение наземных видов моллюсков особенно активизировалось в 1990-е годы с увеличением поставок декоративных растений из-за рубежа и завоза туристами экзотических видов со всего мира. На территории Русской равнины появились преимущественно выходцы из Западной Европы и Кавказа. Например, в центре Русской равнины до 28% наземной малакофауны представлено чужеродными видами улиток и слизней [1].

С целью обобщения сведений по видам-вселенцам сухопутных и пресноводных моллюсков на территории Кировской области анализировались оригинальные и литературные данные за более чем 100-летний период. Таксономическая идентификация проведена по определителям [2–4].

В условиях Кировской области, расположенной в зоне тайги и хвойно-широколиственных лесов на востоке Русской равнины, чужеродные виды моллюсков составляют не более 6% наземной и менее 1% – водной малако-

фауны. Среди них два вида – выходцы с Кавказа, один – из Западной Европы и один пресноводный вид – из Понто-Каспийской солоноватоводной области.

Два сухопутных вида – улитка *Oxychilus translucidus* (Mortillet, 1854) и слизень *Boettgerilla pallens* Simroth, 1912, привезённые в ботанический сад г. Кирова с декоративными растениями, освоили и прилегающую территорию в центре города [5].

Oxychilus translucidus – небольшая улитка с блестящей полупрозрачной раковиной завезена с Кавказа во многие регионы России. В 1995 г. обнаружена на территории ботанического сада г. Кирова. В оранжереях бывает очень многочисленной и повреждает декоративные растения. Вид склонен к активному расселению, но в условиях Кировской области пока редкий.

Boettgerilla pallens – небольшой (до 60 мм) земляной слизень. С декоративными растениями также был завезён во многие регионы России. В г. Кирове обнаружен на территории ботанического сада, расположенного на вершине оврага Засора в центральной части города, а также ниже по заросшим склонам оврага. Расселение обусловлено пересадкой декоративных цветов и кустарников с земляным комом в открытый грунт и переносом слизи дождевыми водами.

Виноградная улитка *Helix pomatia* Linnaeus, 1758, впервые была зафиксирована на территории Кировской области в 2022 г. Исторический ареал этого вида ограничивался Центральной и Юго-восточной Европой [6], а значительное распространение в европейских странах связано с использованием улиток в качестве ценного пищевого объекта. В Российскую империю *H. pomatia* была завезена в XVIII в., а позднее интродуцирована во многих западных и центральных регионах. В течении XX в. популяции виноградной улитки сформировались в природных экосистемах западных, центральных и южных регионов европейской части России (ЕЧР) (Калининградская, Ленинградская, Московская, Тверская, Самарская и др.) (рис.) [7].

В Кировской области локальная популяция *H. pomatia* на территории санатория «Лесная Новь» (Кумёнский район) сформировалась от трёх улиток, привезённых из г. Клина Московской области в начале 2000-х годов. В месте их выпуска на сыром участке с искусственными насаждениями площадью ~40 м² обилие взрослых улиток составляет 10 экз./м² (без учёта зарывшихся в грунт особей). Морфометрические показатели раковин половозрелых экземпляров с 4–5 оборотами достигают максимальных свойственных этому виду значений: большой диаметр 40,01±3,25 (33–45) мм; высота раковины 40,95±3,83 (36–46) мм, средняя масса 20,2±4,74 (12–27) г (n = 11) [7].

Это наиболее северо-восточная точка натурализации вида на ЕЧР (рис.). Разновозрастные виноградные улитки активно расселяются в тёплую дождливую погоду. Однако, несмотря на склонность к активному перемещению, комплекс относительно неблагоприятных для этого вида погодноклиматических (континентальный климат с морозной зимой), эдафических (дерново-подзолистые почвы с рН=4,5) и фитоценологических (бедный травя-

ной покров сосновых боров) факторов сдерживает более широкое распространение улитки за пределы данной локализации.

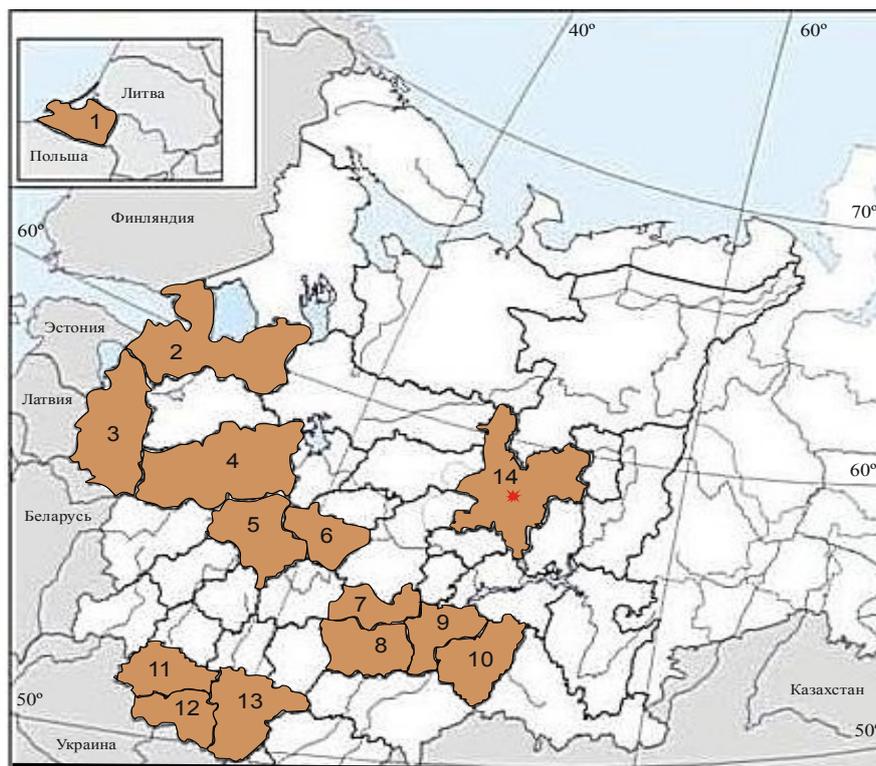


Рис. Распространение *Helix pomatia* на ЕЧР: 1 – Калининградская, 2 – Ленинградская, 3 – Псковская, 4 – Тверская, 5 – Московская, 6 – Владимирская области, 7 – Республика Мордовия, 8 – Пензенская, 9 – Ульяновская, 10 – Самарская, 11 – Курская, 12 – Белгородская, 13 – Воронежская, 14 – Кировская области;
* – санаторий «Лесная Новь» (по: [7])

Дрейссена речная *Dreissena polymorpha* Pallas, 1771, – понто-каспийский относительно теплолюбивый двустворчатый моллюск пресных и солоноватых вод. В Кировской области долгое время отмечались лишь единичные разрозненные находки в нижнем и среднем течении р. Вятки на участках с замедленным течением, в заводях и пойменных водоемах [8, 9]. Моллюск характеризуется треугольной формой раковины с зигзагообразными полосами, пучком биссусных нитей для крепления к субстрату и наличием планктонной личинки – велигер, свойственной морским видам. Исторический ареал речной дрейссены – эстуарии и нижние течения рек Понто-Каспийской области, а современное его расширение связано с развитием судоходства и строительством межбассейновых каналов [10]. В Камском бассейне *D. polymorpha* находится на северной периферии восточного сектора современного ареала. В р. Вятке *D. polymorpha* – достаточно редкий вид. Поселения её мозаичны, с небольшим количеством особей в скоплениях и неравномерным расположением на субстратах. Несколько популяций дрейссены в русле Вятки и пойменных озёрах известны в Котельничском, Нолинском, Советском,

Уржумском районах. В 2013 г. в среднем течении Вятки (заповедник «Нургуш») впервые была обнаружена стабильная колония речной дрейссены с широким размерным рядом раковин 3,6–38,8 мм [11]. Эта колония может служить донором для поселений *D. polymorpha*, расположенных ниже по течению реки. Вероятно, климатические условия с продолжительной зимой и коротким летом, отсутствие водохранилищ на р. Вятке и прекращение с 1998 г. транзитных грузоперевозок по реке препятствуют более широкому распространению этого вида.

На территории Кировской области возможно обнаружение и других чужеродных видов моллюсков, активно расселяющихся и отмеченных на сопредельных территориях и акваториях. Например, с декоративными растениями из теплиц и оранжерей могут проникнуть: кавказский черноголовый слизень *Krynickillus melanocephalus* Kaleniczenko, 1851, и западно-европейский испанский слизень *Arion vulgaris* Moquin-Tandon, 1855, – потенциальные вредители сельхозкультур. Оба вида в настоящее время отмечены в Нижегородской области. Велика вероятность проникновения из Камы в Вятку понтотанского вида дрейссены бугской *Dreissena bugensis* Andrusov, 1897. Этот вид крупнее речной дрейссены, глубоководный и потому менее требователен к температурному режиму.

Расположение региона исследования на востоке ЕЧР в зоне тайги и частично в зоне смешанных лесов, климатические условия с продолжительной холодной зимой ограничивают освоение данной территории чужеродными видами сухопутных моллюсков и теплолюбивыми пресноводными видами. Однако, принимая во внимание ограниченность естественных врагов у видов-вселенцев, их склонность к активному расселению, необходимо контролировать численность известных популяций.

Библиографический список

1. Шиков Е. В. Изменение степени натурализации адвентивных видов наземных моллюсков в центре Русской равнины. DOI: 10.26456/vtbio254 // Вестник Тверского государственного университета. 2022. Т. 2. № 66. С. 72–80.
2. Лихарев И. М., Раммельмейер Е. С. Наземные моллюски фауны СССР. М.-Л. : Академия наук СССР, 512 с.
3. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос. М.-СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.
4. Лихарев И. М., Виктор А. Й. Слизни фауны СССР и сопредельных стран (*Gastropoda terrestria nuda*) // Фауна СССР. Моллюски. Т. III, вып. 5. Л. : Наука, 1980. 438 с.
5. Шихова Т. Г. Новые находки наземных моллюсков в Кировской области // *Ruthenica*: Русский малакологический журнал. 1996. Т. 6. № 1. М. : Изд-во МГУ, С. 82.
6. Шилейко А. А. Наземные моллюски надсемейства Helicoidea // Фауна СССР. Моллюски. Т. 3, вып. 6. Л. : Наука, 1978. 384 с.
7. Шихова Т. Г. Виноградная улитка *Helix pomatia* L., 1758 (Pulmonata, Helicidae) – новый адвентивный вид Кировской области. DOI: 10.52575/2712-9047-2023-5-2-126-135 // Полевой журнал биолога. 2023. Т. 5. № 2. С. 126–135.
8. Круликовский Л. К. Зоологические заметки. Сведения о моллюсках Уржумского уезда Вятской губернии // Записки Уральского общества любителей естествознания. 1903. Т. XXIV. С. 43–45.

9. Шихова Т. Г. *Dreissena polymorpha* в бассейне р. Вятки // Дрейссениды: эволюция, систематика, экология : материалы I Междунар. школы-конф. (п. Борок, 28 октября – 1 ноября 2008 г.). Ярославль : ООО «Ярославский печатный двор», 2008. С. 156–157.

10. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах / под ред. А. Ф. Алимова и Н. Г. Богуцкой. М.-СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2004. 436 с.

11. Шихова Т. Г., Целищева Л. Г. Размерно-возрастная структура популяции дрейссены в среднем течении реки Вятки // Материалы V межрег. зоологических чтений памяти учёного-естествоиспытателя С. В. Маракова (1929–1986) (г. Киров, 26 ноября 2021 г.). Киров : Аверс, 2022. С. 86–91.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПАРКОВ И СКВЕРОВ г. КИРОВА

М. В. Юдинцева, О. В. Масленникова
Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, olgamaslen@yandex.ru

В статье представлены материалы по биологическому исследованию почв парков и скверов г. Кирова. За два сезона (2021–2022 гг.) в парках и скверах города Кирова яйца гельминтов обнаружили в 73,1% проб (4,5 экз. на 1 пробу). В 2021 г. в парках и скверах г. Кирова яйца гельминтов обнаружены в 76,5% проб (5,1 экз. на 1 пробу); в 2022 г. – 55,6% (3,6 экз. на 1 пробу). В 2021 г. чрезвычайно опасными признаны почвы 60% парков и скверов, чистыми лишь 13,3%. Выявлено 7 видов яиц гельминтов, преобладали яйца токсокар – 51,8%, затем *Parascaris equarum* (лошадиная аскарида) – 40% всех проб. Результаты исследований свидетельствуют о значительном биологическом загрязнении почв парков и скверов г. Кирова.

Ключевые слова: биологическое загрязнение, яйца гельминтов, пробы почвы, парки, скверы.

Почвы нашего города, как и других урбанизированных территорий, претерпевают огромное биологическое загрязнение, которое является следствием содержания большого количества кошек и собак в наших квартирах. Особую опасность в этом случае представляют молодые собаки (щенки), которые внутриутробно заражаются круглыми червями – токсокарами. Выгуливание собак и других животных в парках и скверах нашего города создает большую опасность биологического загрязнения почв в результате несанкционированного размещения огромного количества фекалий собак и кошек, контаминированных яйцами гельминтов. Инвазированные собаки и кошки, загрязняя фекалиями объекты внешней среды, содержащими яйца гельминтов, представляют опасность для всех окружающих и создают угрозу заболевания людей.

В настоящее время в различных местах города, включая парки и скверы, можно видеть лошадей. В парках и на улицах города, особенно на его окраинах, встречаются и безнадзорные животные. Яйца гельминтов, цисты

патогенных простейших, которые выделяют инвазированные животные, способны длительное время находиться в окружающей среде, создавая угрозу заражений. Они обнаруживаются в почве, водоемах, питьевой воде, овощах, ягодах, предметах обихода и т. д., могут быть занесены на обуви в наши квартиры.

Исследование почв парков и скверов позволяют определять паразитарную ситуацию, прогнозировать заболеваемость, планировать санитарные, противоэпидемические и лечебно-профилактические мероприятия и контролировать их эффективность.

Цель исследования – изучить биологическое загрязнение почв парков и скверов паразитарными яйцами на территории г. Кирова.

Для проведения исследований был использован метод Д. А. Долбина и соавторами [2]. Точечные пробы отбирались в соответствии с МУ 2.1.7.730-99 на пробной площадке. Для паразитологического анализа с каждой пробной площадки мы брали одну объединенную пробу массой 100–200 г, которую составляли путем смешивания точечных проб, отобранных на пробной площадке. Биологический анализ проб почвы проводили в день доставки их в лабораторию [3, 4].

Объектами исследования в данной работе стали парки и скверы г. Кирова. Забор материала для проведения исследований был произведен в 14 различных точках города Кирова в 2021 г. и 8 парках и скверах в 2022 г., всего было исследовано 26 проб.

При исследовании каждой пробы почвы было приготовлено от 4 до 8 препаратов, которые тщательно просматривались под биологическим микроскопом Микромед 3 вар. 3-20 при увеличении 20×10 . С помощью видеокамеры с окуляром 5,1MPix все обнаруженные яйца, личинки, цисты простейших фотографировались. Проводилась морфометрия обнаруженных яиц для более точного их определения.

Общее количество отобранных согласно методике проб почвы – 26. В результате исследования в 19 пробах нами были обнаружены яйца гельминтов, что составило 73,1%.

Полученные данные были проанализированы и определены виды возбудителей [1, 5]. При проведении исследования были выявлены яйца 7 видов паразитов [6]. Количество обнаруженных возбудителей на одну пробу составило 4,5 экз. Кроме того, в ходе работы были обнаружены личинки свободноживущих нематод, ооцисты простейших, споры грибов.

Паразитологическая оценка проб почвы в парках и скверах города Кирова представлена в таблице.

Из 17 проб, взятых в 2021 г. чистых было три: одна проба в парке имени Кирова, одна в парке имени Гагарина и Кочуровском парке. В 2022 году из 9 взятых проб чистых было 4, из них одна в парке имени Кирова.

В 2021 г. в парках и скверах г. Кирова яйца гельминтов обнаружены в 76,5% проб почвы (5,1 экз. на 1 пробу). Процент заражения в 2022 г. составил 55,6% (3,6 экз. на 1 пробу). Забор проб в 2022 г. проводился в конце лета и в

начале сентября в сухую погоду, что может служить причиной снижения процентного заражения с предыдущим годом. Исследование в 2021 г. проводилось в сентябре, в период, когда температура и влажность почвы благоприятны для сохранения и развития яиц гельминтов. Сухой август – сентябрь 2022 г. способствовали уменьшению биологического загрязнения почвы парков и скверов в 2022 г.

Наибольшее количество паразитарных яиц за два сезона было обнаружено в парке имени Кирова – 25 шт., в Кочуровском парке 20 шт., в парке имени Гагарина – 17 шт., в сквере Борцам революции – 11 шт., во Владимирском сквере – 10 яиц. Небольшое количество яиц (2–4) обнаружено в Сельмашевском парке, в Александровском саду, в Метропарке и Ломоносовском бульваре.

Наибольшее видовое разнообразие яиц гельминтов было зарегистрировано также в парке имени Кирова и парке имени Гагарина – 5 видов; четыре вида обнаружено во Владимирском сквере, три вида яиц гельминтов найдено в сквере им. 60-летия СССР, в парке Победы, сквере Борцам революции, у дворца творчества – Мемориала и в Кочуровском парке. Один вид паразитарных яиц выявлен в Сельмашевском парке и парке Дома культуры Железнодорожников.

Таблица

Количественная оценка паразитарных яиц, обнаруженных в парках и скверах г. Кирова

Место взятия пробы почвы	Кол-во проб почвы	Кол-во препаратов	Кол-во яиц гельминтов, экз.	Кол-во видов яиц гельминтов экз.	Кол-во проб почвы	Кол-во препаратов	Кол-во яиц гельминтов, экз.	Кол-во видов яиц гельминтов экз.
			2021 г.				2022 г.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Парк имени Кирова	3	12	20	5	2	16	5	3
Сквер имени 60-летия СССР	1	4	3	3	1	8	2	1
Парк имени Гагарина	2	8	17	5	1	8	0	0
Владимирский сквер	1	4	10	4	–	–	–	–
Ломоносовский бульвар	1	4	2	2	–	–	–	–
Парк Победы	1	4	7	3	–	–	–	–
Сквер Борцам революции	1	4	10	3	1	8	1	1
Александровский сад	1	4	2	2	–	–	–	–

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дворец творчества – Мемориал	1	4	5	3	1	8	0	0
Парк 50-летия ВЛКСМ	1	4	3	2	1	8	3	2
Парк у Дома культуры Железнодорожников	1	4	2	1	–	–	–	–
Сельмашевский парк	1	4	1	1	1	8	0	0
Метропарк	1	4	4	2	–	–	–	–
Кочуровский парк	1	4	0	0	1	8	20	3
Всего	17	68	86		9	72	32	

Примечание: прочерк означает, что параметр не определялся.

Для расчета уровня биологического загрязнения почв парков и скверов г. Кирова мы воспользовались СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы». Расчеты были сделаны по биологическому загрязнению почв парков и скверов в 2021 г. Чрезвычайно опасными (60%) признаны территории Владимирского сквера и сквера Борцам революции, парка имени Гагарина, парка Победы, парка имени Кирова, дворца творчества – Мемориал, Метропарка, сквера имени 60-летию СССР и парка 50-летию ВЛКСМ. На аллее СМИ по Октябрьскому проспекту и в Кочуровском парке яиц гельминтов нами не обнаружено (13,3%). Остальные исследуемые парки города можно отнести к «опасной» категории загрязнения почв (26,7%), так как показатели количества яиц гельминтов не превышают 100 экз./1000г (рис.)



Рис. Категории загрязнения почв парков и скверов г. Кирова в процентах в 2021 г.

Выявлены яйца 7 видов паразитов, принадлежащих к двум классам – *Nematoda* (5 видов) и *Trematoda* (2 вида). Первое место по встречаемости принадлежит токсокарам: яйцам собачьих и кошачьих аскарид (*Toxocara canis*, *Toxocara cati*) – 51,8%. Яйца *Parascaris equarum* (лошадиная аскарида) обнаружены в 6 парках города (40%). Данная аскарида обитает в кишечнике лошадей и других непарнокопытных. Яйца других видов гельминтов обнаружены единично.

За два сезона исследований (2021–2022 гг.) процент загрязненных проб почвы яйцами гельминтов составил 73,1% (4,5 экз. на 1 пробу). В 2021 г. в парках и скверах города Кирова яйца гельминтов обнаружены в 76,5% проб (5,1 экз. на 1 пробу); в 2022 г. – 55,6% (3,6 экз. на 1 пробу), что связано с засухой в августе 2022 г. В 2021 г. чрезвычайно опасными признаны почвы 60% парков и скверов, чистыми лишь 13,3%.

Выявлены яйца 7 видов гельминтов, преобладали яйца токсокар (*Toxocara canis*, *Toxocara cati*) – 51,8%, затем *Parascaris equarum* (лошадиная аскарида) – 40% всех яиц. Результаты исследований свидетельствуют о значительном биологическом загрязнении почв парков и скверов г. Кирова.

Библиографический список

1. Дифференциальная диагностика гельминтозов по морфологической структуре яиц и личинок возбудителей : атлас / А. А. Черепанов, А. С. Москвин, Г. А. Котельников, В. М. Хренов / под ред. А. А. Черепанова. М. : Колос, 2001. 76 с.
2. Долбин Д. А., Лутфуллин М. Х., Соколина Ф. М. Обследования почвы на яйца гельминтов // Российский паразитологический журнал. 2014. № 2. С. 70–76.
3. Котельников Г. А. Гельминтологические исследования окружающей среды М. : Росагропромиздат, 1991. 144 с.
4. МУК 4.2.2661-10. Методы санитарно-паразитологических исследований : методические указания М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2010. 67 с.
5. Форейт У. Дж. Ветеринарная паразитология. Справочное руководство. М. : Аквариум-Принт, 2012. 248 с.
6. Юдинцева М. В., Масленникова О. В. Паразитологическое исследование почв города Кирова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 2. (г. Киров, 26–27 апреля 2022 г.). Киров : ВятГУ, 2022. С. 395–398.

СЕКЦИЯ 9 ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ВОСПИТАНИЕ. СОЦИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА КАЧЕСТВО ЖИЗНИ И ЗДОРОВЬЕ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ

Э. Э. Кобиров¹, М. К. Тухтаев¹, С. И. Ашурмахматов¹, И. У. Кобилова²

¹ Самаркандский государственный университет имени Ш. Рашидова,
г. Самарканд, Республика Узбекистан, kobilov.1961@mail.ru,

² Общеобразовательная средняя школа № 49,
г. Самарканд, Республика Узбекистан

В данной статье рассматривается качество жизни и здоровье современной молодежи в условиях экологической обстановки, во взаимосвязи между состоянием экологии и состоянием здоровья человека. Здоровье населения является важнейшим фактором социально-экономического развития государства и общества. Оно определяется не только отсутствием болезни, но и способностью к быстрой адаптации к непрерывно меняющимся условиям жизни, изменениям окружающей среды, к возникающим особенностям климатических и природных условий.

Ключевые слова: влияние экологии на здоровье, заболевания молодежи; качество жизни; урбанизация; загрязнение окружающей среды.

Проблемы экологии человека, влияния окружающей среды на здоровье людей являются одними из актуальных. В связи с технологическим прогрессом произошли и продолжают происходить значительные изменения свойств среды обитания человека. По данным ВОЗ, четверть всех заболеваний обусловлена факторами окружающей среды. В связи с ухудшением состояния окружающей среды, повышением уровня заболеваемости населения, появлением новых заболеваний как никогда важно обратить внимание на наше здоровье. На сегодняшний день Центрально-Азиатский регион уже столкнулся с большим количеством проблем в сфере окружающей среды, которые оказывают серьезное влияние на экономику, безопасность и здоровье населения в этих странах. Существенным барьером, негативно влияющим на устойчивое развитие всех стран Центральной Азии, стали экологические проблемы, связанные с доступом и качеством питьевой воды, с загрязнением воздуха, а также с экстремальными погодными условиями вследствие изменения климата.

Термин «экология человека» начал употребляться около 100 лет назад. С тех пор он прочно закрепился в научных работах, статьях и темах различных дискуссий, приобрел статус междисциплинарной науки о взаимодействии людей с живыми и неживыми компонентами окружающей среды [1]. С каждым годом состояние окружающей среды ухудшается, что вызвано постоянным ростом промышленности, урбанизацией и ростом народонаселения. Современная экология выделяет несколько основных проблем для окружающей среды, вызванных активным развитием промышленности: загрязнение окружающей среды промышленными отходами; глобальное потепление и повышение уровня воды в Мировом океане; разрушение озонового слоя в атмосфере; истощение минеральных ресурсов; вымирание видов животных, обезлесение и т. д. [2, 3].

Экологические проблемы сегодня рассматриваются как проблемы человеческого сознания и его тесной связи с природой [4, 5]. Становится ясно, что предупреждение и преодоление экологической катастрофы невозможно без изменения сознательного отношения человека и молодежи, в частности, к окружающей среде [6, 7]. Рассматривая экологическое сознание как часть целостного мировоззрения, необходимо формировать его ключевые установки, основы и ориентации у личности с ранних лет [8, 9]. Экологическое сознание будет служить целостной системой представлений молодых людей о мире, о собственном месте в системе «человек–природа».

Экология играет большую роль в жизни молодежи, она затрагивает все сферы жизни: питание, здоровье, продолжительность жизни, настроение. Следует понимать, что с ухудшением состояния окружающей среды снижается качество жизни. В связи с этим необходимо особо тщательно сохранять места на планете, где экологическая ситуация не подвержена разрушительному влиянию промышленности. Организуются особо охраняемые объекты природы (заповедники, заказники и т. п.) и рекреационные зоны (санатории, пансионаты и т. п.), в которых одними из востребованных мер оздоровления являются воздушные ванны и прогулки, полезные для молодых людей с заболеваниями дыхательных путей. Использование чистой воды применяют в профилактике заболеваний внутренних органов. Многолетние наблюдения показывают, что качество жизни в экологически чистых районах выше, чем в городах и вблизи промышленных предприятий. Исходя из этого, можно понять, как взаимосвязаны экология и здоровье.

Здоровье каждого человека является не только индивидуальной ценностью, но и представляет собой социальную и общественную ценность. Исследования показывают, что здоровый образ жизни (ЗОЖ) способен привести к значительному увеличению продолжительности жизни. Так, проведенное в Германии исследование показало, что ЗОЖ ассоциирован с увеличением ожидаемой продолжительности жизни после 40 лет на 13–17 лет [10], а авторы из США установили увеличение ожидаемой продолжительности жизни после 50 лет на 12–14 лет [11].

Здоровье нельзя рассматривать как нечто самостоятельное, автономное. Оно является результатом воздействия социальных и природных факторов. Огромные темпы индустриализации и урбанизации при определенных условиях могут привести к нарушению экологического баланса и вызвать деградацию не только окружающей среды, но и здоровья молодежи. Урбанизация, с одной стороны, улучшает условия жизни молодых людей, а с другой – приводит к вытеснению природных систем искусственными, загрязнению окружающей среды, увеличению уровня стресса.

Большой город изменяет почти все компоненты природной среды: атмосферу, растительность, почву, рельеф, гидрографическую сеть, грунтовые воды и даже климат. Города меняют электрические, магнитные и другие физические поля Земли. Воздействие города на грунт простирается на глубину от 0,5 до 4 и даже до 8 тыс. м. Меняются условия питания грунтовых вод и их химический состав. Физические условия в больших городах хуже, чем в малых. Согласно исследованиям, проведенным в Англии и США, крупные города получают на 15% меньше солнечной радиации, на 10% больше осадков, на 10% больше облачных дней, на 30% больше тумана летом и на 100% больше тумана зимой [1].

Распространенность многих заболеваний, не только инфекционных, заметно выше в крупных городах. Например, в городах с населением 1 миллион и более человек рак легких у молодых людей встречается почти в два раза чаще, чем в сельской местности. Растущие города и поселки, строящиеся промышленные комплексы требуют все больше и больше воды. Современные стандарты гигиены и сложные технологические процессы на промышленных предприятиях предъявляют повышенные требования к ее качеству. Сточные воды традиционно сбрасываются в реки и водохранилища. Многие природные водные бассейны загрязняются и истощены в связи с осложнением состава и увеличением количества промышленных сточных вод. Города засоряют реки и озера, превращая их в канализационные стоки. Большую опасность для молодого поколения представляет загрязнение атмосферы, которое может привести к раковым заболеваниям. Наблюдается значительное увеличение (в 40 раз за 50 лет) заболеваемости раком легких среди городского молодого населения. Среди мужского населения большинства стран рак легких является наиболее частым среди других новообразований. Есть все основания полагать, что рост числа новообразований во многом зависит от постоянно растущего загрязнения окружающей среды, которое является причиной, по меньшей мере, 75% всех случаев заболевания раком. Доказано, что уровень инфекционной заболеваемости среди городского молодого населения более чем в два раза выше, чем среди сельской молодежи.

Концентрация промышленных предприятий в городах и резкое увеличение числа автомобилей на улицах с вытекающим из этого усилением загрязнения окружающей среды, представляют серьезную угрозу для здоровья миллионов молодых людей. Чрезмерная нервозность молодежи крупных городов привела к росту потребления снотворного и успокоительного. Напри-

мер, в Соединенном Королевстве органы здравоохранения ежегодно прописывают успокоительные препараты на 25 млн фунтов стерлингов [11]. Эта атмосфера характерна для городской среды. С одной стороны, это является положительным фактором, так как способствует развитию неврологической и психической устойчивости у подрастающего поколения, поддержанию профессионального и творческого тонуса, а с другой – при обработке больших объемов информации нервная система не функционирует на уровне предыдущей адаптации. Это приводит к формированию новых динамических стереотипов, которые в некоторых случаях могут привести к распаду, проявляющемуся в виде неврозов и невротических состояний [1, 2, 12]. Несмотря на рост темпов жизни городского населения, как это ни парадоксально, наблюдается отсутствие мотивации к регулярной двигательной активности, что способствует развитию сердечнососудистых заболеваний [12].

Особое внимание следует уделять тем факторам городской окружающей среды, которые негативно влияют на условия жизни и здоровье молодежи. К таким негативным факторам относятся, прежде всего, постепенное увеличение загрязнения окружающей среды промышленными выбросами и отходами, отставание в развитии санитарно-технических сооружений и инженерного оборудования, рост жилищного фонда, повышение уровня городского шума. Шум в больших городах снижает продолжительность жизни людей. По данным австрийских исследователей, такое сокращение продолжительности жизни составляет от 8 до 12 лет. Чрезмерный шум может привести к неврастению, психической депрессии, вегетативному неврозу, язве желудка, эндокринным и сердечно-сосудистым заболеваниям.

На основании приведенных в статье данных и анализа научной литературы, установлено, что природная среда может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на здоровье. Положительное влияние окружающей среды на здоровье молодежи проявляется в том, что человек в принципе не может жить вне природы; без воздуха, растений, которые насыщают воздух кислородом, без воды и пищи, которые питают организм. Прогулки на свежем воздухе являются профилактикой заболеваний легких, употребление чистой воды – профилактикой заболеваний внутренних органов. Отрицательное влияние экологии на здоровье молодежи проявляется в том, что любая болезнь также приходит из окружающей среды. Эффект «озоновой дыры» влияет на образование злокачественных опухолей, загрязнение атмосферы – на состояние дыхательных путей, а загрязнение вод – на пищеварение, ухудшает популяционное здоровье.

Библиографический список

1. Красоткина И. Н. Биоритмы и здоровье. М. : Книги «Искателя», 2002. 222 с.
2. Ющук Н. Д., Маев И. В., Гуревич К. Г. Здоровый образ жизни и профилактика заболеваний. М. : Практика, 2015. 420 с.
3. Ibatova Sh. M., Uralov Sh. M., Mamatkulova F. Kh. Bronchobstructive syndrome in children // Web of Scientist: International Scientific Research Journal. 2022. Vol. 3. No. 5. P. 518–522.

4. Uralov S. COVID-19 pandemiyasi davrida chaqaloqlarni ko'krak suti bilan oziqlan-tirish bo'yicha tavsiyalar sharhi. DOI: 10.26739.2181-1008-2020-1-21 // Gepato-Gastroeterologik Tadqiqotlar Jurnal. 2022. Vol. 1. No. 1. P. 98–103.

5. Кобиллов Э. Э., Уралов Ш. М., Холикова Г. А. О влиянии занятий физической культуры на качество жизни студентов // Innovation in the modern education system : collection of scientific works. Washington, 2022. Part 19. P. 341–346.

6. Kobilov E. E., Batirov Kh. F., Ozdamirova E. M. Urban ecosystems of Uzbekistan and ways of their ecologization. DOI: 10.1051/bioconf/20236303002 // Problems of Nature Management and Environmental Protection (ASE-2023) : BIO Web of Conferences 2023. Vol. 63. Article No. 03002. ASE-2023

7. Kobilov E. E., Batirov Kh. F., Aslaxhanova S. A. Food supply as the main factor of people's quality of life. DOI: 10.1051/shsconf/202317202007// Scientific Challenges of the Development of Modern Society (SHCMS 2023) : SHS Web of Conferences. 2023. Vol. 172. Article No. 02007.

8. Clinical and anamnestic characteristics of children with chronic gastroduodenal pathology / S. Uralov, E. E. Kobilov, H. F. Batirov et al. DOI: 10.1051/bioconf/20237601014 // Biotechnologies in the Context of Human Development (BCHD - 2023) : BIO Web of Conferences. 2023. Vol. 76. Article No. 01014.

9. Mechanisms of diffusion of radon in buildings and mitigation techniques / A. P. D. Baltrochi, L. Maggi, B. Dal Lago et al. DOI: 10.3390/su16010324 // Sustainability. 2024. Vol. 16. Article No. 324.

10. Li K., Hüsing A., Kaaks R. Lifestyle risk factors and residual life expectancy at age 40: a German cohort study. DOI: 10.1186/1741-7015-12-59 // BMC Medicine. 2014. Vol. 12. Article No. 59.

11. Impact of healthy lifestyle factors on life expectancies in the US population / Y. Li, A. Pan, D. D. Wang et al. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.117.032047 // Circulation. 2018. Vol. 138. No. 4. P. 345–355.

12. Ачкасов Е. Е., Машковский Е. В., Левушкин С. П. Инструктор здорового образа жизни и Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «Готов к труду и обороне». М. : ГЭОТАР-Медиа, 2016. 258 с.

EDUCATIONAL ENVIRONMENT IN TEACHING NORMAL PHYSIOLOGY

E. N. Sizova, I. A. Chastoedova, E. A. Zhukova
Kirov State Medical University,
Kirov, Russia, cizovahelena@mail.ru

The article discusses organizing an electronic information and educational environment (EIEE) when conducting a course on Normal Physiology. The advantages and disadvantages of EIEE at a medical university are considered. The students' and teachers' motivation when using EIEE is analyzed.

Key words: electronic information and educational environment, Normal Physiology, higher school.

In the generally accepted biological understanding, the environment acts as a set of interconnected natural bodies and phenomena with which a living organism

directly or indirectly interacts. Let us try to build on this understanding and, by analogy, define the educational environment. So, the educational environment is a complex of interrelated and interdependent material factors of the learning process and subjects which establish interpersonal relationships in the educational process. The educational environment consists of specially organized conditions of environment for the student's personal development. In addition to this real environment, there is also a virtual electronic information and educational environment (EISE) of a higher educational institution. It is able to change quickly, adapting to current needs of higher education. EIEE consists of electronic information and educational resources, information and telecommunication technologies, technological tools. EIEE creates all necessary conditions for students to master educational programs at the medical university partially or even in full (this applies primarily to preclinical disciplines) regardless of the students' location [1].

EIEE helps improve education quality, raise it to the modern level, and increase the competitiveness of students, teachers and the university as a whole in the educational services market. EIEE allows automating the educational process. Automation of education, in turn, contributes to the successful development of educational programs, knowledge dissemination, and the expansion of access to quality education for students, regardless of time and place. It is also very important that EIEE has no restrictions on the continuous quantitative and qualitative growth of its functionality.

Nowadays, everyone is well aware of students' advantages of using a university educational portal: the opportunity to study remotely from the educational institution at the same time in the most convenient individual mode and pace, and also to use the opportunity to return to the information covered as many times as necessary to master the material. The possibilities for using multimedia technologies are expanding for teachers. Due to the automatic mode of checking test tasks, a significant amount of time is freed up, and the verification itself becomes more objective. A teacher can easily organize an individual approach to gifted and highly motivated students.

In general, for a university, training students using EIEE costs approximately half the price of traditional forms of education. It is necessary to take into account the fact of the advantages of EIEE in comparison with traditional forms, thanks to the use of modern technical means of communication and information transfer. In this regard, learning in EIEE happens as if by itself, when in addition to the classical teacher and student (subject and object), a technical intermediary device also appears (e.g. a computer, smartphone, tablet, etc.) and, of course, an endless source of knowledge – Internet. This inanimate fourth component of the EIEE provides the opportunity for mass continuous self-learning, global information exchange, regardless of the time zone, which is very important in modern conditions because professional knowledge becomes outdated very quickly. In addition, the EIEE functioning is a requirement of state educational standards that promote communicative development, creative and professional competencies, including the field of Normal Physiology.

Part of the EIEE is an electronic library system, which makes a significant contribution to the creation of a pedagogical educational environment for studying Normal Physiology. This database contains all the necessary educational, methodological and scientific literature for teachers at the Normal Physiology Department and it is actively used by both students and teachers themselves in organizing lectures, practical and independent classes on Normal Physiology, in particular on the topics of blood physiology, excitable tissue physiology, central nervous system, sensory systems, respiration, digestion, excretion, reproduction.

At the Normal Physiology Department, a whole training complex has been formed for the discipline «Normal physiology» on the Kirov State Medical University's educational portal. This complex includes electronic educational materials consisting of reference guides on blood and excitable tissue physiology, workbooks, test books with hyperlinks within the text and rich illustrative material, a glossary, practical work with micro- and macrophotography, interactive tests and case problems of varying complexity, as well as educational films on Normal Physiology. Consequently, a new EIEE has been created, which in the future can be enriched by integrating sound, movement, image and text, while increasing the students' involvement in the learning process. Taking as a basis work system on the University's educational portal, the department is confident that students are in equal EIEE conditions and have the opportunity to use the same fresh educational materials since updating textbooks using EIEE is much faster and more convenient.

The experience of using the University's EIOS has shown the possibility of updating information on Normal Physiology quickly through the teacher's work in forums and chats where students ask the teacher questions and actively communicate with each other. Information from textbooks and teaching aids become up-to-date, living information. The teacher takes on the coordinating role in the learning process and becomes a mentor and consultant with the ability to create an individual curriculum and manage educational projects. The teacher has interesting and useful opportunities to search for information about the student, group, specialty, faculty, and the student has publicly available telephone numbers of departments and dean's offices, class and educational process schedules, their own electronic grade book, test results and much more useful data.

In the EIEE conditions when teaching Normal Physiology, the main reliance is placed on the student's independent work, on interactions between the teacher and students as well as the students themselves. The above is increasingly becoming an important source of knowledge acquisition. The EIEE activity on Normal Physiology in organizing forums, solving test tasks, discussing case problems is quite high, since this is a necessary condition for making up for missed classes and access to passing checkpoints and exams. It is not difficult to behave passively in traditional classes, but on an educational portal such behavior is not possible [2].

There is an opinion that when working remotely on an educational portal, there is no live contact between teacher and student and this negatively affects the education quality. In the course on Normal Physiology, there is a definition of «disaggregation of ribosomes and polysomes» as a violation of ribosomal-membrane

relationships. In the same course there is a ribosomal-membrane relationship disruption definition as the endoplasmic reticulum structural simplification of an undifferentiated and tumor cell. That is, disaggregation is determined through a violation in one version, and a violation through simplification. Sometimes within a separate topic of the Normal Physiology course it is difficult to find a broader definition of physiological concepts, and it is necessary to go to a higher level. This can be done by posting lecture presentations, links to scientific news platforms, test assignments on individual topics, and test questions in the EIEE. In addition, EIEE does not replace paper textbooks; the teacher encourages students to use them by posting links to the pages of textbooks and special assignments. In the future, the department is planning to use educational audio and video materials on Normal Physiology as well as communication using a web camera. Of course, there are also disadvantages connected with EIEE, which include the difficulty of monitoring tests and assignments completing independence, the lack of live communication between students and the teacher in reality, which interactive forms, no matter how much one would like, cannot completely replace. There is another problem – copyright protection is difficult to ensure, since one registered student can copy lectures and assignments and share them with an unlimited number of students [2].

Separately, when using EIEE in training, we should talk about motivation. The student's motivation determines how well they study and achieve their goals. From the very beginning of its existence, the educational system in higher education is organized in such a way that students are motivated to study, albeit not with full dedication, but mastering the required level of knowledge. As higher education is not compulsory, a student who does not pass the exam is simply expelled because of academic debt. Technologies for increasing student motivation are an integral part of the educational process itself and are logically built into every stage of a lecture or practical lesson and do not depend on the electronic technologies used. But EIEE helps maintain students' motivation to learn as it creates an additional system that supports behavioral activity aimed at acquiring knowledge. All this helps to prevent demotivation which usually manifests itself in absenteeism, tardiness, indifference and unsociability. Interactive forms and methods for assessing acquired knowledge as well as a point-rating system increase students' interest and the efficiency of the educational process.

At the very beginning, when getting to know students, it is important to find out how actively they use the University's educational website when studying other subjects, in what learning situations this happens, and be sure to find out what educational content is of the greatest interest. This information will help strengthen the motivation to enter into training on Normal Physiology and «ignite» students' desire to achieve their goals. Cognitive interests are formed in childhood, and at school and university they are purposefully developed in educational activities, which also occur in EIEE [1].

On an educational site, it is desirable to create conditions under which, while solving general problems, personal needs will be satisfied. Interesting and entertaining educational material (e.g. text books, study guides, lecture presentations) is

at the first place; algorithms for laboratory and practical classes, various tests and situational tasks are at the second one; student forums is at the third place for broad communication and exchange of opinions.

Thus, the electronic information and educational environment is the result of life informatization in general and the complex process of higher education informatization as well as a separate discipline. For teachers, the development and use of electronic information and educational resources is a relevant and fairly new area of activity which is fundamentally different from the traditional preparation of educational materials on paper.

References

1. Sizova E. N., Shmakova L. N. Testing in ecology improves the quality of knowledge and its assessment among medical university students // Current Issues in the Training of Modern Medical Personnel : materials of the Interregional Educational and Methodological conference. Kirov : Publishing House of the Kirov State Medical University, 2023. P. 114–118 (in Russian).

2. Sizova E. N., Fedorovskaya N. S. Development of an electronic information and educational environment in teaching cell pathology // Current Issues in the Training of Modern Medical Personnel : materials of the Interregional Educational and Methodological conference. Kirov : Publishing House of the Kirov State Medical University, 2023. P. 118–123 (in Russian).

KNOWLEDGE QUALITY AND ESTIMATION IN TESTING MEDICAL UNIVERSITY STUDENTS ON ECOLOGY

E. N. Sizova, L. N. Shmakova
Kirov State Medical University,
Kirov, Russia, cizovahelena@mail.ru

The article discusses the issue of using such educational technology as testing to improve the learning process of medical university students in Ecology. Requirements for test content and its application as well as the organization of testing process in teaching Ecology are analyzed.

Key words: testing, ecology, test form advantages.

In world practice, there has been a continuous increase in the test form of monitoring students' knowledge, skills and abilities. Much attention is paid to testing as a control form in Russian higher education. In this article we will look at Ecology testing as an example of such growth. First of all, we point out that an Ecology test is a set of specific tasks with a specific order, created to objectively assess students' level of knowledge in Ecology. The main purpose of testing is to measure the degree to which students have mastered material on a specific topic in Ecology as well as to evaluate the effectiveness of the teacher's work and the tools and methods the teacher uses. In addition, with the help of testing, it is possible to generally determine the university effectiveness as a place for training qualified specialists [1].

Testing in higher education performs diagnostic, educational, training and monitoring functions. Thus, the diagnostic function of an Ecology test is to determine the level and quality of students' knowledge being tested. The educational function implies that test control is inevitable, and the student becomes more disciplined and organized. Thanks to freely accessible testing on the educational portal of our University, students have the opportunity to identify and eliminate knowledge gaps on their own. The educational function is also undoubted, as it motivates the student to train and analyze the covered material more deeply to confirm the level of their own knowledge. The student can control their independent work within the Ecology curriculum framework; this is the controlling function of testing [2].

In order for the above-mentioned functions to work, it is necessary to equally present all covered topics in test questions of an Ecology test. Test tasks must be formulated specifically and unambiguously without any hints in the wording of tasks and answer options. It is important that a test taker does not have the opportunity to use the elimination and thus determine the correct answer.

One of the main test principles is the increasing complexity principle which allows teachers to assess students' knowledge and skills in Ecology. Another principle is the time test limit which is necessary to determine the level of skills and abilities acquired during the training process. The other principles of Ecology testing include: structure, ecological content, adherence to logic laws, manufacturability, correspondence between the complexity degree and students' learning level [3].

The Ecology test for students of our University is consistent with the requirements that are usually applied to the control organization:

- testing takes place on the same basis of software, i.e. all students solve the same tasks under exactly the same conditions;
- the results are interpreted according to a single scale specified in the work programme in Ecology: «credit» is given for at least 71% of correct answers and «not credit» is given for 70% or less correct answers;
- necessary measures are applied (security cameras, presence of authorized teachers and laboratory assistants in the computer laboratory during testing), which make it possible to eliminate cheating and hints.

The methodology for conducting testing on Ecology includes local regulations of the university, for example, «Procedure for Conducting Ongoing Monitoring of Students' Academic Performance and Intermediate Certification». The leading teacher of Ecology at the Management and Commodity Science Department, Professor Elena N. Sizova, has prepared a necessary test bank for the test stage. The methodology involves the test approbation and approval at the department meeting and its transfer to the Information and Computing Center of our university in electronic form. Ecology tests include tasks of three difficulty levels: the first level involves selecting all the correct answers from those proposed; the second one is a task to determine correspondence or sequence; the third one involves solving situational problems.

It should be noted that testing in Ecology has the following advantages over conventional methods of assessing students' knowledge in the subject:

1. Increasing the knowledge control in Ecology, in which personal relationships between the teacher and the student are excluded.

2. Objectivity and fairness in assessing the result, since the assessment is given not by a person, but by a computer program, which almost completely eliminates the teacher's subjectivity. In addition, the test result is reflected in a structured form, and not just on a 5-point scale. The structure of the test result reflects the total points scored by the student, the points for tasks of varying difficulty, the time it took to complete the test, and as a result, the final grade «credit» or «not credit».

3. Possibility of organizing testing simultaneously in a group or in a whole stream, or, if necessary, within the entire educational institution and even the whole country. A striking example of this is the organization and holding of Ecodictant in Russia held on the portal экодиктант.рус in the first half of November for the past three years. Students from our university's medical and pediatric faculties actively participate in this All-Russian event and receive certificates and diplomas of various degrees. Processing of test tasks within our University is carried out automatically on the educational portal using the Indigo or Moodle program. At the same time, the test conducting costs are significantly lower in comparison with written or oral control. Even the high-quality task bank development and its updating does not require additional financial costs, since it is part of the university teachers' methodological work. In this case, only the teacher's personal time is required, which is compensated later by automatically checking students' test results.

4. An opportunity to check the mastery level of both Ecology as a whole, its individual topics and even the individual course elements. In Ecology, on the University's educational portal, students have the opportunity not only to test their knowledge on their own, but also to partially work out missed practical lessons on the 18 topics provided in the work programme.

5. The fact that tests are both capacious and concise allows them to be easily integrated into lectures and practical classes, which is what happens at every Ecology lesson. As homework, the student is tested on our University's educational portal, and testing is the stages of students' work at each practical lesson.

6. Collection and constant updating of a statistical database on the general level of test takers' preparation, which allows timely identification and elimination of imperfections in the educational process and also makes it possible to assess the student's individual progress.

7. Testing as a tool for remote knowledge control. Thus, testing on Ecology organized on our University's educational portal in the distance learning form during Covid restrictions showed its high efficiency, helped organize constant monitoring of the students' knowledge level in Ecology and freed up the teacher's time for individual work with students.

At the same time, with all the positive aspects, testing as a form of testing students' knowledge also has disadvantages. Thus, the testing does not reveal the

student's creative potential. The test taker does not need to express their thoughts consistently and competently. This problem is solved by essays as test items, but this significantly increases the test checking time. When collecting and processing a statistical database of student testing, it is possible that statistical anomalies and errors may occur. Their presence does not allow us to judge with high accuracy the quality of the educational process. When testing, there is always an element of chance: a student who does not answer a simple question can give the correct answer to a more complex one. The reason for this is a banal guess at the correct answer, which is especially important for complexity low level tests with one option for the correct answer. Another chance element side is that during testing the possibility of a typo cannot be excluded, which is automatically assessed as the incorrect answer.

Despite the shortcomings inherent in tests, this testing students' knowledge is increasingly used in the process of teaching Ecology at our University. It is a concomitant form of oral testing, along with an interview. This indicates a predominance of positive testing components over negative ones. At the Management and Commodity Science Department of the Kirov State Medical University, for an effective result, testing is integrated into traditional means of the Ecology assimilation monitoring – practical skills are tested and an interview on the subject is conducted during the test.

References

1. Sizova E. N. Tokareva I. A. Development of E-learning Environment in ecology education // Main Directions of Quality Assurance of Vocational Education : materials of the XXIV Interregional Educational and Methodical Conference. Arkhangelsk : Northern State Medical University Publ., 2019. P. 167–169 (in Russian).
2. Sizova E. N. Human ecology. a set of test tasks : a manual. Kirov : Kirov State Medical University Publ., 2020. 60 p. (in Russian).
3. Sizova Y. N., Shmakova L. N. Information and education environment in teaching ecology // Innovations in Education : Materials of the XI International Educational Conference. Krasnodar : Kuban state medical university Publ., 2021. P. 350–354 (in Russian).

РАЗВИТИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА К ХИМИИ ЧЕРЕЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Л. В. Даровских¹, Н. Л. Долгушина², М. Д. Коцегубова¹

¹ *Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, usr11345@vyatsu.ru,*

² *МБОУ «Средняя общеобразовательная школа с углубленным изучением
отдельных предметов № 30» г. Киров, Россия, s31052001@mail.ru*

В статье представлен опыт использования информационно-коммуникационных технологий на уроках химии для визуализации абстрактных и сложных явлений и процессов, более простым и наглядным способом

преподнося информацию, применяя индивидуальный подход, а также быстро и объективно оценивая знания учащихся.

Ключевые слова: познавательный интерес, информационно-коммуникационные технологии, мотивационный компонент, дистанционный урок, педагогический эксперимент.

Одной из ведущих ценностей признается свободный, образованный гражданин, способный видеть проблемы, формулировать задачи и решать их. Воспитание такого человека неразрывно связано с формированием важнейших личностных качеств, прежде всего таких, как самостоятельность, активность и инициативность. В свою очередь, достаточно эффективно названные качества могут быть сформированы в современной общеобразовательной школе

Реализация общей цели образования предусматривает соблюдение ряда психолого-педагогических условий, обеспечивающих создание образовательной среды, способствующей социально-личностному, эмоционально-ценностному развитию ученика при сохранении его индивидуальности. Одним из важнейших условий является осознание учеником своего интереса к учению, к приобретению нового знания, к освоению новых способов деятельности.

Т. И. Шамова дала фундаментальное определение процесса учения с позиций дидактики как «...целенаправленную самоуправляемую отражательно-преобразующую деятельность по овладению знаниями, способами их добывания, переработки и применения» [1], где она выделяет несколько компонентов: мотивационный, ориентационный, содержательно-операционный, ценностно-волевой, оценочный.

Формирование мотивации учения старшеклассников включает в себя одно из важнейших направлений – решение проблемы развития познавательного интереса. Проблема развития познавательного интереса как побудительной силы деятельности учащихся была рассмотрена в работах В. П. Беспалько [2], О. С. Гребенюк [3], Г. И. Щукиной [4] и др. Вопрос внедрения экологических знаний на уроках химии проработан недостаточно, хотя в отсутствие учебной дисциплины «Экология» в программе общего образования повышение экологической культуры у учащихся можно реализовать на уроках химии [5].

Целью данной работы было теоретически обосновать, разработать и реализовать в школьной практике методику развития познавательного интереса к химии через экологический компонент с использованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ).

Педагогический эксперимент проводился с учащимися 8 классов МБОУ СОШ с углубленным изучением отдельных предметов № 30 г. Кирова. В качестве экспериментального класса (ЭК) был выбран 8а класс (29 учащихся), в качестве контрольного (КК) – 8б класс (31 учащийся). Выбор классов для

проведения эксперимента основан на том, что химия в них не является профильным предметом, а успеваемость детей приблизительно одинакова.

Для исследования развития познавательного интереса учеников с использованием ИКТ был использован метод тестирования.

В течение исследования было проведено два замера уровня развития познавательного интереса. В начале и в конце были проведены тестирования с помощью методики «Как вы относитесь к учебе по предмету» (по П. И. Третьякову и Т. И. Шамоной) [6], а также «Уровень сформированности учебно-познавательного интереса» (по Г. Ю. Ксензовой) [7].

Результаты входного тестирования представлены на рисунке 1. В двух классах приблизительно одинаковое количество учащихся набрали 12–15 баллов. Ни один ученик двух классов не набрал 4–7 и 0–3 баллов. Процент учеников, набравших 20–24 балла, больше в ЭК, набравших 16–19 баллов больше в КК.

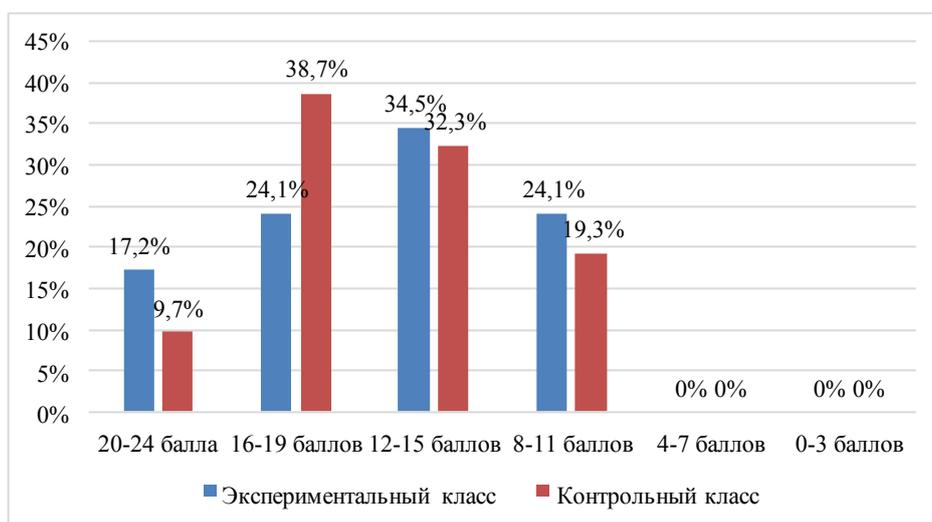


Рис. 1. Результаты тестирования по методике «Как вы относитесь к учебе по предмету» (по П. И. Третьякову и Т. И. Шамоной), %

Результаты оценки уровня сформированности учебно-познавательного интереса (по Г. Ю. Ксензовой) на начальном этапе представлены на рисунке 2. В двух классах приблизительно одинаковый процент учеников соответствует 2 уровню. Ни один ученик двух классов не соответствует 6 уровню. Процент учеников 1 уровня больше в ЭК, 3 уровня больше в КК, 4 уровня больше в ЭК, 5 уровня больше в КК.

В целом анализ результатов тестирования и оценка уровня сформированности учебно-познавательного интереса показали, что исходный уровень развития познавательного интереса в классах средний.

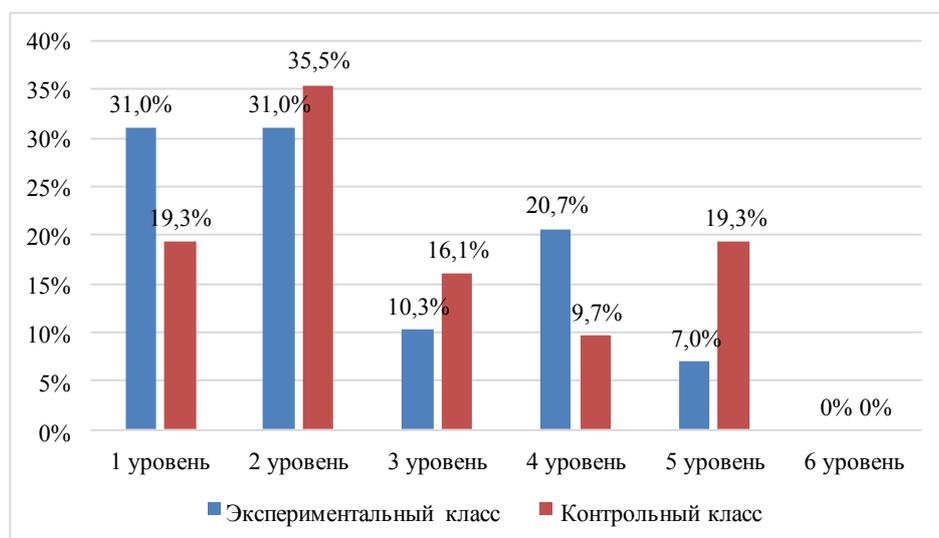


Рис. 2. Результаты оценки уровня сформированности учебно-познавательного интереса на начальном этапе, %

Далее в ЭК был проведен цикл уроков с использованием ИКТ, направленный на развитие познавательного интереса учащихся. Использование современных средств ИКТ дает возможность дифференциации процесса обучения учеников, что способствует повышению качества усвоения материала. Возможность усилить визуальное восприятие помогает лучше усвоить учебный материал. ИКТ позволяют активизировать и эффективно использовать информацию, а также оптимизировать и автоматизировать информационные процессы [8].

Уроки в ЭК проводились по следующим темам: «Типы химических реакций»; «Моль – единица количества вещества. Молярная масса»; «Вычисления по химическим уравнениям»; «Первоначальные химические понятия»; «Контрольная работа по теме «Первоначальные химические понятия»; «Кислород – химический элемент и простое вещество. Получение кислорода»; «Химические свойства кислорода»; «Озон. Аллотропия кислорода»; «Воздух и его состав».

Для развития познавательного интереса на уроках химии через экологический компонент мы применяли различные формы ИКТ, использовали интерактивную доску и компьютер, мультимедийные презентации, учебные фильмы и видео-опыты, дидактические игры, электронные учебники, а также применяли дистанционное обучение.

Например, для проведения дистанционного урока по теме «Кислород» подобраны задания в формате мультимедийной презентации. С помощью видеоконференции происходит демонстрация экрана учителя. Ученики выполняют предложенные им задания. В случае появления затруднений они могут обратиться за помощью к учителю. При проведении дистанционного урока учитель и ученики могут находиться в любом удобном для них месте. В случае если дети пропустили урок, они могут посмотреть его в записи. Проведе-

ние уроков в дистанционном формате помогает разнообразить учебный процесс, а также благоприятно влияет на заинтересованность детей учебным материалом [9].

Задание 1. Самый распространенный химический элемент в земной коре – это ... [10]

Задание 2. В предложении «Кислород входит в состав воздуха» речь идет о кислороде а) как о химическом элементе, б) как о простом веществе [10].

Задание 3. Нарисуйте схему процесса круговорота кислорода в природе [11].

Задание 4. Укажите, в составе каких оболочек Земли кислород находится в связанном виде, а в составе каких – в свободном [11].

Задание 5. Реакция горения фосфора в кислороде относится к реакциям: а) соединения; б) разложения; в) замещения; г) окисления [10].

Задание 6. Дайте название следующим оксидам: CO_2 , SO_2 , P_2O_5 , MgO , Na_2O , SiO_2 , Cl_2O_7 .

Задание 7. Вычислите массовую долю кислорода в воде.

Задание 8. Вычислите массовую долю кислорода в оксиде азота(II).

Задание 9. Назовите основной источник пополнения запаса кислорода в атмосфере.

Результаты выходного тестирования представлены на рисунке 3. В целом, учащиеся ЭК показали лучший результат: все учащиеся набрали не менее 12 баллов, тогда как при первом тестировании таковых было 3/4. Количество учащихся ЭК, набравших 20–24 балла, в 6 раз больше, чем в КК. В целом результаты второго тестирования для КК практически не отличаются от первого.

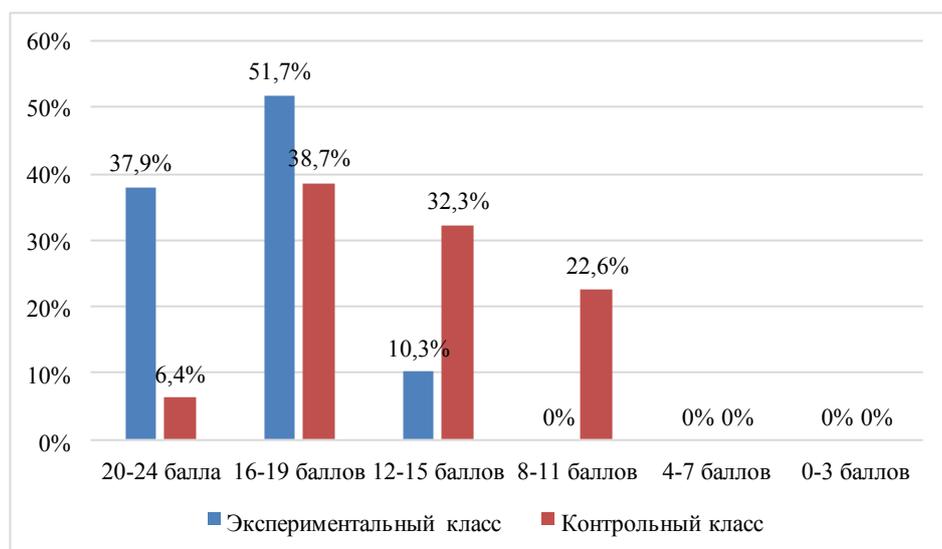


Рис. 3. Результаты тестирования по методике «Как вы относитесь к учебе по предмету» (по П. И. Третьякову и Т. И. Шамовой), %

Результаты оценки уровня сформированности учебно-познавательного интереса (по Г. Ю. Ксензовой) в конце эксперимента представлены на рисунке 4. Обращает на себя внимание снижение количества учащихся ЭК с 1 и 2 уровнями (самые низкие) сформированности познавательного интереса, а также повышение – с 5 и 6 уровнями (самые высокие). Сформированность познавательного интереса для КК осталась на том же уровне, что и при первом тестировании.

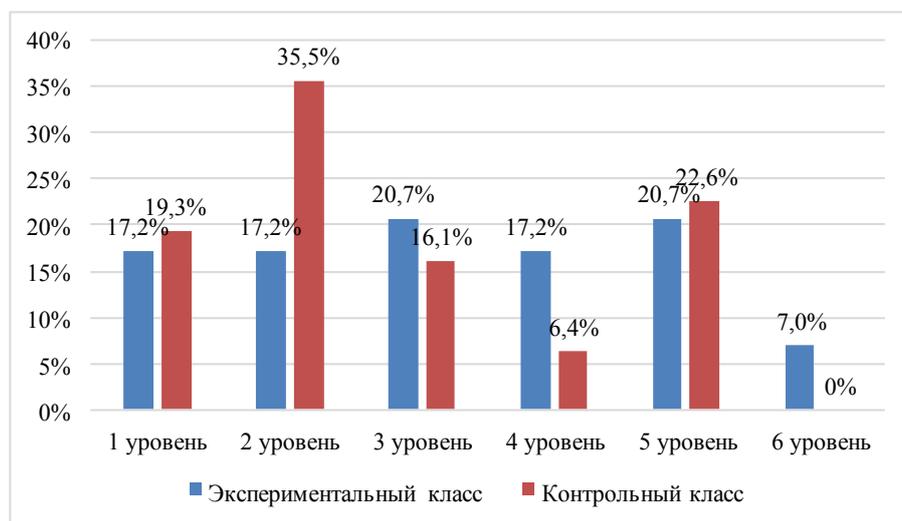


Рис. 4. Результаты оценки уровня сформированности учебно-познавательного интереса в конце эксперимента, %

Результаты выходного тестирования и оценка уровня сформированности учебно-познавательного интереса показали, что уровень познавательного интереса у детей ЭК вырос, у детей КК практически не изменился.

Таким образом, применение ИКТ на уроках химии через экологический компонент благоприятно влияет на развитие познавательного интереса школьников. ИКТ способствуют повышению познавательного интереса к химии, а также помогают формированию экологической культуры.

Библиографический список

1. Шамова Т. И. Активизация учения школьников. М. : Педагогика, 1982. 208 с.
2. Беспалько В. П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения. М. : Педагогика, 1989. 192 с.
3. Гребенюк О. С. Гребенюк Т. Б. Теория обучения. М. : Юрайт, 2024. 318 с.
4. Щукина Г. И. Проблема познавательного интереса в педагогике. М. : Педагогика, 1971. 351 с.
5. Бахарева С. В. Применение системы задач с экологическим содержанием при изучении органической химии // Проблемы современного педагогического образования. 2023. № 78-3. С. 24–28.
6. Шамова Т. И., Третьяков П. И., Капустин Н. П. Управление образовательными системами. М. : ВЛАДОС, 2001. 319 с.
7. Ксензова Г. Ю. Перспективные школьные технологии. М. : Пед. о-во России, 2000. 222 с.

8. Мальцева Ю. В. Использование ИКТ в обучении // Инновационная наука. 2018. № 10. С. 88–91.

9. Вайндорф-Сысоева М. Е. Грязнова Т. С., Шитова В. А. Методика дистанционного обучения. М. : Юрайт, 2018. 194 с.

10. Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия. 8 класс : учеб. для общеобразоват. организаций. М. : Просвещение, 2016. 207 с.

11. Габриелян О. С., Остроумов И. Г., Сладков С. А. Химия : 8-й класс : базовый уровень : учебник. М. : Просвещение, 2023. 175 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ НА УРОКАХ ХИМИИ ЧЕРЕЗ РЕШЕНИЕ КЕЙСОВ С ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ

*Е. С. Грибанова¹, Л. В. Даровских¹, Е. В. Береснева¹, В. Е. Алексеева²
¹Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
stud115115@vyatsu.ru, usr11345@vyatsu.ru, usr11511@vyatsu.ru,
²МБОУ средняя общеобразовательная школа № 30, г. Киров, Россия,
chemistryave@yandex.ru*

На современном этапе развития школьного образования важную роль играет формирование функциональной грамотности обучающихся, одним из компонентов которой является естественно-научная грамотность. В статье представлен опыт формирования грамотности в области естествознания путем решения кейсов с химико-экологическим содержанием.

Ключевые слова: функциональная грамотность, естественно-научная грамотность, кейс, оценка эффективности.

Результаты международных исследований служат показателями состояния и результативности процесса образования в стране. Международная программа PISA оценивает образовательные достижения учащихся [1]. Текущие результаты российских школ на второй и третьей ступенях образования свидетельствуют о низкой результативности функциональной грамотности обучающихся, одним из компонентов которой является естественно-научная грамотность. В школьных программах важно учитывать текущие проблемы естественных наук, такие как проблемы окружающей среды, здоровый образ жизни и влияние науки и технологий на общество, чтобы лучше подготовить учащихся к будущему.

Естественно-научная грамотность – это способность человека занимать активную гражданскую позицию по вопросам, связанным с развитием естественных наук и применением их достижений [2].

Одной из эффективных технологий обучения, которая дает возможность развивать естественно-научную грамотность, является проблемно-ситуативное обучение с использованием кейсов [3].

Кейс представляет собой описание конкретной реальной ситуации, подготовленной по определенному формату. Кейс не предлагает проблему в открытом виде, а ученикам предстоит ее выделить из информации в описании кейса.

Основой для отбора являются различные ситуации реальной жизни; особенность этих заданий – их многофакторность и комплексный характер. Задание включает в себя описание ситуации, представленной в проблемном ключе, и содержит текст, рисунки, таблицы, а также совокупность взаимосвязанных факторов и явлений, характеризующих определенный этап, период или событие [4].

Все задания сопровождаются методическим комментарием и характеризуются с точки зрения содержательной основы, умений, а также познавательного уровня, который определяется в зависимости от сочетания познавательных действий, необходимых учащемуся для выполнения задания. Низкий уровень предполагает выполнение учащимися простой одношаговой процедуры (например, распознать факты, термины, понятия, найти в таблице или на графике единственную точку, содержащую необходимую информацию, и пр.). При выполнении заданий среднего уровня сложности ученику необходимо совершить несколько шагов, применить знания для описания или объяснения явлений, интерпретировать или использовать наборы данных в виде таблиц или графиков. Высокий уровень задания требует анализа сложной информации, умения обобщать и обосновывать ее, формулировать выводы, предлагать план решения проблемы [5].

Целью данного исследования является формирование естественно-научной грамотности школьников на уроках химии в 9 классе.

Объектом исследования является процесс преподавания неорганической химии в школе.

В ходе исследования использовались следующие методы: наблюдение (за действиями учеников в процессе решения кейсов), тестирование (на начальном и конечном этапах исследования), сравнение (контрольного и экспериментального классов), педагогический эксперимент.

Педагогический эксперимент проходил в 9-х классах МБОУ СОШ № 30, при этом учащиеся 9 «б» класса были экспериментальной группой, для которой были составлены задания разных уровней сложности, учащиеся 9 «а» класса – контрольной группой. Выбор экспериментальной и контрольной групп основывался на том, что в классах одинаковое количество детей, равное количество мальчиков и девочек, успеваемость детей по химии за 8 класс приблизительно одинаковая. Перед началом эксперимента было проведено входное тестирование (рис. 1).



Рис. 1. Количество учащихся (%) с разным уровнем сформированности естественно-научной грамотности при первичном тестировании

Первичное тестирование показало, что в контрольном и экспериментальном классах одинаковое количество детей со средним уровнем сформированности естественно-научной грамотности (54%), и незначительные различия в процентном отношении детей с высоким (17% и 13%) и низким (29% и 33%) уровнями развития. Недостаточное количество учащихся с высоким уровнем сформированности естественно-научной грамотности показало необходимость проведения эксперимента по ее формированию.

Для оценки эффективности формирования естественно-научной грамотности нами составлен блок заданий, который представляет измерительный инструментальный (в соответствии с моделью PISA), причем количество заданий может варьировать. В кодификаторе (табл. 1) зафиксированы необходимые для решения задач умения, которые позволяют выявить у обучающихся уровень сформированности ключевых компетенций, характеризующих естественно-научную грамотность.

Таблица 1

Кодификатор задач

Компетенции	№ задачи	Максимальный балл
Интерпретировать данные и использовать научные доказательства для получения выводов		
Анализировать, интерпретировать данные и делать соответствующие выводы	№ 1	1 балл
Научно объяснять явления		
Делать и научно обосновывать прогнозы о протекании процесса или явления	№ 2	1 балл
	№ 3	2 балла
Применять соответствующие естественно-научные знания для объяснения явления	№ 4	2 балла
	№ 5	2 балла
Количество баллов – 8		

На основе суммы баллов, получаемых участниками за выполнение всех заданий, определяется уровень сформированности естественно-научной грамотности.

В таблице 2 указаны границы уровней сформированности естественно-научной грамотности (низкий, средний, высокий).

Таблица 2

**Распределение количества баллов
по уровням естественно-научной грамотности**

Уровень грамотности	Низкий	Средний	Высокий
Количество баллов	0–2	3–6	7–8

Время для инструктажа 5 мин, для выполнения заданий 15 мин.

В качестве примера приведем 2 задания.

Задание 1. Коррозия. Большинство металлов и сплавов постепенно разрушаются под действием факторов окружающей среды. При взаимодействии металлов с веществами воздуха и атмосферными осадками на их поверхности образуется плёнка, состоящая из оксидов, сульфидов, карбонатов и других соединений. Происходит коррозия металлов.

1. Какие последствия для металла несёт коррозия?

2. Для защиты железных изделий от коррозии используют покраску изделий. Почему краска защищает металл от коррозии? Какие еще покрытия можно использовать для защиты металлов от коррозии?

3. Подчеркните способы, которые относятся к защите металлов от коррозии: шлифование, никелирование, фильтрование, протекторная защита, нанесение красок, хромирование, лужение, кипячение, использование ингибиторов.

4. Два друга решили провести отдых на своих яхтах. Для защиты днища яхт они использовали пластины цинка. Один из друзей путешествовал по морю, а второй по реке. Днище какой яхты окажется в лучшем состоянии по возвращении из путешествия? Почему?

5. На стальной крышке поставлена медная заклепка. Что раньше разрушится – крышка или заклепка? Почему?

Задание 2. Кислотные дожди.

Хлороводород играет значительную роль в химии атмосферы, оказывая как прямое, так и косвенное воздействие на окружающую среду. Хлороводород выбрасывается в атмосферу в результате естественных процессов, таких как вулканические выбросы, лесные пожары и океанские брызги, а также в результате деятельности человека, включая промышленные процессы, такие как сжигание отходов и химическое производство. При сжигании ископаемого топлива, содержащего хлор, в качестве побочного продукта также выделяется хлороводород. Хлороводород может способствовать образованию кислотных дождей, когда он вступает в реакцию с водяным паром атмосферы.

1. Какими физическими свойствами обладает хлороводород?

2. Каковы последствия при вдыхании хлороводорода?

3. Как вы понимаете термин «кислотные дожди»?

4. Как влияют кислотные дожди на окружающую среду?

5. Предположите, как можно предотвратить образование кислотных дождей.

После завершения эксперимента на уроках химии у экспериментальной и контрольной групп проводилось итоговое тестирование для определения уровня сформированности естественно-научной грамотности. Результаты итогового контроля представлены на рисунке 2.

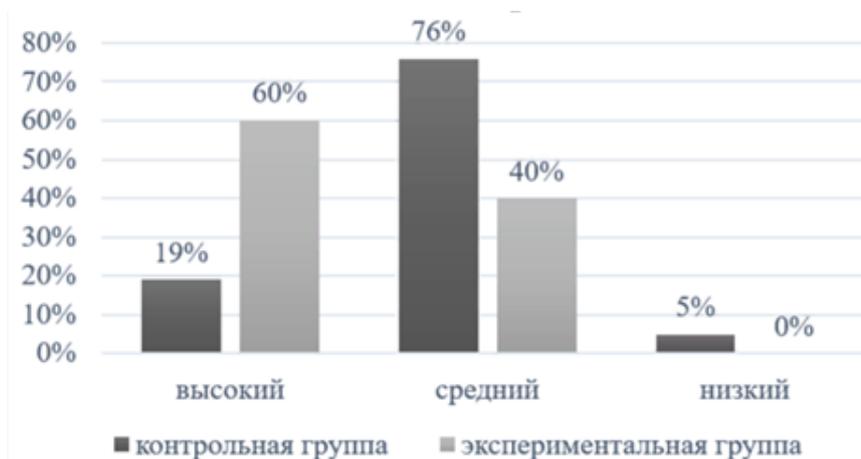


Рис. 2. Количество учащихся (%) с разным уровнем сформированности естественно-научной грамотности при повторном тестировании

Педагогический эксперимент показал, что процент учеников с высоким уровнем сформированности естественно-научной грамотности в экспериментальном классе вырос на 47%, а в контрольном классе только на 2%. В то же время в экспериментальном классе не осталось учеников с низким уровнем сформированности естественно-научной грамотности.

Таким образом, использование кейсов с химико-экологическим содержанием на уроках химии благоприятно повлияло на развитие естественно-научной грамотности учащихся. Ученики экспериментальной группы достаточно легко выполняли ситуационные задания, используя свое креативное мышление. Учащимся контрольной группы для выполнения заданий требовалось больше времени.

Библиографический список

1. PISA (Международная программа по оценке образовательных достижений учащихся) [Электронный ресурс]. – URL: <https://fioco.ru/PISA> (дата обращения: 8.02.2024).
2. Подходы к оценке естественнонаучной грамотности. [Электронный ресурс]. – URL: <https://imc-yurga.kuz-edu.ru/files/imc-yurga.pdf> (дата обращения: 29.03.2024).
3. Естественнонаучная грамотность // сб. материалов всерос. форума экспертов по функциональной грамотности (г. Москва, 17–18 декабря 2019 г.) [Электронный ресурс]. – URL: https://mon.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_2941946.pdf (дата обращения: 8.02.2024).
4. Естественно-научная грамотность: пособие по развитию функциональной грамотности старшеклассников / Л. И. Асанова, И. Е. Барсуков, Л. Г. Кудрова и др. М. : Академия Минпросвещения России, 2021. 84 с.

5. Гуськов Е. А. Индивидуальный проект как эффективная технология формирования функциональной грамотности обучающихся // Молодой ученый. 2020. № 45 (335). С. 235–238.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИГР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА ОБУЧАЮЩИХСЯ

С. А. Лютин, Е. В. Береснева
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, stas.lyttin@mail.ru

В статье рассматривается использование химико-экологических игр в образовательном процессе для повышения экологического образования школьников и развития их познавательного интереса к химии и экологии.

Ключевые слова: познавательный интерес, познавательная мотивация, химико-экологические игры.

Развитие познавательного интереса у обучающихся преследует более далёкие цели, нежели простую заботу об их успеваемости. Ключевая цель заключается в том, чтобы будущий специалист был заинтересован в своем постоянном профессиональном росте. В этой связи формирование устойчивого познавательного интереса приобретает важное значение. Его формирование зависит от того, насколько полно и эффективно удастся вовлечь обучающихся в разнообразную учебно-познавательную деятельность [1].

В. Ф. Моргун считает, что объектом познавательного интереса является непосредственно содержание учебных дисциплин, овладение которым составляет основное назначение учения [2]. Экологическое образование и воспитание охватывает все области и циклы учебных предметов, в том числе и химию, которая должна сыграть в нем значительную роль. Однако в учебниках по химии уделяется очень мало внимания экологическим проблемам.

Мы предлагаем включать экологический материал как на уроках химии, так и во внеурочной работе, используя игровые технологии, которые помогут повысить познавательный интерес и к химии, и к экологии. Игровые методы – это методы активного обучения, которые выполняют исключительную роль усиления познавательной активности, обеспечения сложного процесса обучения [3]. В процессе игры у обучающихся повышаются навыки командной работы, химического экспериментирования, логического мышления при выполнении различных практических заданий, что поможет им лучше понять и усвоить материал [4].

Целью нашего исследования явилась разработка серии дидактических химико-экологических игр и оценка их роли в развитии познавательного интереса обучающихся.

Объект исследования: процесс обучения неорганической химии в школе.

В ходе исследования использовались следующие методы: игровой метод, наблюдение, анкетирование, статистическая обработка результатов педагогического эксперимента.

Педагогический эксперимент по использованию химико-экологических игр в обучении проводился с учащимися 9 «Г» класса МОАУ СОШ с УИОП № 37 г. Кирова по просьбе учителя химии Татьяны Николаевны Фоминых. Данная группа учеников рассматривалась как экспериментальная, поэтому достигнутые ими результаты не сравнивались с результатами контрольных групп, а отслеживалась динамика личностных достижений, характер которой позволял судить об эффективности примененных методик. В ходе эксперимента выполнялся принцип малой выборки, согласно которому «в экспериментальных группах должно быть не менее 24 человек (в нашем случае 25), так как математическая статистика утверждает, что после этого числа сопоставительные данные начинают повторяться» [5]. Соблюдение данного принципа дает основание считать полученные результаты достоверными.

Перед началом педагогического эксперимента было проведено входное анкетирование обучающихся [6, 7], в ходе которого определялись показатели уровней познавательной мотивации и устойчивости интереса обучающихся. Приводим его результаты (рис. 1).

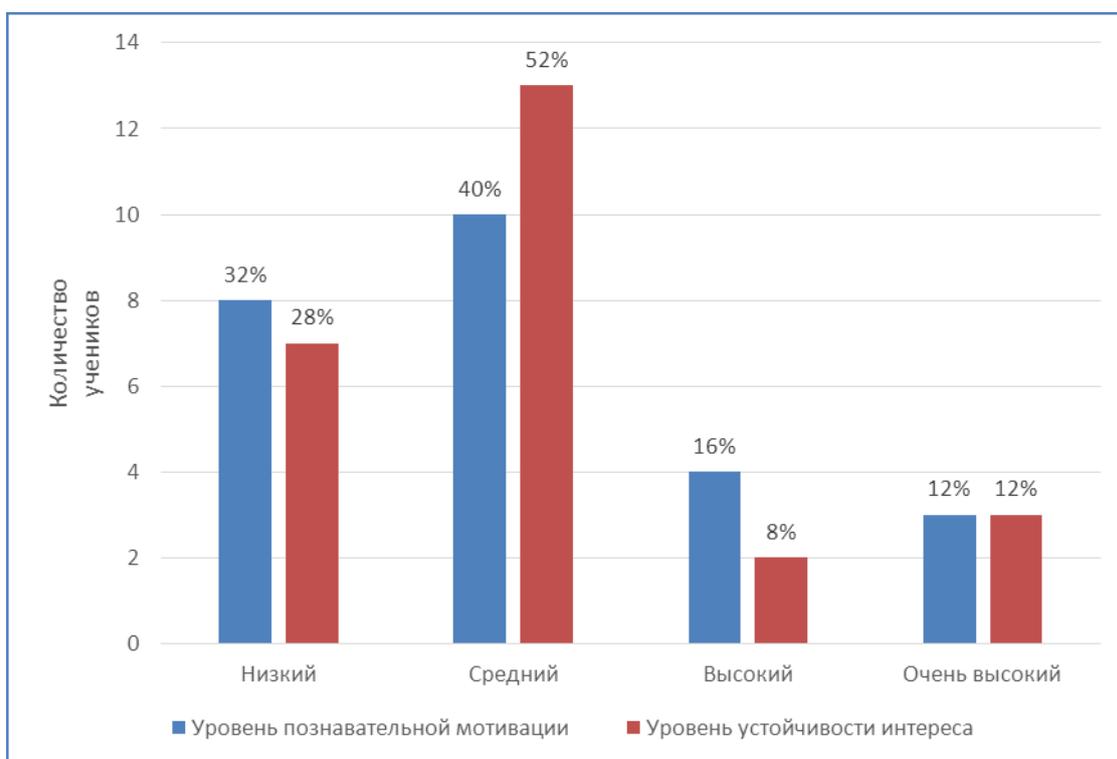


Рис. 1. Показатели уровней познавательной мотивации и устойчивости интереса обучающихся во входном анкетировании

Результаты входного анкетирования показали, что уровень познавательной мотивации у обучающихся невысокий (у 72% учеников он находится на низком и среднем уровне). Похожие результаты и по устойчивости интереса

са (у 80% учеников она находится на низком и среднем уровне). Это позволило нам сделать вывод о необходимости повышения познавательного интереса школьников.

Нами были отобраны и дополнительно самостоятельно составлены дидактические игры химико-экологического содержания.

Наиболее важными мы считаем игры, позволяющие получать практические навыки химико-экологического характера. К таким играм относятся квесты на экологические темы – приключенческие игры, заключающиеся в выполнении цепочки заданий для достижения игровой цели. В квестах участники коллективно обсуждают различные экологические проблемы и находят способы их решения, часто с помощью химико-экологических экспериментов. Такого рода игры помогают обучающимся применять свои знания на практике, проявлять смекалку и логическое мышление [8]. Квесты в 9 классе можно с успехом применять во внеурочной деятельности при изучении подгрупп химических элементов – кислорода, азота, углерода, металлов. Они способствуют повышению интеллектуального и культурного уровней обучающихся и дают массу положительных эмоций.

Интересно проходят игры, инициирующие творческую активность обучающихся в области поиска конкретных решений химико-экологических задач. Примерами таких игр являются кроссворды, сканворды, ребусы, различные загадки и викторины. Они помогают учащимся работать вместе как единая команда, что способствует сплоченности коллектива, углублять и систематизировать свои знания, расширять кругозор, повышать словарный запас, развивая память [9].

Для определения активности школьников на уроке и во внеурочной деятельности мы использовали метод наблюдения. Непосредственное наблюдение осуществлялось за школьниками в процессе учебных занятий и самостоятельного выполнения детьми учебных заданий как в начале игры, так и в процессе игровой деятельности.

С целью выявления эффективности применения игровых технологий проводилось выходное анкетирование учащихся. Его результаты представлены на рисунке 2.

Сравнивая результаты входного и выходного анкетирования, можно отметить, что возросло число обучающихся, обладающих высоким (с 16% до 44%) и очень высоким (с 12% до 28%) уровнем познавательной мотивации. В то же время осталось меньше детей с низким уровнем мотивации (с 32% до 12%). Уровень устойчивости интереса также повысился после проведения учебных занятий с использованием игровой технологии. Особенно следует отметить то, что стало намного больше обучающихся с очень высоким уровнем устойчивости интереса (12% при входном анкетировании и 36% при выходном).

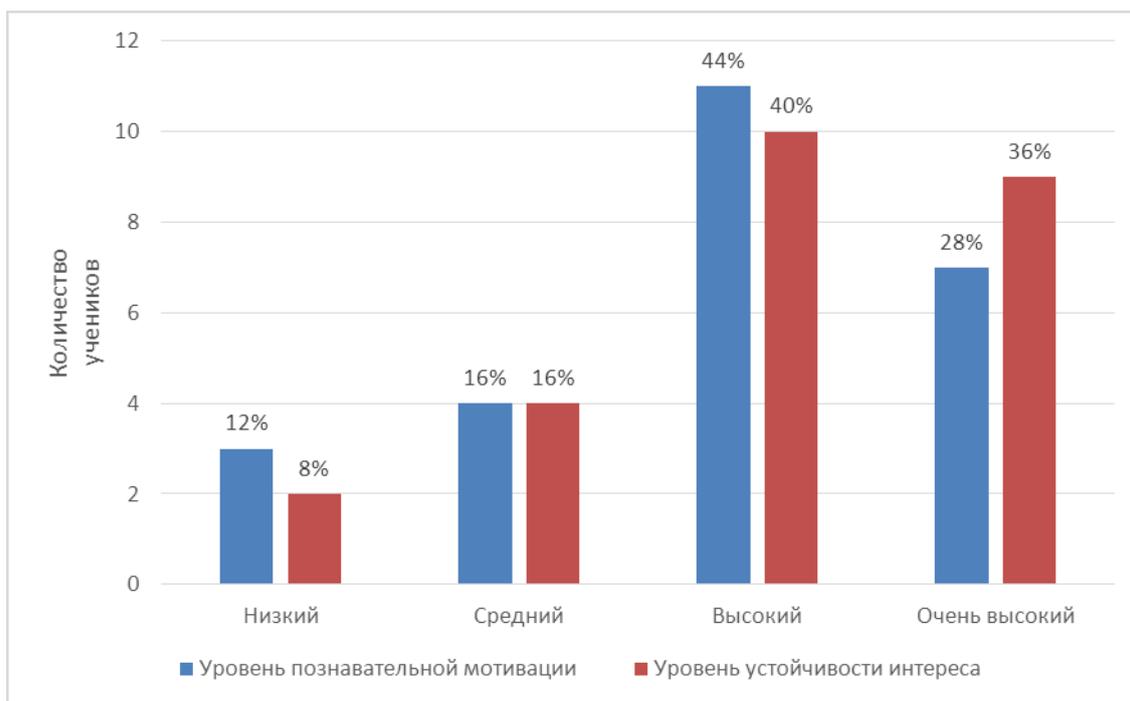


Рис. 2. Показатели уровней познавательной мотивации и устойчивости интереса обучающихся в выходном анкетировании

Таким образом, можно сделать вывод, что использование игровых технологий помогает повысить познавательный интерес обучающихся к химии как предмету и к экологическим проблемам России и региона, а также способствует поддержанию его на высоком уровне.

Принимая во внимание, что в школе нет отдельного предмета Экология, вся нагрузка по экологическому образованию человека ложится на учителей предметников, особенно на учителей естественнонаучного профиля, к которому относится и химия, поэтому экологический аспект в химическом образовании очень важен [10].

Библиографический список

1. Познавательный интерес и роль педагога в его повышении / Н. А. Дубровин, Г. А. Грибина, А. А. Жидков и др. // Современные научные исследования и инновации. 2021. № 3 [Электронный ресурс]. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2021/03/94921> (дата обращения: 16.03.2024).
2. Моргун В. Ф. Психологические условия воспитания познавательного интереса к учебному предмету. М. : Просвещение, 1979. 28 с.
3. Синько Е. С. Использование игровых методов как одного из средств стимулирования познавательной активности // Наука и современность. 2016. № 42. С. 39–42.
4. Игровые технологии на уроках химии как способ формирования познавательного интереса [Электронный ресурс]. – URL: <https://infourok.ru/igrovye-tehnologii-na-urokah-himii-kak-sposob-formirovaniya-poznavatel'nogo-interesa-4503884.html> (дата обращения: 16.03.2024).
5. Штульман Э. А. Специфика методического эксперимента // Советская педагогика. 1986. № 3. С. 61–65.

6. Шкала выраженности учебно-познавательного интереса (по Г. Ю. Ксензовой) [Электронный ресурс]. – URL: <https://nsportal.ru/nachalnaya-shkola/raznoe/2019/03/25/shkala-vyrazhennosti-uchebno-poznavatel'nogo-interesa-po-g-yu> (дата обращения: 29.03.2024).

7. Шамова Т. И., Перминова Л. М. Мотивация как важнейший фактор управления учебным процессом // Химия в школе. 1993. № 2. С. 24.

8. Химико-экологические игры [Электронный ресурс]. – URL: <https://multiurok.ru/files/khimiko-ekologicheskie-igry.html> (дата обращения: 16.03.2024).

9. Урок по химии «Химические загадки» [Электронный ресурс]. – URL: <https://infourok.ru/urok-po-himii-himicheskie-zagadki-2505501.html> (дата обращения: 16.03.2024).

10. Экологические аспекты в формировании предметных компетенций при обучении химии / О. А. Макарова, Е. Л. Гринченко, З. А. Мендубаева и др. // Мир науки, культуры, образования. 2018. № 6 (73). С. 76–78.

РАЗВИТИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В РАЗДЕЛЕ «ВОЗДУХ ГОРОДА И ЗДОРОВЬЕ» В РАМКАХ ВНЕКЛАССНОЙ КРУЖКОВОЙ РАБОТЫ

А. В. Пантелеева, Н. М. Зимонина

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
Anastasia.Panteleeva.2000@yandex.ru, zimonina.nata@mail.ru*

В статье представлен опыт формирования специальных компетенций по определению качества воздуха и индивидуального функционального состояния дыхательной системы у учащихся 8–9 классов во внеклассной деятельности. Раскрыта структура и содержания работы одного из разделов кружка по экологии.

Ключевые слова: специальные компетенции, внеклассная кружковая работа, метод лихеноиндикации, функциональные пробы.

Одной из важнейших задач современной школы является экологическое образование и воспитание. В сфере экологических компетенций итогом освоения учащимися основной образовательной программы должны стать: экологическое мышление, понимание влияния социально-экономических процессов на состояние природной и социальной среды, опыт эколого-направленной деятельности [1]. Методически грамотно организованная внеклассная работа с учащимися может стать надёжным способом достижения данных результатов.

Во внеклассной работе используются разнообразные формы организации деятельности: экскурсии, беседы, лекции, просмотры документальных фильмов, работа с биоматериалами, кружковая деятельность и др. Любое внеклассное мероприятие – это событие, занятие, организуемое преподавателем с целью непосредственного воспитательного воздействия, оно нацелено на обогащение учащихся новыми фактами, понятиями, отражающими различные аспекты жизни человека и общества [2]. Внеклассные мероприятия

раскрывают связь теоретических знаний с жизнью, формируют профессиональные интересы учащихся.

Целью исследования стала разработка содержания работы кружка по экологии с учащимися 8–9 классов г. Печоры и формирование специальных практических умений и навыков биоиндикационных исследований состояния окружающей среды. В рамках данной статьи рассмотрена работа по разделу «Воздух города и здоровье».

Раздел включает 5 тем и рассчитан на 7 ч занятий (практически 3, 4 и 5 темы требуют больше запланированного времени).

Тема 1. Введение в раздел (1 час).

Тема 2. Источники загрязнения атмосферы воздуха (2 часа).

Тема 3. Определение и гербаризация лишайников (1 час).

Тема 4. Методики оценки качества атмосферного воздуха (2 часа).

Тема 5. Определение состояния дыхательной системы учащихся.

На вводном занятии учащиеся отвечают на вопросы анкеты, касающиеся понимания основных терминов, проблем в сфере экологического мониторинга атмосферного воздуха: каков газовый состав атмосферы, какие вещества загрязняют атмосферу, какие промышленные предприятия могут являться источниками вредных выбросов в нашем городе, какие организации в нашем городе следят за состоянием атмосферного воздуха, как измерить содержание загрязняющих веществ в воздухе (что такое предельно допустимые концентрации), как реагируют растения, животные и человек на вредные примеси в воздухе, какие растения можно использовать для определения содержания вредных веществ в воздухе, что такое биоиндикация. Для определения интереса школьников к данной теме в анкету были включены следующие вопросы: обращают ли учащиеся внимание на качество воздуха в городе, могут ли определить самостоятельно состояние атмосферного воздуха, на какие признаки воздуха обращают внимание, часто ли болеют простудными заболеваниями. Результаты анкетирования показали, что учащиеся хорошо знают состав воздуха, но затрудняются в названии загрязняющих веществ, промышленных производств, не знакомы с организациями, ведущими мониторинговые исследования в городе, и затрудняются в определении реакций живых организмов на вредные воздействия. С термином биоиндикация знакомы 65% учащихся, но точной формулировки термина не дал ни один из опрошенных. Школьники обращают внимание на прогноз погоды (100%), но основным важным показателем считают температуру, а такие показатели, как атмосферное давление, сила и направление ветра, школьников не интересуют, хотя данные погодные показатели влияют на степень загрязнённости воздуха в городах. Среди основных признаков загрязнённости атмосферы называют «плохую видимость» (40% опрошенных), «неприятный запах» (95% опрошенных), плохое самочувствие как признак загрязнённости атмосферы назвали 10% респондентов.

Следующее занятие (тема № 2) проходило в формате круглого стола. Учащиеся зачитывали индивидуальные доклады (самостоятельная работа) на

тому «Источники загрязнения атмосферного воздуха в нашем городе» и в группах (на занятии кружка) знакомились с текстом документа «Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Коми». В индивидуальных докладах было необходимо осветить следующие вопросы: название предприятия, адрес и местоположение (на карте) основного производства, форма собственности, наличие сайта в системе интернет и его содержание, структура и продукция предприятия, технология производства (интернет материалы), состав выбросов (интернет материалы предприятий-аналогов), новости о предприятии в материалах средств массовой информации. На данном занятии учащиеся знакомились со специальными терминами: антропогенная нагрузка, предельно допустимые концентрации, наилучшие технологии. Учащиеся, чьи родители (знакомые) работают на предприятиях города, брали краткие интервью о характере работы, о необходимых профессиональных навыках и учебных заведениях, где их можно получить. Запланированная экскурсия в Печорский районный отдел по охране окружающей среды, к сожалению, не состоялась, но был рассмотрен сайт отдела, его структура и основные виды деятельности. В ходе занятия у учащихся формировались навыки самостоятельной работы и работы в команде, развивались навыки связной монологической и диалогической речи, приёмы анализа и обобщения учебного материала.

На занятии по определению видов лишайников работали с гербарными экземплярами лишайников, популярным веб-сайтом «Плантариум» (атлас видов и определитель растений и лишайников), определителем, монографиями [3–5].

Практическое занятие по теме «Методики оценки качества атмосферного воздуха» включало теоретическую и практическую части. В кабинете учащиеся знакомились с содержанием вариантов методик проведения лишеноиндикации: с использованием индекса полеотолерантности, индекса относительного загрязнения атмосферы ОЧА [6], методом индикационной шкалы учитывающей проективное покрытие и видовое разнообразие лишайников [7]. Формирование и закрепление навыков проходило в учебном помещении с использованием дидактического материала. На каждую пару учеников раздавались бланки описания для каждого метода и 10 иллюстрированных карточек с изображением ствола дерева, покрытого различными лишайниками. В условиях улицы выбирались отдельные деревья и закреплялись навыки учета лишайников под контролем педагога. Выбор участков для самостоятельного наблюдения осуществлялся по желанию учащихся, в оценке качества воздуха использовался метод индикационной шкалы [7]. Состояние дыхательной системы учащихся исследовали с использованием спирометрии [8].

Специальные компетенции, формируемые при проведении цикла занятий «Воздух города и здоровье» можно разделить на следующие группы.

1. Специальные практические компетенции, связанные с отработкой методик лишеноиндикации.

2. Специальные компетенции по определению видовой принадлежности лишайников, работа с определителями.

3. Специальные компетенции по определению состояния дыхательной системы учащихся.

По завершению курса занятий один из учащихся 9 классов проявил интерес к данной теме и провел более подробное исследование состояния атмосферного воздуха города. Данная работа была подготовлена к XXV Республиканской школьной конференции научно-исследовательских работ по экологии в г. Сыктывкаре (2024).

Система кружковой работы экологической направленности является эффективным методом улучшения познавательной активности и формирования специальных компетенций, а также позволяет развить интерес к исследовательской деятельности и проблемам экологии региона и страны в целом.

Библиографический список

1. ФГОС Среднее общее образование [Электронный ресурс]. – URL: <https://fgos.ru/fgos/fgos-soo/> (дата обращения: 18.03.2024).

2. Сергунина Т. А. Событийные формы организации внеклассного воспитательного мероприятия // Наука и образование сегодня. 2017. № 10. С. 89–92.

3. Водоросли, лишайники и мохообразные СССР / Л. В. Гарибова, Ю. К. Дундин, Т. Ф. Коптяева, В. Р. Филин. М. : Мысль, 1978. 365 с.

4. Копысов В. А. Флора Вятского края. Ч. 3. Лишайники. Киров : Кировская областная типография, 2009. 127 с.

5. Биологическое разнообразие республики Коми / под ред. В. И. Пономарева, А. Г. Татарина. Сыктывкар, 2012. 264 с.

6. Школьный экологический мониторинг : учебно-методическое пособие / под ред. Т. Я. Ашихминой. М. : АГАР, 2000. 385 с.

7. Полевая практика по экологии : учеб.-методич. пособие для студентов экологического фак-та / Е. Г. Климентова, С. В. Ермолаева, Е. В. Рассадина и др. Ульяновск, 2012. 82 с.

8. Пивоваров Ю. П., Королик В. В. Руководство к лабораторным занятиям по гигиене и основам экологии человека : учеб. пособие. М. : Академия, 2010. 510 с.

Научное издание

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

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

Книга 2

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. 21,85. Тираж 30 экз. Заказ 31.

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