



ИБ ФИЦ Коми
НЦ УрО РАН

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

Книга 2

Киров, 2025

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

Печатается по рекомендации Научного совета ВятГУ

Ответственный редактор:

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

Редакционная коллегия:

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

Э 400 Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы II Международной научно-практической конференции. Книга 2. (г. Киров, 23–24 апреля 2025 г.). – Киров : Вятский государственный университет, 2025. – 388 с.

ISBN 978-5-98228-289-7 (Книга 2)
ISBN 978-5-98228-290-3

В книгу 2 сборника материалов II Международной научно-практической конференции «Экология родного края: проблемы и пути их решения» вошли статьи по результатам и методам изучения биологии и экологии растений, животных и микроорганизмов в изменяющихся условиях окружающей среды. Значительное место в сборнике занимают материалы по результатам и методам экологического мониторинга.

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

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

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

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

ISBN 978-5-98228-289-7 (Книга 2)
ISBN 978-5-98228-290-3

© Вятский государственный университет
(ВятГУ), 2025

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

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

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

HOME COUNTRY ECOLOGY: PROBLEMS AND SOLUTIONS

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

Chapter 2

Kirov, 2025

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

Printed on the recommendation of the Scientific Council of VyatSU

Responsible editor:

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

Editorial Board:

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

H 76 Home Country Ecology: Problems and Solutions : Proceedings of the II International Scientific & Practical Conference. Chapter 2. (Kirov, April 23–24, 2025). – Kirov : Vyatka State University, 2025. – 388 p.

ISBN 978-5-98228-289-7 (Chapter 2)

ISBN 978-5-98228-290-3

Chapter 2 of the Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference “Home Country Ecology: problems and solutions” includes papers on the results and methods of studying the biology and ecology of plants, animals and microorganisms in a changing environment. A significant place is occupied by materials on the results and methods of environmental monitoring.

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

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

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

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

ISBN 978-5-98228-289-7 (Chapter 2)
ISBN 978-5-98228-290-3

© Vyatka State University (VyatSU), 2025

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 8 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<i>Liu J., Qi J., Meng F., Lu Z., Wu Y., Yan Z.</i> Monitoring of temporal and spatial changes of land use in the central region of Liaoning Province.....	11
<i>Косаренина М. М.</i> Перспективы использования углеродных точек в экологическом мониторинге окружающей среды.....	16
<i>Клековкина Е. А.</i> Перспективы спутникового обследования бывших промышленных территорий перед их дальнейшим использованием	19
<i>Мосеев Д. С., Брагин А. В., Смирнова М. А., Футоран П. А., Махнович Н. М.</i> Маршрутные биологические исследования береговой зоны Белого моря в национальном парке «Онежское Поморье».....	22
<i>Шихова Т. Г.</i> Изменение дат начала и длительности фенологических сезонов в современных климатических условиях.....	27
<i>Скляр Д. Н., Сладкова Ю. Н., Волчкова О. В., Плеханов В. П., Крийт В. Е.</i> Влияние зеленых насаждений на уровни транспортного шума на территории жилой застройки	31
<i>Агасой Э. А., Агасой В. В.</i> Гидробионты озера Мальское (Псковская область): видовой состав, структура сообщества и оценка степени загрязнения водоема методами биоиндикации	35
<i>Фролова С. В.</i> Решение проблемы контроля загрязнения природной воды рек Северо-Западного региона лигнинными веществами	41
<i>Никитин О. В., Степанова Н. Ю., Кузьмин Р. С., Латыпова В. З.</i> Площадь мелководий Куйбышевского водохранилища при различных эксплуатационных уровнях	44
<i>Сафиуллин Д. Ф., Сафарова В. И., Фатьянова Е. В., Хатмуллина Р. М., Шайдулина Г. Ф.</i> Экологическое состояние реки Худолаз: динамика загрязнения железом и сульфатами	49
<i>Мельникова А. В., Гвоздарева М. А.</i> Качество вод Нижнекамского водохранилища	54
<i>Ланько А. Н., Ланько А. В.</i> Особенности химического состава подземных вод д. Карлук Иркутской области	59
<i>Морозова О. В., Любарский Д. С.</i> Оценка качества воды озер Большое Голубое и Малое Голубое в сезонной динамике	63
<i>Седова Д. А., Егорова Е. А., Хмелевцова Л. Е., Березинская И. С., Сазыкина М. А.</i> Выявление ванкомицин-резистентных энтерококков в поверхностных водоемах и сточных водах Ростовской области.....	67
<i>Перчиков Р. Н., Арлянов В. А.</i> Медиаторный биосенсор на основе биопленки микроорганизмов для экспресс-определения индекса биохимического потребления кислорода в поверхностных водах.....	70
<i>Ноздрина Ю. В., Дюкова А. С.</i> Оценка состояния озера Каменик по показателям водной и прибрежно-водной растительности	74

Абрамова К. И. К изучению связи фитопланктона с содержанием фенолов и растворенного кислорода в водоемах	77
Яшнева Е. А., Сиротина М. В. Сообщество зоопланктона озера Каменик на территории Костромской низины в летний период 2023–2024 гг.	81
Жилина Д. А., Зыкина А. А., Земцова Е. А. Исследование донных отложений участка реки Чахловица	84
Sazanov A. V., Sazanova M. L., Tugarinov L. V. NPK content in sapropel samples of different locations.....	88
Душевина Е. С., Селезнев А. А., Шевченко А. В., Малиновский Г. П., Иванчукова Н. В. Типы техногенных частиц и их количество в современных поверхностных отложениях в малых и средних городах Свердловской области.....	92
Сафонов А. И., Неспирный В. Н., Догадкин Д. Н. Фитогеохимический профиль терриконов Донбасса: первичный скрининг и визуализация.....	96
Кононова О. Е., Олькова А. С., Черезова А. Т. Сравнение влияния содержания в почве валовых и подвижных форм металлов на асимметрию листьев березы <i>Betula pendula</i> Roth	100
Максимова Е. Н., Лопатовская О. Г. Тяжелые металлы в почвах некоторых городов Приангарья	102
Алексеев А. С., Трусова В. В., Качор О. Л., Икрамов З. Л. Мониторинг состояния промплощадки бывшего завода Востсибэлемент, г. Свирск	106
Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М., Утомбаева А. А., Игнатьев Ю. А. Влияние длительности выветривания нефтезагрязненной серой лесной почвы на эффективность методов биологической рекультивации	111
Хето М. Х. Влияние органических добавок на эффективность мелиорантов для щелочных засоленных почв.....	115
Акишина М. М., Богатырев Л. Г. О некоторых итогах исследования географического распространения лесных подстилок в различных гидротермических условиях	120
Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф. Мониторинг развития луговых ассоциаций поймы р. Беседь Ветковского района Гомельской области	124
Калинина А. В. Структура ценопопуляций <i>Ficaria verna</i> Huds. в условиях урбаносреды Донбасса	130
Хето М. Х., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я. Определение меркаптанов и и общепромышленных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Кирова	134
Рутман В. В., Хето М. Х. Изучение химического состава снегового покрова для оценки состояния атмосферы	140
Иванчукова Н. В., Селезнев А. А., Шевченко А. С., Глухов В. С. Экологический мониторинг городов Свердловской области в холодное время года (примеры: Алапаевск, Серов, Качканар)	144

СЕКЦИЯ 9

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

Лантева Е. М., Виноградова Ю. А., Ковалева В. А., Перминова Е. М. Экологические аспекты формирования и функционирования микробных сообществ в почвах Арктической зоны Европейского Северо-Востока	149
Кувичкина Т. Н., Ячкула А. А., Вайнштейн М. Б., Решетилов А. Н. Хемолитотрофный ацидофильный штамм <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> ВКМ В-3609 как основа для определения сульфата железа	155
Широких И. Г., Боков Н. А. Прогнозирование экологических функций почвенного микробиома по данным высокопроизводительного секвенирования библиотек генов 16S рРНК.....	157
Боков Н. А., Широких И. Г. Сравнительный анализ роста и целлюлазной активности стрептомицетов на соломе и ржанных отрубях.....	161
Мокрушина С. Э., Широких И. Г. Жизнеспособность стрептомицетов в тканях и влияние на морфометрические показатели картофеля <i>in vitro</i>	165
Махлачева А. С., Широких А. А., Широких И. Г. Стрептомицеты-антагонисты из аридных почв государственного природного заповедника «Дагестанский».....	169
Бакулина А. В., Бессолицына Е. А., Товстик Е. В. Поиск генов, связанных с антагонистической активностью, у стрептомицетов, выделенных из почвы и прикорневой зоны борщевика Сосновского	173
Бородулина М. А., Широких И. Г. Антибиотикорезистентность бактерий рода <i>Streptomyces</i> из почв Кировской области.....	177
Домрачева Л. И., Фокина А. И., Киреева А. Р., Козачок С. С., Коротких А. И., Ковина А. Л., Трефилова Л. В. Специфика эпифитных микроорганизмов и экзометаболитов трех видов растений семейства кипарисовые	182
Кузнецова Т. В., Утомбаева А. А., Петров А. М., Зайнулгабидинов Э. Р., Вершинин А. А., Каримуллин Л. К., Князев И. В. Изменение микробного пула нефтезагрязненной серой лесной почвы в ходе технической и биологической рекультивации	186
Гусарова К. Е., Коротких А. И., Домрачева Л. И. Ризосферная микробиота городских орхидей	191
Стариков П. А., Огородникова С. Ю., Домрачева Л. И., Трухина Е. Л. Влияние предпосевной инокуляции семян на пигментный фонд яровой пшеницы	194
Кондакова Л. В., Сырчина Н. В. Трансформация цианобактериальных сообществ кислых агродерново-подзолистых почв под влиянием фосфоритов Верхнекамских бедных	198
Кондакова Л. В., Селезнева И. А., Шубина А. А. Почвенные фототрофные микроорганизмы ризосферы древесных растений	201
Надолинская А. А., Барамзин М. Н. Определение состава комплекса фитопатогенных грибов, встречающихся совместно с <i>Verticillium dahliae</i> , на поверхности клубней картофеля	204

Dr Seema Sharma The role of microalgae and cyanobacteria in bioremediation: a sustainable approach to water pollution control.....	207
Liu L., Zhao Q., Wang Y., Wang Z. Comprehensive mining and activity research of antimicrobial peptides in the genome of <i>Bacillus velezensis</i>	211
Wang Z., Fu Y., Tan W. Effects of dicyandiamide on partial metabolism of non-target microorganisms.....	218

СЕКЦИЯ 10

БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Далькэ И. В. Биология инвазии гигантского борщевика на северной границе вторичного ареала	222
Гусев С. М. Закономерности радиального роста лиственницы сибирской на территории Байкальского заповедника в условиях изменяющегося климата.....	226
Шалагинова Ю. А., Шабалкина С. В. О цветорасположении <i>Sanguisorba officinalis</i> L. (Rosaceae Juss.)	229
Домнина Е. А., Рябова Е. В., Целищева Л. Г. Оценка состояния популяции <i>Cortusa matthioli</i> L. в Кировской области	233
Глазырина М. А., Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Кордюк А. А. Динамика цен опопуляционных показателей <i>Epiractis palustris</i> (L.) Crantz, произрастающего в техногенном местообитании	236
Коробицын Д. К., Пересторонина О. Н. Кустарники в коллекции ботанического сада Вятского государственного университета.....	241
Маракулина Е. А., Пересторонина О. Н. Семейство Rosaceae в коллекции ботанического сада Вятского государственного университета.....	244
Манина А. Е., Шабалкина С. В. Разнообразие семейства Fabaceae Lindl. Lindl. в гербарной коллекции Вятского государственного университета	246
Клочко М. А., Клочко М. А., Волкова Е. М. Флористические находки в Ефремовском районе Тульской области	251
Архипова Н. С., Гимадеева Т. А. Изучение флористического разнообразия в районе большого телескопа альт-азимутального Карачаево-Черкесии	253
Канев В. А. Флора сосудистых растений бассейна р. Б. Паток (Национальный парк «Югыд Ва», Приполярный Урал Республики Коми).....	257
Любарский Д. С., Бердник С. В. Флора озера Архиерейское (Лаишевский район, Республика Татарстан)	261
Осина Д. А., Шабалкина С. В. Фитоценоотические особенности и состав пойменной дубравы (Нолинский район, Кировская область)	266
Хафизов Р. Р., Тишин Д. В., Давлетишин А. Р. К оценке продуктивности сфагнового болота Волжско-Камского биосферного заповедника	270

Галеев К. В., Соловьёва Е. С. Поиск оптимальных условий получения экстрактов из плодов шиповника.....	272
Шутова Д. В., Соловьёва Е. С. Извлечение β-каротина из различного растительного сырья.....	275
Осташева Т. В., Петрова А. Р., Адамович Т. А. Содержание некоторых биологически активных веществ в хвое и коре сосны обыкновенной.....	277
Былёв В. С., Адамович Т. А., Зайцев М. А., Береснева Е. В. Содержание биологически активных веществ в плодах и цветках бузины черной.....	279
Адамович Т. А., Ефремова А. С. Фармакологические свойства и химический состав <i>Philadelphus</i> sp.	281
Ворожцова Д. А., Лагунова Д. К., Адамович Т. А. Содержание биологически активных веществ в плодах лекарственных растений семейства вересковых различных способов консервации	283
Лагунова Д. К., Ворожцова Д. А., Адамович Т. А. Сравнительное изучение биологически активных веществ плодов представителей семейства Rosaceae различных способов консервации	285
Адамович Т. А., Белослудцева П. К. Сравнение фитохимического состава цветков растений семейства розоцветные.....	286
Краев К. Ю., Соловьёва Е. С. Исследование содержания биологически активных веществ в корнеплодах свеклы обыкновенной	290
Пономарева Д. А., Сазанова М. Л. Валидация методик определения антиоксидантной активности в экстрактах лекарственных растений Кировской области	293
Юферева А. К., Сазанова М. Л. Валидация методик определения биологически активных веществ в гидролате пихты	297
Пакичев А. С., Адамович Т. А. Изучение содержания тяжелых металлов и некоторых антиоксидантов в лекарственных растениях.....	301
Ипатов А. В. Токсичность розувастатина для ряски малой	304
Abdukholikov F., Eshtemirov A., Norkulov M. <i>Capsella bursa-pastoris</i> L. ecological characteristics and cultivation technology in Syrdarya region	308
Товстик Е. В., Романова А. С., Шуплецова О. Н. Накопление свободных и связанных фенольных соединений в проростках овса	313
Шуплецова О. Н., Товстик Е. В., Окулова В. В. Накопление фенольных соединений в каллусной ткани ячменя на селективных средах	316
Сергушкина М. И., Шуплецова О. Н., Полежаева Т. В., Зайцева О. О., Соломина О. Н., Худяков А. Н. Криосохранение каллусных клеток зерновых культур при низких температурах в условиях электроморозильника	320
Злобина Ю. А., Кононова О. Е. Получение оздоровленного посадочного посадочного материала картофеля <i>in vitro</i> методом культуры апикальной меристемы.....	324

Чуракова С. А. Активность фотосинтетического аппарата яровой пшеницы	326
Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Аккумуляция цинка в зеленой массе кукурузы	330
Щеклеина Л. М. Устойчивость к снежной плесени и урожайность новых сортов озимой ржи селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока	334

СЕКЦИЯ 11

БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Агасой В. В., Прокофьев В. В. Особенности фауны слепней (Diptera, Tabanidae) подзоны южной тайги Псковской и Тюменской областей	340
Гордиенко С. Г., Гордиенко Т. А. К инвентаризации чешуекрылых (Lepidoptera) заказника «Голубые озера» Республики Татарстан	343
Дандаа О. В., Чкалов С. О. Биотопическое распределение синантропных врановых птиц города Кызыл	347
Лановая О. Д., Полиниченко А. Е., Ажогина Т. Н., Сазыкин И. С. Наличие генотоксикантов и веществ, индуцирующих окислительный стресс, в тканях черноморско-азовской проходной сельди	350
Maksimovich K. Y., Luzyanin S. L., Teofilova T. M., Langraf V., Szyszko-Podgórska K., Ukhova N. L., Avtaeva T. A., Belosludcev A. D., Sukhodolskaya R. A. Intra-population body size variation in ground beetle <i>Poecilus</i> <i>Poecilus cupreus</i> L.	354
Мармылева Д. А., Шевчук К. А., Степанова Н. Ю. Содержание микропластика в мышцах и жабрах леща Куйбышевского водохранилища	357
Масленникова О. В. Определение возраста зайца-беляка (<i>Lepus timidus</i> L., 1758) по массе хрусталика	361
Новикова З. Р., Агасой В. В. Фауна кровососущих комаров (Diptera: Culicidae) города Пскова и его окрестностей	364
Русских А. И., Жданова О. Б., Успенский А. В., Рассохин Д. В. Изучение распределения личинок <i>Trichinella pseudospiralis</i> в мышечной ткани лабораторных животных и свиней	370
Рябова А. В., Рябов В. М. О влиянии средообразующей деятельности бобров на древостой	372
Сергушкина М. И., Соломина О. Н., Худяков А. Н., Полежаева Т. В., Зайцева О. О., Широких А. А., Широких И. Г., Попыванов Д. В. Повышение устойчивости клеток животного происхождения к воздействию отрицательных температур при использовании криопротекторов полисахаридной природы	375
Сысолятина М. А., Олькова А. С., Лаптев С. А. Влияние Cu(II), La(III) и их комбинации на <i>Daphnia magna</i> Straus, 1820 в хронических экспериментах	380
Томсон А. Э., Соколова Т. В., Царюк Т. Я., Сосновская Н. Е., Царенок А. А. Сорбционная кормовая добавка на основе торфа	383

СЕКЦИЯ 8 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

MONITORING OF TEMPORAL AND SPATIAL CHANGES OF LAND USE IN THE CENTRAL REGION OF LIAONING PROVINCE

J. Liu¹, J. Qi¹, F. Meng¹, Z. Lu², Y. Wu¹, Z. Yan¹

¹ School of Resources and Civil Engineering, Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China, liujialiang99@lnist.edu.cn,

² Shandong Luxin Metallurgical Technology Co., Ltd. Jining City, Shandong Province, P. R. China, 2975277247@qq.com

The land use in the central region of Liaoning Province in 2005, 2010, 2015 and 2020 was monitored. The spatial and temporal changes of land use were analyzed from overall change characteristics, the change rule of different land use types and dynamic degree. It provides decision-making basis for ecological protection and restoration in central Liaoning, and ensures the stability and service function of the ecosystem.

Key words: Central region of Liaoning Province, Land use, Transfer matrix, Ecological monitoring of the environment.

Land is the main place and carrier of human production activities, and land use is a more direct manifestation of the interaction between human activities and natural ecosystems [1]. In recent years, the rapid advancement of urbanization has had a significant impact on the land use pattern in the region. This blind over-exploitation and irrational use of land resources has led to a rapid increase in environmental damage. Therefore, the research on the relationship between land use, land use change and ecological environment has become one of the important topics of common concern in the international community [2–3].

In the current field of land resources research, the use of remote sensing images to monitor land use change has become a mainstream and key means. Satellite remote sensing technology has greatly improved the level of land resource management by virtue of its strong regional coverage and high monitoring accuracy. It can regularly monitor the change of land use [4]. Through the comparative analysis of remote sensing images in different periods, it can clearly and intuitively show the distribution and utilization of land resources, and timely detect the change of land use types, such as the conversion of cultivated land to construction land and the reduction of forest land [5, 6]. It provides basic data for land use change survey,

and also provides scientific basis for the rational allocation and planning of land resources [7].

In the central region of Liaoning Province, the problems of unreasonable exploitation of resources, industrial overcapacity and unbalanced utilization of land resources are particularly obvious, which seriously restrict the economic development of the region. In order to solve the problem of land use in the central region of Liaoning Province, it is particularly important to monitor the spatial and temporal changes of land use.

Firstly, the acquired Landsat 4–5 TM and Landsat 8 OLI_TIRS data of the four periods of 2005, 2010, 2015 and 2020 in the central region of Liaoning Province were preprocessed. The purpose is to correct and enhance the original image to reduce noise, eliminate system errors and improve image quality. Then, the maximum likelihood method is selected to supervise the classification of images. Finally, the classification post-processing and accuracy evaluation of the image are carried out. The land use map of the central region of Liaoning Province in 2005, 2010, 2015 and 2020 is shown in Figure.

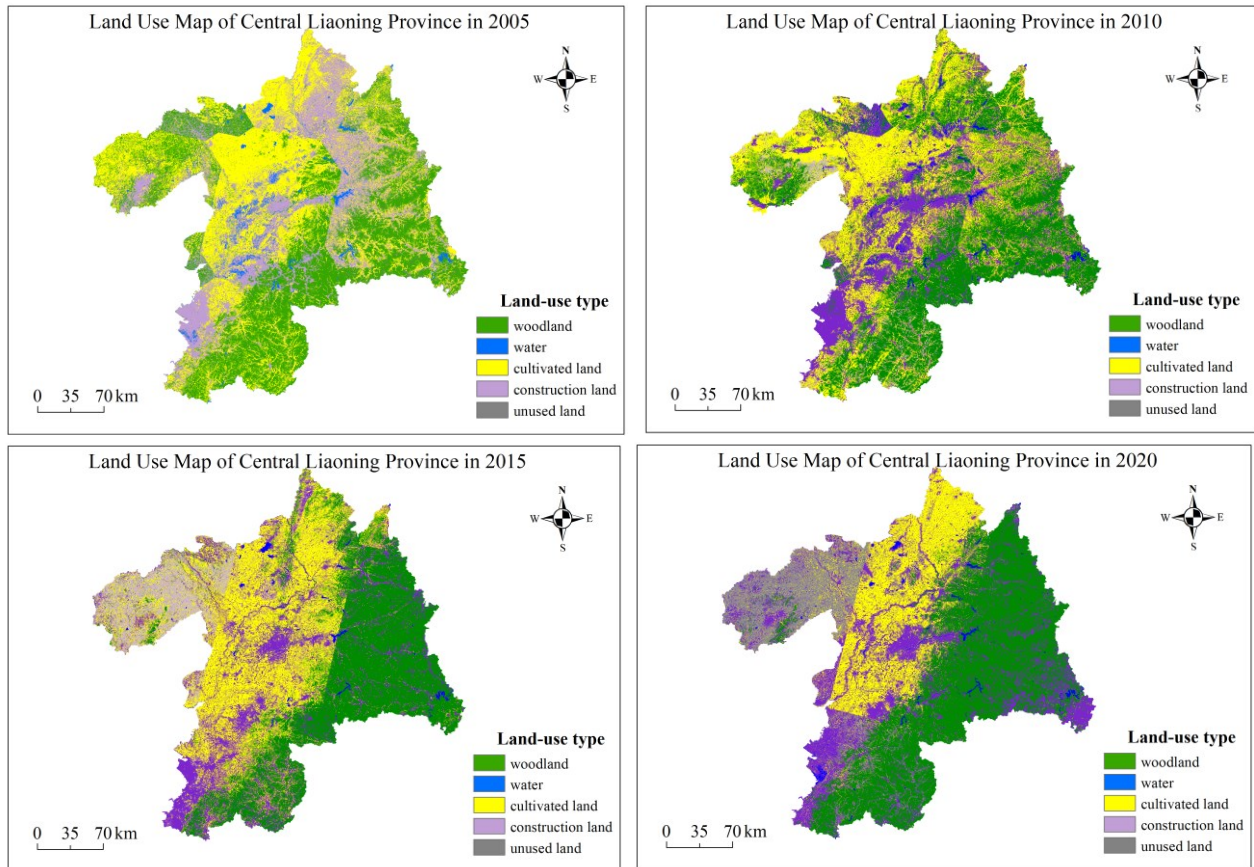


Fig. Thematic maps of land use in the central region of Liaoning Province in 2005, 2010, 2015 and 2020

The classification map shows that the forest land is mainly distributed in the eastern part of the central region of Liaoning Province, and the forest land occupies the largest area in the classification, followed by the cultivated land. The cultivated land is distributed in the Liaohe Plain in the central region of Liaoning Province,

and the unused land is mainly distributed in Fuxin area. The construction land is mainly distributed in the urban areas of various cities in the central region of Liaoning Province.

Based on the results of land use classification in the four periods, the area of cultivated land, construction land, forest land, water system and unused land in the central region of Liaoning Province were calculated respectively. Table 1 shows the area and proportion of land use types from 2005 to 2020.

From Table 1, it can be seen that the central part of Liaoning Province is dominated by forest land. The area of woodland types was 25495.8 km² in 2005, 27488.8 km² in 2010, 25251.1 km² in 2015 and 29757.3 km² in 2020.

Table 1

**The area of each type of land use and the proportion of land occupied
from 2005 to 2020**

Year	Land type	Cultivated land	Woodland	Building	Water	Unutilized land
2005	area (km ²)	26933.5	25495.8	19131	1874.87	1704.28
	proportion (%)	35.84	33.93	25.46	2.50	2.27
2010	area (km ²)	26684.3	27488.8	18001.4	1179.36	1781.72
	proportion (%)	35.51	36.59	23.96	1.57	2.37
2015	area (km ²)	25485.1	25251.1	17102.3	599.772	6701
	proportion (%)	33.92	33.61	22.76	0.80	8.92
2020	area (km ²)	16081.1	29757.3	19756.1	805.453	8736.22
	proportion (%)	21.40	39.60	26.29	1.07	11.63

The woodland covers 33.93%, 36.59%, 33.61% and 39.60% of the total area of the study area, respectively. From 2005 to 2010, the area of woodland increased by 1993 km². From 2010 to 2015, the area of woodland decreased by 2237.7 km². From 2015 to 2020, the area of woodland increased by 4506.2 km². The change of construction land area also shows a stage. From 2005 to 2010, it decreased from 19131 km² to 18001.4 km², and then further decreased to 17102.3 km² in 2015, but it quickly rose to 19756.1 km² in 2020, indicating that there may be an increase in land use efficiency or a tightening of control over construction land in the early stage, and a large-scale expansion will occur in the later stage with the needs of urban development. The area of cultivated land continued to decrease, from 26933.5 km² in 2005 to 16081.1 km² in 2020. This is most likely due to the acceleration of urbanization, a large number of cultivated land is converted into construction land, and may also be affected by factors such as the adjustment of agricultural industrial structure. The area of forest land did not increase or decrease monotonously during the 15 years. It shows that the protection and development policies of forest resources in the region have fluctuated at different stages, and the afforestation efforts or ecological restoration projects may be increased in the later stage.

As shown in Table 2, the main land use types in the central region of Liaoning Province have shown different trends in the past period of time. The area of cultivated land is in a state, and the change of forest land area is more complicated. During the period of 2005–2010, the area of forest land and unused land showed an

upward trend, and the growth of forest land was particularly prominent, reaching 1993 km², while the area of construction land, cultivated land and water system shrank. From 2010 to 2015, the area of forest land, cultivated land, water system and construction land of all kinds of main land use types showed a downward trend, among which the area of forest land decreased the most, up to 2237.7 km². During the period from 2015 to 2020, the change characteristics of land use types changed again, and the decrease of cultivated land area was the most significant, while forest land, construction land, water system and unused land all showed an increasing trend, and the growth area of forest land was as high as 4506.2 km².

Table 2

The change amount and change rate of land use type from 2005 to 2020

Year	Land type	Cultivated land	Woodland	Building	Water	Unutilized land
2005–2010	variable quanti, km ²	-249.2	1993	-1129.6	-695.51	77.44
	rate of change, %	-0.93	7.82	-5.90	-37.10	4.54
2010–2015	variable quanti, km ²	-1199.2	-2237.7	-899.1	-579.588	4919.49
	rate of change, %	-4.49	-8.14	-4.99	-49.14	276.11
2015–2020	variable quanti, km ²	-9404	4506.2	2653.8	205.681	2035.01
	rate of change, %	-36.90	17.85	15.52	34.29	30.37

The quantitative change of each land use type in a specific period of time in the study area can be expressed by the dynamic degree of single land use type. The single land use dynamic degree in different periods is shown in Table 3.

Table 3

Dynamic degree of land use types in different periods (%)

Year	Cultivated land	Woodland	Building	Water	Unutilized land
2005–2010	-0.19	1.56	-1.18	-7.42	0.91
2010–2015	-0.90	-1.63	-1.00	-9.83	55.22
2010–2015	-7.38	3.57	3.10	6.86	6.07

It can be observed from Table 3 that the dynamic degree of various land use types shows different trends. First of all, in terms of cultivated land, its dynamic degree continued to show a decreasing trend throughout the study period. This finding may be related to urbanization, industrial development and land conversion for other non-agricultural uses. Secondly, the dynamic change of forest land is more complex. It initially showed a growth trend, then turned to decrease, and finally rebounded again. This cross state may reflect the comprehensive impact of forestry policy, market demand and environmental protection measures on forest land use. For construction land and water systems, they showed a decreasing trend between 2005 and 2015, which may be related to urban planning and environmental protection policies. However, between 2015 and 2020, the dynamics of both have turned positive, showing an increasing trend, which may reflect the acceleration of urbanization and the corresponding increase in infrastructure construction

during this period. What is particularly noteworthy is the change of the dynamic degree of the water system. Among the three research periods, the water system dynamic degree from 2010 to 2015 was the highest, reaching 9.83%, higher than -7.42% from 2005 to 2010, and much higher than 6.86% from 2015 to 2020. This indicates that during the period from 2010 to 2015, the changes in the water system were the most frequent and dramatic, which may be closely related to various factors such as water resources management policies, climate change or human activities during this period.

In conclusion, from 2005 to 2020, the area of forest land, cultivated land, construction land and water system in the study area showed significant and complex dynamic changes. The area of forest land did not increase or decrease monotonously during the 15 years. It shows that the protection and development policies of forest resources in the region have fluctuated at different stages, and the afforestation efforts or ecological restoration projects may be increased in the later stage. These changes have a non-negligible impact on regional ecosystem stability, food security, water resources balance and socio-economic development. In the future, it is necessary to strengthen land resource planning and management to achieve regional sustainable development.

During the 15 years from 2005 to 2020, the area change characteristics of land use types in the study area were significant and showed periodic differences. The diversity and change range of the dynamic degree of land use types in the region from 2005 to 2020 profoundly reflect the comprehensive effect of human activities and natural factors on land resources during this period.

Acknowledgments: The research reported in this manuscript is funded by the Basic scientific research fund projects (Youth Project) of the Educational Department of Liaoning Province in 2023 (Grants No. JYTQN2023451), Liaoning Institute of Science and Technology doctoral research initiation fund project in 2023 (Grants No. 2307B27), 2025 Innovation and Entrepreneurship Training Program for College Students of Liaoning University of Science and Technology (Grants No. D202412121909192944) and the Basic scientific research fund projects (Youth Project) of the Educational Department of Liaoning Province in 2024 (Grants No. 2024JYTQN-21).

References

1. Multi-scenario simulation of land use/cover change and carbon storage assessment in Hainan coastal zone from perspective of free trade port construction / W. F. Gong, X. Y. Duan, Y. X. Sun, et al. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.135630 // J. Clean. Prod. 2023. Vol. 385. No. 1. Article No. 135630.
2. Cao C., Song W. Progress and prospect of ecological risks of land use change. DOI: 10.3389/fenvs.2022.1077515 // Front. Environ. Sci. 2022. Vol. 10. Article No. 1077515.
3. Changes in supply and demand mediate the effects of land-use change on freshwater ecosystem services flows / J. Lin, J. Huang, C. Prell, B. A. Bryan. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143012 // Sci. Total Environ. 2021. Vol. 763. No. 4. Article No. 143012.

4. Rawat J. S., Kumar M. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India // Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2015. Vol. 1. P. 77–84.

5. Arefin R., Meshram S. G., Santos C. A. G. Comparison of land use/land cover change of fused image and multispectral image of landsat mission: a case study of Rajshahi, Bangladesh. DOI: 10.1007/s12665-021-09807-z // Environ. Earth Sci. 2021. Vol. 80. Article No. 578.

6. Sam Navin M., Agilandeewari L. Comprehensive review on land use/land cover change classification in remote sensing. DOI: 10.1255/jsi.2020.a8 // J. Spectral Imaging. 2020. Vol. 7. Article No. 9.

7. Comparison of land use land cover classifiers using different satellite imagery and machine learning techniques / S. Basheer, X. Wang, A. A. Farooque, et al. DOI: 10.3390/rs14194978 // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. No. 19. Article No. 4978.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М. М. Косаренина

*Лаборатория ЭиМБ НИЦ «БиоХимТех» ТулГУ,
г. Тула, Россия, mari.kosarenina@mail.ru*

В работе продемонстрирована перспективность разработки электрохимических сенсоров на основе углеродных точек (УТ) для детекции экотоксикантов в сточных водах. Показано, что УТ обладают электрокаталитической активностью по отношению к реакции окисления гидроксиламина, нитрита натрия, фенола и *n*-нитрофенола.

Ключевые слова: углеродные точки, электрохимический сенсор, экологический мониторинг, экотоксиканты.

Одним из ключевых факторов негативного влияния человека на окружающую среду является ее химическое загрязнение. Существенным источником такого загрязнения становятся выбросы поллютантов в сточные воды. Аккумулируясь на иловых площадках возле очистных сооружений, эти отложения создают масштабные очаги загрязнения. Для контроля экологического состояния объектов, включая исследование проб воды на наличие неорганических и органических веществ, применяются разнообразные физико-химические методы анализа, такие как ВЖХ [1], масс-спектрометрия [2] и другие методы анализа. Однако эти методы часто требуют сложной пробоподготовки, использования дорогостоящего оборудования и токсических органических растворителей, что ограничивает их применение для оперативного мониторинга в полевых условиях. В связи с этим актуальной задачей остается разработка портативных, экономичных и высокочувствительных аналитических платформ, которыми могут стать электрохимические сенсоры на основе углеродных наноматериалов.

При создании высокочувствительных электрохимических сенсоров широко используются углеродные наноматериалы благодаря их выраженной

электрокаталитической активности и большой площади электрохимически активной поверхности [3]. Особое внимание исследователей привлекают нульмерные углеродные структуры, которые в литературе называются графеновыми квантовыми точками или углеродными точками (УТ) – в зависимости от морфологии и геометрических размеров. Такие материалы сочетают высокую электропроводность и электрокаталитическую активность с хорошей диспергируемостью в различных средах [4], что позволяет разрабатывать на их основе высокочувствительные и селективные сенсоры, пригодные для определения низких концентраций загрязняющих веществ [5]. Разработка таких систем открывает возможности для экспрессного мониторинга экотоксикантов в сточных водах с использованием нетоксичных материалов, что соответствует современным требованиям «зеленой» химии [6].

В контексте поиска новых материалов для экологического мониторинга ключевой задачей является выявление структурно-функциональных особенностей углеродных точек (УТ), определяющих их электрохимическую активность. Целью настоящей работы стала оценка перспективности использования УТ в качестве модифицирующего слоя для создания электрохимических сенсоров, способных детектировать экотоксиканты различной химической природы: фенолы, гидроксилламин и NaNO_2 в сточных водах.

Углеродные точки размерами 30–50 нм в виде 0,4% водной дисперсии были получены в ТГТУ из нефтяного игольчатого кокса по методике, аналогичной описанной в работе [7]. Суспензия готовилась следующим образом: к 1 мл исходной дисперсии УТ добавляли 0,39 мл 25% водного раствора аммиака, после чего общий объем смеси доводился до 10,0 мл с помощью деионизированной воды.

Поверхность стеклоуглеродного электрода подвергалась механической полировке с применением порошка оксида алюминия с размером частиц 0,05 мкм на полировочной ткани до достижения зеркального блеска. После этого электроды дважды промывали деионизированной водой. Суспензии УТ наносили на рабочую поверхность электрода ($D = 3$ мм) и высушивали при комнатной температуре в течение ночи.

Электрохимические измерения проводились с помощью электрохимической станции КС серии «CORRTEST» (Corrtest Instruments, г. Ухань, Китай) в режимах «циклическая вольтамперометрия», интегрированной с ПК. Прибор управлялся с помощью программы «CS Studio6». Измерения проводились в трехэлектродной ячейке: рабочим электродом служил модифицированный УТ стеклоуглеродный электрод, в качестве вспомогательного использовали графитовый электрод, а электрода сравнения – насыщенный хлоридсеребряный электрод. Температура измерения составляла 20 °С, объем электролитической ячейки 25,0 мл. В качестве фоновой электролитической использовали 0,1 М HCl ($\text{pH} = 1$) при скорости развертки 50 мВ/с в диапазоне потенциалов сканирования от -0,9 до 0,9 В (от -0,9 до 1,2 В для NaNO_2).

В рамках исследования проведена оценка чувствительности электрохимического сенсора на основе углеродных точек и не модифицированного

стеклоуглеродного электрода к гидроксиламину, нитриту натрия, фенолу и *n*-нитрофенолу – веществам, представляющим различные классы экотоксикантов (восстановители, окислители, ароматические и нитросоединения) методом циклической вольтамперометрии (рис.).

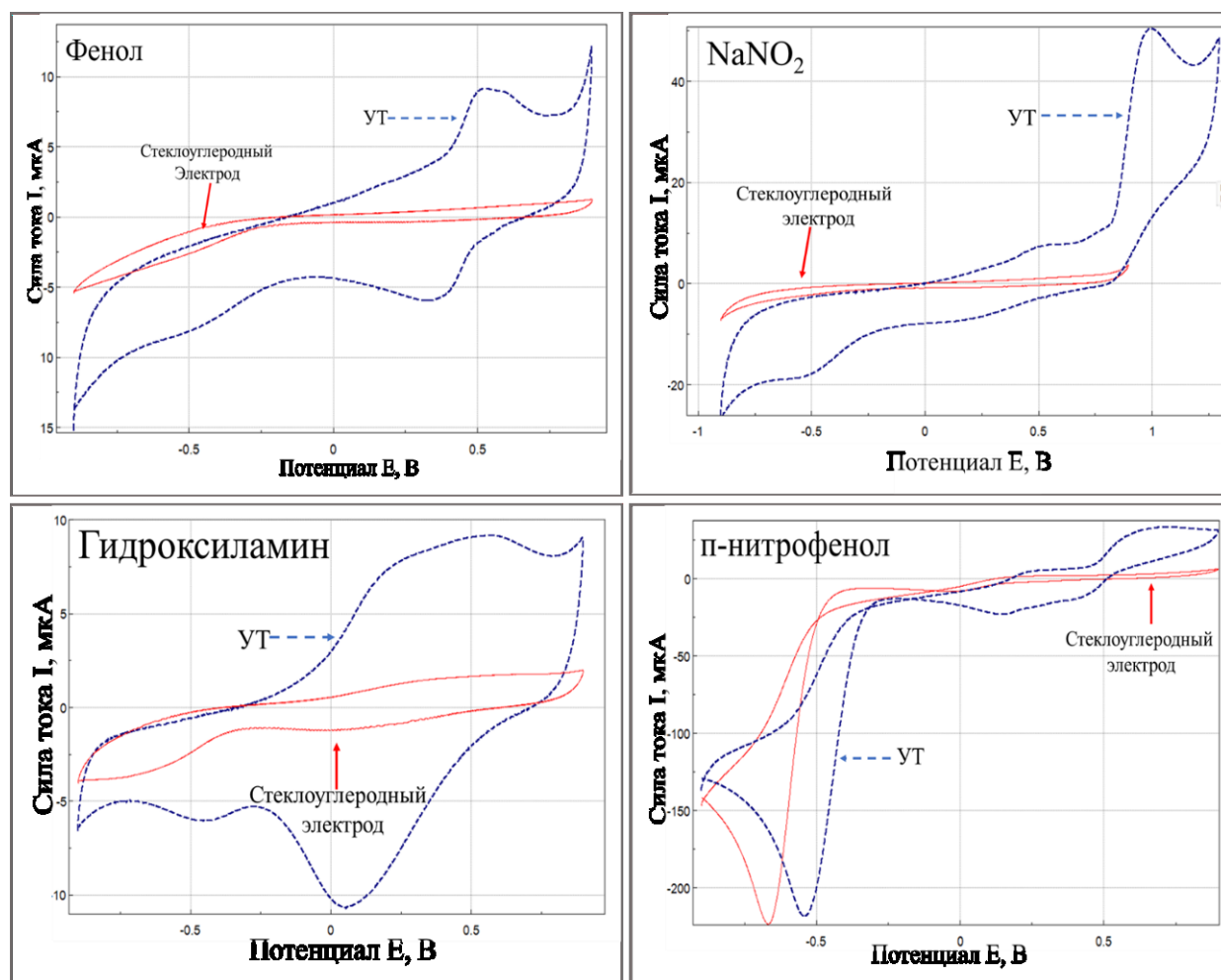


Рис. Циклическая вольтамперометрия для стеклоуглеродного электрода и электрода, модифицированного углеродными точками (УТ), в различных электроактивных растворах

Результаты вольтамперометрических измерений демонстрируют, что электрод, модифицированный УТ, проявляет выраженную электрокаталитическую активность ко всем исследуемым соединениям, в то время как стеклоуглеродный электрод без модификаций оказался нечувствительным ко всем исследуемым веществам за исключением *n*-нитрофенола. Данные результаты делают перспективным использование УТ для модификации поверхности стеклоуглеродного электрода и последующего использования в электрохимических сенсорах для детекции экотоксикантов в сточных водах. Селективность и чувствительность модифицированного электрода к широкому спектру аналитов может быть связана с наличием на поверхности УТ кислородсодержащих функциональных групп ($-\text{COOH}$, $-\text{OH}$), которые обеспечивают эф-

фективное межмолекулярное взаимодействие с целевыми молекулами и ионами и облегчают перенос электронов [8].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № FEWG-2024-0003 (Биокаталитические системы на основе клеток микроорганизмов, субклеточных структур и ферментов в сочетании с наноматериалами).

Библиографический список

1. Карасева О. А. Определение фенолов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии // Россия молодая : сб. материалов X Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием. Кемерово, 2018. С. 53206.1–53206.4.
2. Носова А. О., Успенская М. В. Микропластик в почве: воздействие на экосистемы, потенциальные источники и аналитические методы исследования (обзор). DOI: 10.25699/SSSB.2022.44.4.001 // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. №. 4. С. 19–37.
3. Zhang X., Yang P., Jiang S. P. Pd nanoparticles assembled on Ni- and N-doped carbon nanotubes towards superior electrochemical activity. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.10.096 // Int. J. Hydrogen Energy. 2021. Vol. 46. No. 2. P. 2065–2074.
4. Graphene quantum dots and carbon nanodots: modeling of zero-dimensional carbon nanomaterials / C. M. Carbonaro, L. Engelbrecht, C. Olla, et al. DOI: 10.1016/B978--0-323-99535-1.00014-7 // Zero-Dimensional Carbon Nanomaterials. Woodhead Publishing, 2024. P. 411–482.
5. Yoosefian M., Ebrahimpour Y. Edge-functionalized graphene quantum dot as a nano-biosensor for simultaneous detection of glucose, galactose and lactose. DOI: 10.1016/j.molliq.2024.126044 // J. Mol. Liq. 2024. Vol. 413. Article No. 126044.
6. Novel electrochemical sensor based on modified glassy carbon electrode with graphene quantum dots, chitosan and nickel molybdate nanocomposites for diazinon and optimal design by the Taguchi method / T. Ghiasi, S. Ahmadi, E. Ahmadi, et al. DOI: 10.1016/j.microc.2020.105628 // Microchem. J. 2021. Vol. 160. Article No. 105628.
7. Mass production of highly fluorescent full color carbon dots from the petroleum coke / J. Ma, L. Zhang, X. Chen, et al. DOI: 10.1016/j.cclet.2020.09.053 // Chin. Chem Lett. 2021. Vol. 32. No. 4. P. 1532–1536.
8. A precise flexible printed biosensor based on graphene ink decorated with N-doped graphene quantum dots / N. Gholamalizadeh, S. Mazinani, M. Abdouss, et al. DOI: 10.1016/j.molstruc.2024.137700 // J. Mol. Struct. 2024. Vol. 1304. Article No. 137700.

ПЕРСПЕКТИВЫ СПУТНИКОВОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ БЫВШИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПЕРЕД ИХ ДАЛЬНЕЙШИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

Е. А. Клековкина

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
г. Сыктывкар, Россия, jelena_klekovkina@mail.ru*

В статье обсуждается целесообразность оценки состояния и изменений окружающей среды в районах действия перепрофилированных промышленных комплексов до этапа запуска модернизированных производств на приме-

ре бывшего объекта по уничтожению химического оружия «Марадыковский» в Кировской области. Предлагаются средства спектрального анализа бывших и текущих природно-антропогенных изменений.

Ключевые слова: модернизация промышленности, спутниковый мониторинг, дистанционное зондирование, перепрофилирование.

Многие промышленные территории, бывшие заводы и фабрики, обретают в настоящее время вторую жизнь через модернизацию и переоснащение для дальнейшей производственной деятельности в смежных или абсолютно новых областях экономики. Одним из примеров такого перепрофилирования выступает бывший завод по уничтожению химического оружия (УХО) «Марадыковский» в Оричевском районе Кировской области. Направленный на переработку и утилизацию пришедшего в негодность военного химического арсенала и запущенный двадцать лет назад, сегодня он передан для перепрофилирования Федеральному экологическому оператору для создания экотехнопарка по переработке промышленных отходов [1].

На объекте «Марадыковский» хранились авиационные химические боеприпасы, снаряженные фосфорорганическими и мышьяксодержащими отравляющими веществами, такими как зарин, зоман, иприт, люизит и типа Vх, общей массой 6,9 тыс. тонн, что составляло 17,4% от бывших запасов российского химоружия. Объект был пущен в эксплуатацию в 2006 г., а в октябре 2015 г. здесь был уничтожен последний химический боеприпас.

Уникальная промышленная площадка объекта включает в себя производственные и вспомогательные корпуса, здания и сооружения, коммуникации, замкнутые системы оборотного водоснабжения и водоотведения, мощные системы безопасности и многоуровневую систему производственного экологического контроля и мониторинга. Данная инфраструктура планируется к модернизации и усовершенствованию под новую задачу – переработку промышленных отходов, в том числе особо опасных, во вторичную товарную продукцию. По факту будет создана сырьевая база для новой российской экономики – экономики замкнутого цикла. Главный принцип при проектировании и отборе технологических линий – приоритет утилизации: 2/3 от всего объема отходов будут утилизированы, и полученное сырье будет возвращено в дальнейший хозяйственный оборот [2].

Ожидается, что комплекс «Марадыковский» в мирной версии будет перерабатывать до 50 тыс. тонн отходов в год [1].

Тем не менее, перед запуском нового производства целесообразно оценить последствия воздействия на природный комплекс отработавшего объекта по уничтожению химического оружия, в том числе его возможного отсроченного влияния, во временной перспективе. Это необходимо ещё и для того, чтобы отличить первоначальное воздействие объекта во время его строительства и эксплуатации по химразоружению от дальнейших возможных негативных влияний нового производственного комплекса по переработке отхо-

дов и иметь полное понимание исходного состояния окружающей среды перед запуском данного комплекса.

Спутниковое обследование, в данном случае, представляется одним из наиболее доступных и информативных методов для оценки состояния природной среды в районе расположения объекта, тем более, что во время его промышленной работы были проведены многочисленные исследования динамики состояния природных компонентов и сред в условиях уничтожения химического оружия с помощью методов дистанционного зондирования Земли.

Например, по результатам анализа разновременных космических снимков области интереса, начиная с 1992 г., были определены вариации изменения ландшафта естественного и антропогенно-спровоцированного характера, включая динамику площадей пахотных земель, лугов, лесов и промышленных территорий, а в 2009 г. с помощью спектральных индексов растительности и влагосодержания отмечена тенденция ухудшения состояния хвойных лесов под влиянием антропогенной нагрузки, проявившаяся в снижении уровня хлорофилла в отдельных лесных массивах без усыхания хвойных деревьев, на ряду с чем получен многочисленный картографический материал [3].

Помимо этого, так как в зоне защитных мероприятий бывшего объекта УХО значительная площадь территорий занята пашнями и лугами [3], возникает интерес дополнить данные по динамике состояния окружающей среды с помощью анализа изменений почвенного вегетационного индекса SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), который минимизирует влияние почвы. Также в целях дальнейшей визуальной и количественной оценки растительности можно использовать такие спектральные индексные показатели, различающиеся по сложности вычисления, как общий показатель вегетации по оценке развития растительности (Simple Ratio), преобразованный нормализованный разностный вегетационный индекс TNDVI (Transformed Normalized Difference Vegetation Index), атмосфероустойчивый вегетационный индекс ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index), совершенствованный вегетационный индекс EVI (Enhanced Vegetation Index), вегетационный индекс хлорофилла CVI (Chlorophyll Vegetation Index), зеленый нормализованный относительный вегетационный индекс GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) и другие.

Применение спектральных индексов для оценки состояния лесов с точки зрения эффективности выполнения ими средозащитных и биосферных функций и анализ дальнейшей динамики ландшафтного комплекса вплоть до 2025 г. позволит отделить процессы, связанные с уничтожением химического оружия от возможных последствий функционирования завода по переработке промышленных отходов различного класса опасности. Эти данные являются неотъемлемым элементом контроля и природоохранного управления.

Таким образом, представляется актуальным продолжить обследования бывших промышленных территорий с использованием вводной спутниковой

информации и существующих аналитических и картографических материалов периода эксплуатации объекта «Марадыковский» и других подобных объектов с целью их сравнения с данными постэксплуатационных периодов и получения исходной информации о состоянии окружающей среды перед запуском новых модернизированных промышленных комплексов.

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

Библиографический список

1. Бывший объект по уничтожению химоружия превратят в экотехнопарк [Электронный ресурс]. – URL: <https://rg.ru/2022/02/14/reg-pfo/byvshij-obekt-po--unichtozheniiu-himoruzhiia-prevratiat-v-ekotekhnopark.html> (дата обращения: 02.03.2025).
2. Итоги деятельности госкорпорации «Росатом» за 2023 год [Электронный ресурс]. – URL: https://www.report.rosatom.ru/go/rosatom/go_rosatom_2023/rosatom_2023_ru.pdf (дата обращения: 02.03.2025).
3. Новикова Е. А. Геоэкологическая оценка динамики природно-техногенной системы района строительства и функционирования объекта уничтожения химического оружия : спец. 25.00.36 : дис. ... канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону, 2011. 173 с.

МАРШРУТНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ БЕЛОГО МОРЯ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «ОНЕЖСКОЕ ПОМОРЬЕ»

**Д. С. Мосеев¹, А. В. Брагин², М. А. Смирнова³,
П. А. Фоторан², Н. М. Махнович¹**

¹ Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН,
г. Москва, Россия, viking029@yandex.ru,

² ФБГУ «Национальный парк «Кенозерский»,
г. Архангельск, Россия, aaraboloto@yandex.ru,

³ Ботанический институт имени В. Л. Комарова,
г. Санкт-Петербург, Россия, tmakarova@binran.ru

Одним из видов научных работ на территории национального парка Онежское Поморье является проведение маршрутных исследований вдоль берегов Белого моря. Такие исследования позволяют изучать биоценозы береговой зоны, выявлять изменения, происходящие в них, прослеживать естественные и антропогенные воздействия.

Ключевые слова: Белое море, биомониторинг, биоценозы, побережье.

В северной части Онежского полуострова вдоль побережья Белого моря расположен национальный парк «Онежское Поморье», организованный в 2013 году. Основной природоохранной целью парка является сохранение

природных территорий в условиях обострения экологических проблем. В целях изучения биоразнообразия и функционирования экосистем севера в связи с происходящими климатическими изменениями и усилением хозяйственной деятельности на территории парка большое значение приобретают исследования биоценозов береговой зоны. Береговая зона включает прибрежную часть моря и прилегающее к ней побережье.

Формирование биоценозов берегов происходит под воздействием моря и суши, где регулируемыми факторами выступают соленые морские воды приливов и штормовых нагонов, они тесно сочетаются с воздействием освещения, атмосферных осадков, ветра, геохимическими особенностями субстратов (засоление, субаэрация).

Для исследования природных комплексов береговой зоны Белого моря в национальном парке уже с 2020 г. ежегодно организуются маршрутные биологические исследования. Они включают комплексные исследования растительных сообществ берегов, биоценозов зообентоса и фитобентоса литорали, исследования птиц, наземных и морских млекопитающих [1–4]. В настоящее время география пройденного пути довольно обширна (рис. 1). Задействованы маршруты в районе мыса Глубокий, от устья реки Котова до мыса Пертнаволоок, вдоль берегов Унской губы, на Летнем берегу Белого моря.

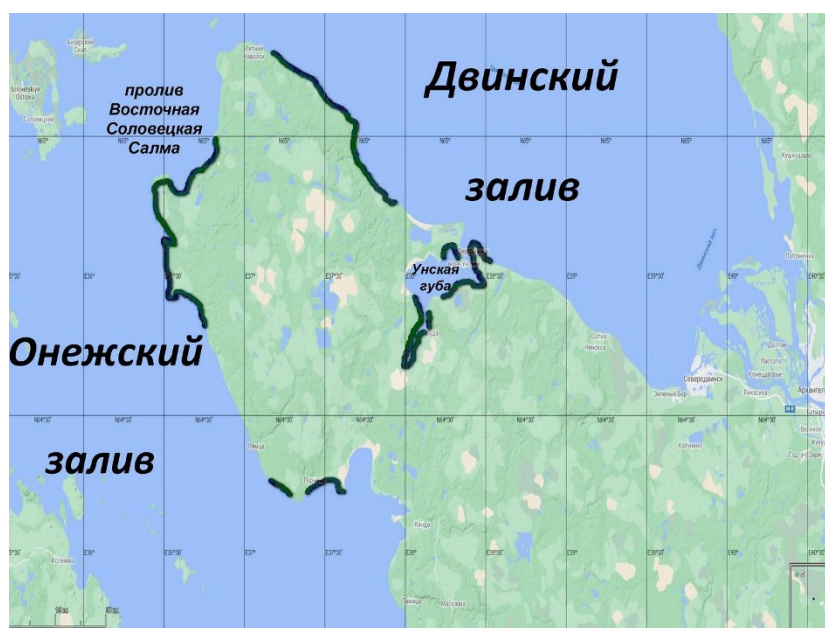


Рис. 1. Карта-схема маршрутов исследований биоценозов побережья Белого моря на Онежском полуострове (маршруты показаны темно-серой линией)

Основная цель маршрутных исследований – организация комплексного биологического мониторинга. В такие исследования входят следующие задачи:

- 1) выявление перспективных объектов биомониторинга и лучших районов для ведения мониторинга;
- 2) исследование растительного покрова и животного мира береговой зоны (включая маршрутные учеты птиц и млекопитающих);

- 3) поиск охраняемых видов и редких сообществ растений и животных;
- 4) получение новых данных и обновление ранее полученных данных о состоянии и численности популяций животных, состоянии ценопопуляций и сообществ растений, изменениях, происходящих в растительном покрове;
- 5) обнаружение локальных антропогенных и естественных нарушений в береговой зоне влияющих на состояние экосистем;
- 6) выявление индикаторных видов состояния экосистем.

Одной из актуальных задач парка является реализация биологического мониторинга [5]. В настоящее время проводятся мониторинговые наблюдения, связанные с научными исследованиями, которые включают наблюдения за миграцией птиц, учёт численности колониально гнездящихся чайковых птиц и куликов (полярная и речная крачки, сизая чайка, серебристая чайка, малая чайка, озерная чайка, галстучник, камнешарка), изучение экологии, численности и территориального распределения краснокнижных рыбоядных видов дневных хищных птиц (скопа, орлан-белохвост), оценка численности и изучение питания бурого медведя на побережье, исследования растительного покрова побережий, водоемов, болот, лесов, гидробиологические наблюдения за состоянием биоценозов Белого моря (рис. 2).

В планах расширение наблюдений и организация постоянных реперных участков биомониторинга растительных сообществ побережий и прибрежных морских биоценозов.

Одной из важных задач маршрутных исследований является описание растительного покрова маршей и пляжей геоботаническими методами. Эти сообщества формируются и развиваются в очень динамичной среде обитания морских берегов, где под влиянием моря часто происходят изменения в их составе и структуре. За последние годы выявлены новые местопроизрастания охраняемых на территории Архангельской области видов растений *Blysmus rufus*, *Rhodiola rosea* и внесенных в список бионадзора *Puccinellia phryganodes*, *Ruppia maritima*. В составе растительности берегов к объектам охраны рекомендованы все сообщества и популяции перечисленных видов, а также сообщества zostеры в Унской губе как основа её донных фитоценозов и пионерные сообщества солероса европейского служащие индикаторами изменений берегов. Проводятся регулярные наблюдения за популяцией родиолы розовой на мысе Сатанский. Крайне важно осуществлять мониторинг эталонных сообществ zostеры морской, играющих важную биоценотическую и ландшафтообразующую роль в морских экосистемах. В местах обширных сообществ zostеры отмечены миграционные скопления мигрирующих растительноядных птиц (черная и белощекая казарки, свиязь). Сообщества zostеры укрепляют донный грунт и препятствуют разрушению береговой зоны под воздействием волн. Кроме того, сообщества zostеры способствуют развитию зообентосных сообществ.

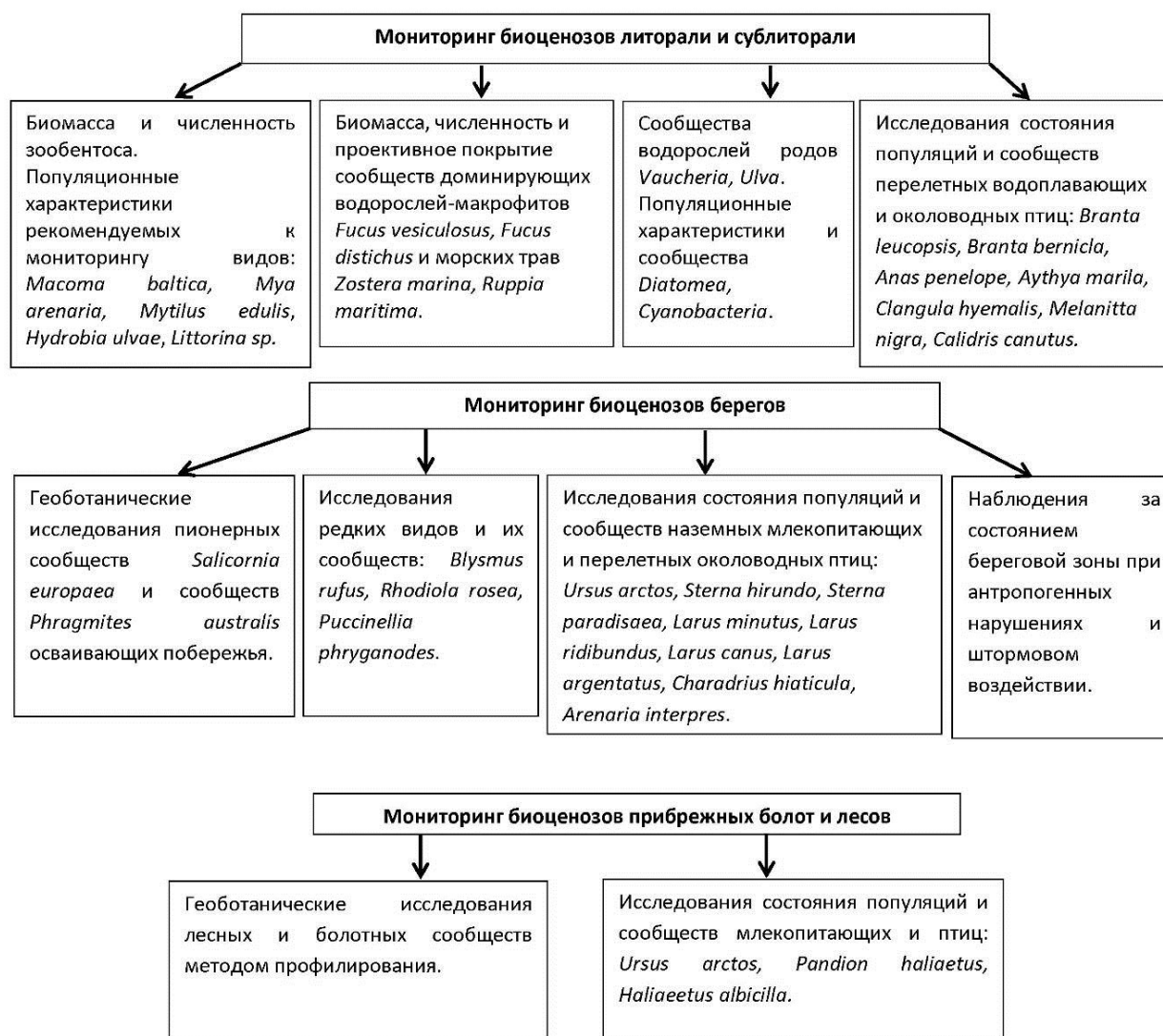


Рис. 2. Схема мониторинга береговой зоны

Как объекты мониторинга зообентоса, рекомендованы участки литорали с богатым видовым составом, численностью и биомассой донных беспозвоночных. Это участок литорали Двинского залива у мыса Красногорский Рог, литорали в районе мыса Сосновый в Унской губе, сублиторали кутовой части Унской губы в районе устьев рек Карбасовка, малая Сейца, обширной по площади и протяженности литорали на участке от мыса Глубокий и до устья р. Вейги в Онежском заливе, участок у мыса Чесменский, участок литорали у мыса Сатанский. На участках богатых зообентосом отмечены миграционные скопления животной донной фауны: нырковых и морских уток, а также куликов (морская чернеть, синьга, морянка, обыкновенная гага, исландский песочник).

На прилегающей к богатой рыбой акватории Унской губы территории, включающей крупные лесные и болотные комплексы, осуществляется мониторинг численности краснокнижных видов дневных хищных птиц скопы и орлана-белохвоста.

Регулярно на береговых маршрутах проводятся наблюдения за численностью бурого медведя и других лесных млекопитающих. Учет численности водоплавающих птиц.

Антропогенных нарушений в береговой зоне на маршрутах исследований в период 2020–2024 гг. не было выявлено. Но они имели место ранее. Так разлив нефтепродуктов в результате аварийной швартовки танкеров в Онежском заливе в сентябре 2003 г. привел к серьезному загрязнению берегов островов залива и Онежского полуострова в районе мыса Глубокий. Последствия этой аварии на морские экосистемы наблюдались в 2004–2011 гг., хотя с течением лет происходило восстановление биоценозов [6]. В настоящее время следы этого воздействия обнаруживаются на берегах в виде затвердевших отложений мазута.

Несмотря на обширную исследованную территорию побережья, его значительная часть еще не изучена. В перспективе продолжение работы по изучению взаимосвязей между морскими и наземными биоценозами. В настоящее время получены данные об особенностях гнездования морских птиц и обитания лесных млекопитающих в береговой полосе, образовании нитрофильной растительности под воздействием выбросов водорослей.

Материалы докладов подготовлены в рамках научно-исследовательской работы ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский» по теме: №1-25-104-2 «Комплексное исследование структуры и динамики растительных и животных сообществ побережья Белого моря и прилегающей к нему акватории, с целью установления взаимосвязей между разными биоценозами в зоне экотона и создания устойчивой модели природоохранного менеджмента в национальном парке «Онежское Поморье».

Библиографический список

1. Смирнова М. А., Дровнина С. И., Петрова Н. В. Приморская болотная растительность национального парка «Онежское Поморье» (Белое море, Архангельская область) // Труды КарНЦ РАН. 2023. № 8. С. 41–47.
2. Мосеев Д. С., Брагин А. В., Махнович Н. М. Экспедиция на Онежский берег Белого моря (путь от устья реки Котова до устья реки Золотица) // Труды Архангельского центра Русского географического общества : сб. науч. статей. Архангельск : ООО «Консультационное информационно-рекламное агентство», 2023. С. 135–141.
3. Маршрутные учеты численности бурого медведя на Летне-Золотицком участке Национального парка «Онежское Поморье» в сентябре 2020 года / С. В. Пажетнов, Е. Ф. Ситникова, П. А. Футоран и др. // Кенозерские чтения – 2021. Заповедные земли Русского Севера в контексте социально-гуманитарных и естественно-научных исследований : сб. материалов X Всерос. науч.-практ. конф. Архангельск, 2022. С. 499–511.
4. Футоран П. А., Петруненко Ю. К. Некоторые данные о питании бурого медведя (*Ursus arctos* L., 1758) на побережье Онежского полуострова // Биологические науки и биоразнообразие : сб. науч. трудов IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2024. С. 57–61.
5. Биомониторинг побережья Белого моря на Онежском полуострове / Д. С. Мосеев, Н. М. Махнович, А. В. Брагин и др. // XXIX Береговая конференция: Натурные и теоретические исследования – в практику берегопользования : сб. материалов Всерос. конф. с

международ. участием. Калининград : Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2022. С. 257–259.

6. Комплексные исследования динамики экологических последствий разлива нефтепродуктов в южной части Онежского залива Белого моря / В. В. Андрианов, Л. Р. Лукин, А. А. Лебедев, Н. В. Неверова // Проблемы региональной экологии. 2012. № 3. С. 58–63.

ИЗМЕНЕНИЕ ДАТ НАЧАЛА И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ СЕЗОНОВ В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Т. Г. Шихова

*ФГБНУ ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства
имени проф. Б. М. Житкова, г. Киров, Россия, biota.vniioz@mail.ru*

Анализируется смещение границ и продолжительность фенологических сезонов за два 30-летних периода (1961–1990 и 1991–2020 гг.). Выявлено удлинение осени (+10 дней) и лета (+2 дня), сокращение зимы (-8 дней) и весны (-4 дня). В среднем лето наступает раньше (-3 дня), а зима позднее (+9 дней). Приведены средние многолетние показатели сезонов и варианты их аномальности по г. Киров за период 1991–2020 гг.

Ключевые слова: фенологический сезон, аномальность сезона, Кировская область.

Фенологический мониторинг позволяет выявлять характер и временные параметры отклика животных и растений на глобальные изменения абиотических факторов [1]. Поэтому формирование научно обоснованной интерпретации феноклиматических данных остается остро актуальным направлением.

Современная климатическая тенденция отличается масштабностью и быстротой изменений метеорологических параметров во многих аспектах беспрецедентных за период инструментальных наблюдений. Согласно данным Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Росгидромета, 2011–2020 гг. – самое теплое десятилетие за последние 300 лет [2, 3]. Погодно-климатические изменения прежде всего отражаются на сезонной ритмике годовых циклов развития животных и растений, проявляются в смещении дат начала и окончания фенологических сезонов.

Цель исследования – оценить характер изменений фенологических сезонов за период с 1961 по 2020 гг. и определить параметры сезонов в базовый период 1991–2020 гг.

Устойчивое изменение климата последних десятилетий в фенологическом аспекте проявляется в перестройке временных показателей сезонной ритмики [3, 4]. Общая тенденция второй половины XX в. – смещение средних

дат начала активности биоты к более ранним значениям и увеличение продолжительности вегетационного периода [1, 5, 6].

По рекомендациям ВМО, для анализа долгосрочных колебаний климата используется опорный период 1961–1990 гг., а для анализа текущих сезонов применяется оперативный базовый период, который применяется для расчета метеорологических «норм». В связи с быстро меняющимися климатическими условиями последних десятилетий с 2010 г. базовый период пересчитывается каждые 10 лет – предыдущий был за 1981–2010 гг., а современный – за 1991–2020 гг. [2]. Для вычисления средних многолетних фенологических дат (ориентировочной «нормы») нами также принят период 1991–2020 гг., отражающий современные климатические условия. Приняты следующие фенологические маркеры начала сезонов: весна – начало интенсивного снеготаяния; лето – зацветание шиповника *Rosa majalis*; осень – первые желтые листья на липе мелколистной *Tilia cordata*; зима – установление постоянного снежного покрова [7]. Изменчивость дат начала и продолжительности фенологических сезонов оценивали на основе стандартного квадратичного отклонения (σ) от средних многолетних значений за 30-летний период по методике Т. Н. Буториной и Е. А. Крутовской [8]. Использована уточненная классификация аномальности сезонов, отклонение которых от нормы превышает 2σ [5] (табл.).

Таблица

**Границы фенологических сезонов в г. Киров,
рассчитанные за период 1991–2020 гг.**

Сезон	По датам наступления						
	крайне ранний	очень ранний	ранний	средний (норма)	поздний	очень поздний	крайне поздний
Зима	< 14.X	15–21.X	22.X–4.XI	5–19.XI	20.XI–3.XII	4–10.XII	11.XII <
Весна	< 3.III	4–9.III	10–20.III	21–31.III	1–11.IV	12–17.IV	18.IV <
Лето	< 18.V	19–22.V	23–29.V	30.V–6.VI	7–12.VI	13–16.VI	17.VI <
Осень	< 3.VIII	4–7.VIII	8–14.VIII	15–22.VIII	23–28.VIII	29.VIII–1.IX	2.IX <
Сезон	По продолжительности						
	очень короткий	короткий	укороченный	средний (норма)	удлиненный	длинный	очень длинный
Зима	< 98	99–107	108–125	126–144	145–162	163–171	172 <
Весна	< 45	46–50	51–61	62–74	75–85	86–90	91 <
Лето	< 60	61–64	64–73	74–81	82–89	90–93	94 <
Осень	< 57	58–64	65–78	79–93	94–107	108–114	115 <

В качестве примера охарактеризуем 2024 г., отличившийся рядом погодных аномалий – затяжное похолодание с длительными заморозками в мае и продолжительное тепло в сентябре. Отклонения от средних значений временных параметров сезонов в окрестностях г. Киров составляло до 1σ . Весна была ранняя и удлиненная – наступила 16 марта и длилась 77 дней; лето –

своевременное по началу (3 июня) и среднее по продолжительности (80 дней); осень – поздняя (23 августа) и удлиненная (94 дня), зима наступила поздно (24 ноября).

Аномальные фенологические сезоны преобладали в 1991–2000 гг., когда даты их начала и продолжительности значительно отклонялись от средних многолетних значений на величину более 1σ [5]. Эти процессы согласуются с современной перестройкой климатического режима на территории Среднего Поволжья [4, 9].

Сравнение средних дат начала сезонов за 1991–2020 гг. с показателями периода 1961–1990 гг. выявило более раннее начало лета (-3 сут) и осени (-1 сут), а средняя дата начала зимы значительно сместилась к поздним датам ($+9$ сут). Весна в среднем стала наступать позднее на 1 день, что связано с преобладанием позднего начала этого сезона в 2011–2020 гг. (рис. 1).

Динамика начала фенологических сезонов в течение XX столетия характеризовалась более ранним наступлением весны и лета, поздним началом осени и зимы [1]. В новом столетии направление сдвига дат изменилось для переходных сезонов, а для летнего и зимнего – направление сохранилось [5].

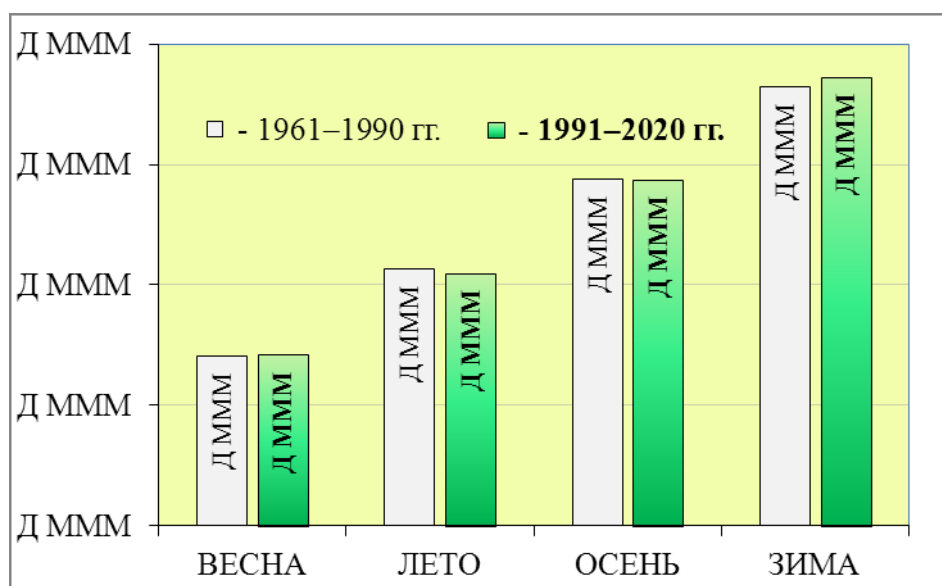


Рис. 1. Изменение средних многолетних дат начала фенологических сезонов за опорный и обновленный базовый 30-летние периоды по г. Кирову

Разнонаправленные векторы начала весны и лета (позднее начало весны и раннее начало лета) обусловили сокращение весеннего сезона в первые десятилетия XXI в. В тоже время осенний сезон существенно удлинился за счет позднего начала зимы (рис. 2). Так, в период 1991–2020 гг. фиксировались аномально затяжные осенние сезоны (> 106 сут) – в 1991, 2008, 2009, 2013 гг. Продолжительность их значительно превышала средние показатели от $+1.8\sigma$ (1991 г.) до $+2.4\sigma$ (2008 г.).

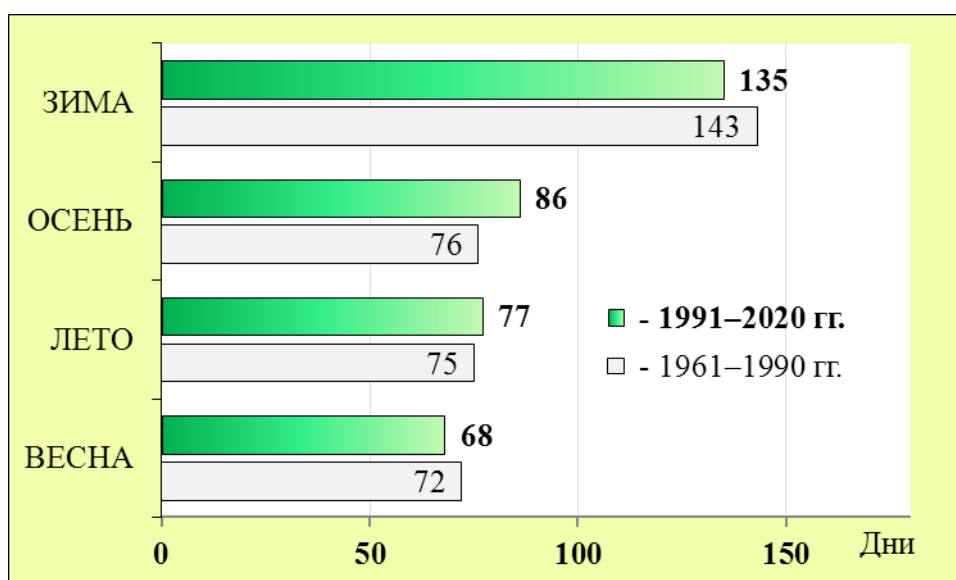


Рис. 2. Изменение средней многолетней длительности фенологических сезонов за опорный и обновленный базовый 30-летние периоды по г. Кирову

На фоне глобальной перестройки климатического режима [9] аномальные по временным параметрам фенологические сезоны участились, особенно в конце XX – начале XXI веков. В 1991–2000 гг. отмечалось 50% лет с такими сезонами, когда их начало и продолжительность значительно отклонялись от принятых за «норму» средних многолетних значений. В 1971–1980 гг. было 40% ранних весен, а в 2011–2020 гг. – до 75% лет были с поздним началом весны.

Сравнение продолжительности фенологических сезонов за два последовательных 30-летних периода выявило существенное удлинение осени (+10 дней), сокращение зимы (-8 дней) в основном за счет более позднего его начала, сокращение весеннего сезона (-4 дня) и удлинение лета (+2 дня).

Таким образом, обозначившаяся во второй половине XX века тенденция изменения сезонов годового цикла (сокращение зимы и весны, удлинение лета и осени) [1] сохраняется в начале XXI века. По сравнению с опорным периодом (1961–1990 гг.) в новом базовом периоде (1991–2020 гг.) отмечается более раннее начало лета и значительно более позднее наступление зимнего сезона.

Библиографический список

1. Соловьев А. Н. Биота и климат в XX столетии. Региональная фенология. М. : Пасьева, 2005. 288 с.
2. Состояние глобального климата. ВМО № 1316, 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <http://mgmtmo.ru/edumat/wmo/1316.pdf> (дата обращения 7.03.2025).
3. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб. : Научные технологии, 2022. 124 с.
4. Мониторинг и прогнозирование климатической изменчивости на территории Приволжского федерального округа / Ю. П. Переведенцев, Р. М. Вильфанд,

К. М. Шанталинский и др. // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 1 (371). С. 67–94.

5. Шихова Т. Г., Соловьев А. Н. Динамика границ фенологических сезонов на востоке Русской равнины (г. Киров). DOI: 10.26907/2542-064X.2021.2.289-301 // Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки. 2021. Т. 163. Кн. 2. С. 289–301.

6. Соловьев А. Н., Шихова Т. Г., Бусыгин Е. И. Влияние погодных аномалий на биоту. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2021. 98 с.

7. Соловьев А. Н. Сезонные наблюдения в природе. Методика и программа фенологического мониторинга : методическое пособие. Киров, 2005. 96 с.

8. Буторина Т. Н., Крутовская Е. А. Сезонные ритмы природы Средней Сибири (Красноярский край). М. : Наука, 1972. 156 с.

9. Современные региональные климатические изменения и их последствия / Ю. П. Переведенцев, Н. А. Мирсаева, В. Н. Павлова и др. М. : Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2024. 224 с.

ВЛИЯНИЕ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА УРОВНИ ТРАНСПОРТНОГО ШУМА НА ТЕРРИТОРИИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

Д. Н. Скляр, Ю. Н. Сладкова, О. В. Волчкова, В. П. Плеханов, В. Е. Крийт
*ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья»,
г. Санкт-Петербург, Россия, d.sklyar@s-znc.ru*

В статье представлены результаты измерений уровней автотранспортного шума на территории исторической и современной жилой застройки Санкт-Петербурга в летний и зимний периоды года. Определена роль зеленых насаждений в снижении уровня автотранспортного шума.

Ключевые слова: территория жилой застройки, транспортный шум, зеленые насаждения, эквивалентный уровень звука.

Шум является одним из наиболее значимых физических факторов, оказывающих влияние на среду обитания и здоровье человека. Ведущим источником шума является транспорт.

Согласно Государственному докладу «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации в 2023 году» за последние десять лет удельный вес измерений шума на автомагистралях и улицах с интенсивным движением автотранспорта, не отвечающих гигиеническим нормативам, составлял 35,9–51,1%, в 2023 г. – 43,7%. При этом в крупных городах данный показатель значительно выше и может достигать 99%.

В данном Государственном докладе отмечается, что сверхнормативная шумовая нагрузка от автотранспорта в дневное время суток составляет до 27 дБА, в ночное время суток – до 28 дБА.

Одним из способов снижения уровней транспортного шума на территории прилегающей жилой застройки является шумозащитное озеленение транспортных коммуникаций [1–9]. Разделительные полосы зеленых насаж-

дений вдоль городских дорог, шумозащитная функция которых зависит от приемов озеленения и видов растений по особенностям роста (деревьев, кустарников и трав), могут снижать уровни транспортного шума в среднем до 10 дБА, что позволяет их рассматривать как дополнительный способ снижения шумовой нагрузки [1, 2]. Наиболее значительной шумозащитной способностью обладают смешанные насаждения, при этом наиболее высокие показатели шумозащиты могут достигаться сочетанием таких характеристик зеленых насаждений, как ярусность, плотность и сомкнутость крон, ширина и средняя высота насаждений, расположение растений [5, 6, 9]. Необходимо отметить, что тип, количество рядов и ширина полосы зеленых насаждений могут быть критериями группировки объектов надзора при проведении социально-гигиенического мониторинга шума на территории жилой застройки [10, 11].

Цель исследования заключалась в оценке влияния на уровни автотранспортного шума зеленых насаждений как критерия группировки объектов при проведении мониторинга шума на территории жилой застройки.

Измерения эквивалентного уровня звука проводились в каждый из четырех периодов года в 24 контрольных точках, 12 из которых размещались в исторической части города, 12 – в районах современной застройки.

Измерения проводились согласно руководству по эксплуатации шумомера-виброметра, анализатора спектра ЭКОФИЗИКА-110А в дневное и ночное время суток на расстоянии 2 м от фасада здания на высоте $1,5 \pm 0,1$ м от опорной поверхности. В каждой контрольной точке проводилось не менее четырех последовательных измерений с последующим расчетом среднего значения и расширенной неопределенности измерений U ($N = 95\%$, $k = 1,65$).

В таблице представлены результаты исследований в 12 контрольных точках в дневное время суток в летний и зимний периоды года, характеристики объектов и транспортного потока.

Таблица

**Значения эквивалентных уровней звука ($L_{\text{экв.}}$)
в контрольных точках**

№ точки	$L_{\text{экв.}}$, дБА	U , дБА	Зеленые насаждения, тип	Скорость потока, км/ч	Ширина полосы зеленых насаждений, м	Интенсивность движения	Расстояние от дороги до фасада, м
1	2	3	4	5	6	7	8
Летний период года							
Зона исторической застройки							
7	69,2	1,8	Отсутствуют	< 40	0	200–1000	7
8	70,1	1,7	Отсутствуют	< 40	0	200–1000	7
9	71,5	1,8	Отсутствуют	< 40	0	200–1000	7
10	68,1	1,7	Кустарник	40–60	4	200–1000	9
11	68,8	1,7	Кустарник	40–60	4	200–1000	9
12	68,4	1,7	Кустарник	40–60	4	200–1000	9

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Зона современной застройки							
16	58,6	1,7	Кустарник	40–60	8	> 1000	30
17	58,1	2,1	Кустарник	40–60	8	> 1000	30
18	58,9	2,2	Кустарник	40–60	8	> 1000	30
19	59,5	2,3	Кустарник, деревья	40–60	15	> 1000	35
20	59,1	1,8	Кустарник, деревья	40–60	15	> 1000	35
21	58,9	2,1	Кустарник, деревья	40–60	15	> 1000	35
Зимний период года							
Зона исторической застройки							
7	70,4	1,7	Отсутствуют	< 40	0	200–1000	7
8	71,5	1,7	Отсутствуют	< 40	0	200–1000	7
9	72,3	1,9	Отсутствуют	< 40	0	200–1000	7
10	69,6	2,0	Кустарник	40–60	4	200–1000	9
11	70,3	1,9	Кустарник	40–60	4	200–1000	9
12	69,9	2,2	Кустарник	40–60	4	200–1000	9
Зона современной застройки							
16	60,4	2,1	Кустарник	40–60	8	> 1000	30
17	59,7	1,7	Кустарник	40–60	8	> 1000	30
18	60,5	2,1	Кустарник	40–60	8	> 1000	30
19	61,3	2,2	Кустарник, деревья	40–60	15	> 1000	35
20	61,2	1,7	Кустарник, деревья	40–60	15	> 1000	35
21	60,9	1,7	Кустарник, деревья	40–60	15	> 1000	35

Уровни шума от автомобильного транспорта в исторической части города представлены для двух типов участков (без полосы зеленых насаждений и с полосой кустарников). Улицы в исторической части города, на которых проводили измерения, имеют небольшую ширину, относительно небольшую интенсивность движения и расстояние от фасада здания до проезжей части менее 10 м. Фактические значения уровней шума на участках без полосы зеленых насаждений в летний период года составили от 69,2 до 71,5 дБА, на участках с кустарниками между фасадом здания и дорогой – от 68,1 до 68,8 дБА; в зимний период – от 70,4 до 72,3 дБА и от 69,6 до 70,3 дБА соответственно.

В части города с современной планировкой среди выбранных объектов отсутствовали улицы без полосы зеленых насаждений. В таблице представлены участки с разным составом насаждений (кустарник и кустарник с одним рядом лиственных деревьев). Фактические значения уровней шума на участках 16–18 в летний период года составили от 58,1 до 58,9 дБА, на участках 19–21 –

от 58,9 до 59,5 дБА; в зимний период – от 59,7 до 60,5 дБА и от 60,9 до 61,3 дБА соответственно.

На всех участках фактические значения уровней шума не соответствовали требованиям гигиенических нормативов (п. 14 таблицы 5.35 «Нормируемые параметры шума в октавных полосах частот, эквивалентных и максимальных уровней звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на селитебной территории» санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»). При этом в летний период года в исторической части города уровни шума от автомобильного транспорта превышали допустимое значение (55 дБА) на 13,1–16,5 дБА, в зоне современной застройки – на 3,1–4,5 дБА. В зимний период года уровни шума в исторической части города и в зоне современной застройки превышали допустимое значение на 14,6–17,3 дБА и 4,7–6,3 дБА соответственно.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- в исторической части города уровни автотранспортного шума значительно выше, чем в зоне с современной планировкой районов, что можно объяснить меньшим расстоянием от фасадов до проезжей части, высокой плотностью застройки и малым количеством зеленых насаждений;

- отмечена тенденция к снижению уровней автотранспортного шума при наличии полос зеленых насаждений;

- при наличии зеленых насаждений фактические значения уровней автотранспортного шума в исторической части города в летний период года ниже фактических значений уровней автотранспортного шума в зимний период года на 1,5 дБА, в зоне современной застройки – на 1,6–2,1 дБА;

- результаты исследований показали, что зеленые насаждения могут быть использованы как один из способов снижения уровней автотранспортного шума и подтверждают необходимость группировки объектов по данному критерию при мониторинге шума на территории жилой застройки.

Библиографический список

1. Новикова С. А., Мартынов Д. Н. Влияние зеленых насаждений на снижение уровня шума от автотранспортных потоков в Иркутске // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2022. № 4. С. 16–25.

2. Балакин В. В., Топчиева Д. С. Формирование средозащитных полос зеленых насаждений на объектах транспортной инфраструктуры // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф. Волгоград : изд-во ВолГТУ, 2022. С. 320–330.

3. Соловьев А. В., Мейнерт Е. К. Влияние городской застройки и зеленых насаждений на уровень акустического транспортного шума // Актуальные проблемы радиофизики АПР-2021 : сб. трудов IX междунар. науч.-практ. конф. Томск : Изд. дом ТГУ, 2021. С. 277–280.

4. Глазачева С. П., Яблочкина Н. Л. Оценка шумозащитных свойств зеленых насаждений города Томска (на примере Кировского и Советского районов) // Экология и

управление природопользованием. На пути к устойчивому развитию: индикаторы устойчивого развития территорий : сб. науч. трудов Третьей Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Томск : Литературное бюро, 2020. С. 14–15.

5. Гордеев Ю. А., Кулагин А. А. Шумозащитные свойства зеленых насаждений на урбанизированных территориях // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2014. № 1. С. 7–13.

6. Луговская А. Ю., Анопченко Л. Ю. Зеленые насаждения как метод защиты от шума на урбанизированных территориях. DOI 10.33764/2618-981X-2021-4-2-119-123 // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 4. № 2. С. 119–123.

7. Сальников А. В., Кильдишов А. Э. Защита жилой застройки от транспортного шума градостроительными средствами // Современные вопросы безопасности : сб. трудов II вузовской науч.-техн. конф. молодых исследователей. Волгоград : изд-во ВолГТУ, 2024. С. 145–148.

8. High-resolution assessment of road traffic noise exposure in Denmark / J. D. Thacher, A. H. Poulsen, O. Raaschou-Nielsen, et al. DOI: 10.1016/j.envres.2019.109051 // Environ. Res. 2020. Vol. 182. Article No. 109051.

9. Tree characteristics and environmental noise in complex urban settings – A case study from Montreal, Canada / N. Zhao, J. F. Prieur, Y. Liu, et al. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111887 // Environ. Res. 2021. Vol. 202. Article No. 111887.

10. Современные подходы к мониторингу уровней шума от шумогенерирующих объектов на территории жилой застройки / В. Е. Крийт, Ю. Н. Сладкова, Д. Н. Скляр и др. // Проблемы сохранения здоровья и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Арктике : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. СПб. : Издательско-полиграфическая компания «Коста», 2023. С. 123–126.

11. Применение акустических моделей при разработке подходов к надзору за шумовым воздействием от автотранспорта / Д. Н. Скляр, В. Е. Крийт, Ю. Н. Сладкова, О. В. Волчкова // Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях : материалы XII Всерос. науч.-практ. интернет-конф. молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с междунар. участием. Саратов : ООО «Амирит», 2022. С. 200–202.

ГИДРОБИОНТЫ ОЗЕРА МАЛЬСКОЕ (ПСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ): ВИДОВОЙ СОСТАВ, СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА И ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМА МЕТОДАМИ БИОИНДИКАЦИИ

Э. А. Агасой¹, В. В. Агасой²

¹ Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина,
г. Санкт-Петербург, Россия, emiliaagasoii@yandex.ru,

² Псковский государственный университет,
г. Псков, Россия, agasoi_87@mail.ru

В статье представлены сведения о видовом составе и степени доминирования гидробионтов оз. Мальское ООПТ «Изборско-Мальская долина» Печорского района Псковской области. Показано, что в 2024 г., по сравнению с 2023 г., возрастает степень загрязнения водоёма. При этом, значения индекса Майера и Вудивисси соответствуют грязному водоёму, показатели уровня сапробности – водоёму с сильной степенью органической загрязнённости.

Ключевые слова: макрозообентос, биотические индексы, степень загрязнения водоёма, озеро Мальское, Псковская область.

Оценка экологического состояния водных объектов является важной задачей современной экологии, направленной на сохранение биоразнообразия и обеспечение устойчивого природопользования. Антропогенное воздействие, связанное с сельскохозяйственной деятельностью, сбросом неочищенных сточных вод и рекреационной нагрузкой, оказывает значительное влияние на экологическое состояние озёр, приводя к их деградации, нарушению структуры и функционирования.

В условиях усиливающегося антропогенного воздействия на водные объекты, мониторинг и оценка их экологического состояния приобретают особую актуальность. Традиционные гидрохимические методы, несмотря на их информативность, зачастую не отражают комплекс изменений, происходящих в экосистеме в долгосрочной перспективе. В связи с этим, все большее внимание уделяется методам биоиндикации, основанным на использовании биологических индикаторов, чувствительных к изменениям в окружающей среде [1]. Такой биоиндикатор как макрозообентос, особенности его видового состава и численности, позволяет оценивать степень загрязнения водоёма.

Озеро Мальское, расположенное на территории ООПТ «Изборско-Мальская долина» Печорского района Псковской области [2], является ценным природным объектом, представляющим собой важный источник пресной воды и обладающим значительным рекреационным потенциалом. Однако, озеро испытывает антропогенное влияние, связанное с сельскохозяйственной деятельностью в водосборном бассейне и рекреационной нагрузкой [3]. В связи с этим, оценка экологического состояния озера Мальского является важной задачей, направленной на выявление негативных изменений и разработку мер по его сохранению. Поэтому целью исследования была выбрана оценка экологического состояния озера Мальское Печорского района Псковской области с помощью методов биоиндикации по показателям макрозообентоса.

Озеро Мальское располагается в Изборской волости, в 4 км к северу от д. Изборска и в 27 км к западу от г. Пскова. На северо-западном берегу озера у д. Рогово расположен горнолыжный комплекс «Мальская долина», у западного побережья – д. Малы и Мальский монастырь, у восточного побережья – д. Захново и Иверский скит Псково-Печерского монастыря (рис.). Это пойменное озеро относится к бассейну реки Псковского озера и является проточным. На юге в озеро впадает р. Смолка, на севере из озера вытекает р. Обдех, которая в свою очередь и впадает в Псковское озеро. Озеро имеет ваннообразную форму, илистое дно и заболоченные пойменные берега. В прибрежье озера есть песок, заиленный песок и сплавины. Степень зарастания озера растительностью составляет 21%. Среди растительности преобладает тростник (*Phragmites* sp.), осока (*Carex* sp.), рогоз (*Typha* sp.), горец (*Polygonum* sp.), рдест (*Potamogeton* sp.), кубышка (*Nuphar* sp.), камыш

(*Scirpus* sp.), стрелолист (*Sagittaria* sp.), роголистник (*Ceratophyllum* sp.), вахта (*Menyanthes* sp.), мох фонтиналис (*Fontinalis* sp.), частуха (*Alisma* sp.) и харовые водоросли (Charophyceae).

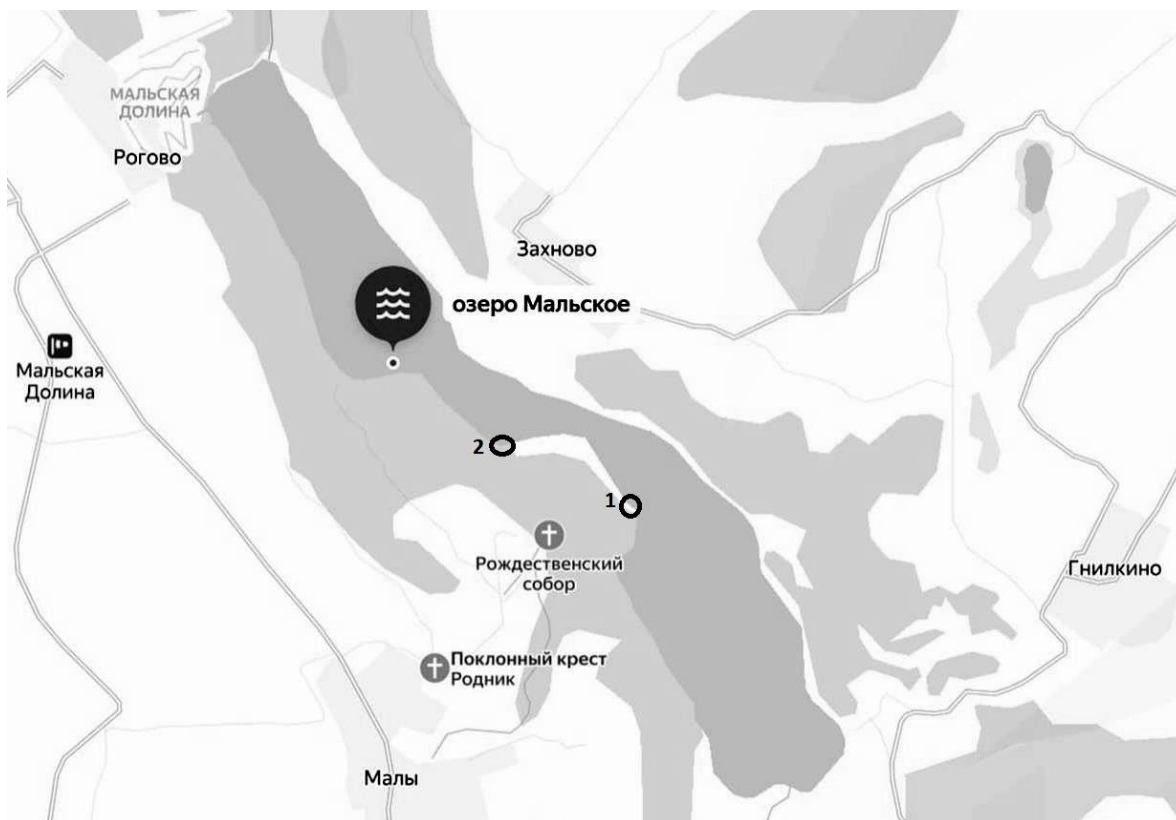


Рис. 1. Карта-схема мест сборов и месторасположения озера Мальское ООПТ «Изборско-Мальская долина» Печорского района Псковской области

Сбор гидробионтов на озере осуществляли 05, 29 и 30 мая, 01 августа, 09 и 10 сентября 2023 г., 07, 27 и 28 мая, 05 августа, 09 и 10 сентября 2024 г. в двух точках (57°74'93.64"N, 27°83'31.99"E; 57°74'62.76" N, 27°84'54.69 "E). Для оценки видового состава и разнообразия сообщества проводили качественные сборы макрозообентоса с помощью гидробиологического сачка по стандартным методикам [4]. Выловленных гидробионтов помещали в ёмкости объёмом 500 мл, разбирали по группам и фиксировали в 70% этиловом спирте. С помощью бинокулярного микроскопа МБС-10 и определителя пресноводной фауны Е. М. Хейсина [5] выполняли таксономическую диагностику гидробионтов. Для оценки экологического состояния оз. Мальское использовали индекс Майера (S), индекс Вудивисса и определение уровня сапробности воды по индикаторным видам моллюсков [6].

В результате исследования было отловлено 533 экземпляра гидробионтов (200 экз. в 2023 г. и 333 экз. в 2024 г.). Собранные организмы принадлежат к 3 типам, 6 классам, 18 семействам и 23 видам (табл.). Наибольшее видовое разнообразие отмечено среди представителей класса Insecta (10 видов) и Gastropoda (9 видов в 2023 г. и 5 видов в 2024 г.). Остальные классы представлены меньшим количеством видов. Наиболее доминирующими группами являются Odonata (31,5%), Gastropoda (20,1%), Trichoptera (22,1%) и Isopoda

(8,6%). Значительная доля в сообществе Odonata приходится на виды из семейств Coenagrionidae и Corduliidae. Виды из рода *Coenagrion* и *Cordulia* демонстрируют довольно высокое доминирование (15–16 и около 12%, соответственно). Среди представителей класса Gastropoda наибольшая степень доминирования отмечена *Planorbis corneus* (10 и 11,4%). В классе Trichoptera преобладает вид *Limnophilus flavicornis* (21 и 17,7%), который принадлежит к одному из наиболее доминирующих видов во всем сообществе макрозообентоса. Isopoda представлены только одним видом *Asellus aquaticus* с умеренной степенью доминирования (7 и 9,6%). Степень доминирования гидробионтов из остальных классов составляет менее 10%.

Таблица

**Таксономический состав макрозообентоса оз. Мальское
ООПТ «Изборо-Мальская долина» Псковской области**

№	Систематические группы макрозообентоса	Степень доминирования (%)		
		2023 г.	2024 г.	за весь период исследований
1	2	3	4	5
Тип Annelida Класс Hirudinea Семейство Hirudinidae				
1	<i>Haemopsis sanguisuga</i>	1,5	2,1	1,9
Тип Mollusca Класс Gastropoda Семейство Bulinidae				
2	<i>Planorbis corneus</i>	10	11,4	10,9
3	<i>Planorbis planorbis</i>	1	–	0,4
Семейство Bithyniidae				
4	<i>Bithynia tentaculata</i>	3,5	0,9	1,9
Семейство Viviparidae				
5	<i>Viviparus contectus</i>	2	–	0,8
Семейство Lymnaeidae				
6	<i>Lymnae stagnalis</i>	6,5	8,1	7,5
7	<i>Lymnae auricularia</i>	2	0,6	1,1
8	<i>Lymnaea palusins</i>	0,5	–	0,2
9	<i>Lymnaea ovata</i>	4	4,5	4,3
10	<i>Lymnaea glabra</i>	1	–	0,4
Класс Bivalvia Семейство Pisidiidae				
11	<i>Pisidium</i>	1,5	–	0,6
Тип Arthropoda Класс Crustacea Отряд Isopoda Семейство Asellidae				
12	<i>Asellus aquaticus</i>	7	9,6	8,6
Класс Arachnida Отряд Araneina Семейство Dolomedidae				
13	<i>Dolomedes fimbriatus</i>	1	0,9	0,9

1	2	3	4	5
Класс Insecta				
Отряд Trichoptera				
Семейство Limnophilidae				
14	<i>Limnophilus stigma</i>	3	3,3	3,2
15	<i>Limnophilus flavicornis</i>	21	17,7	18,9
Отряд Odonata				
Семейство Aeschnidae				
16	<i>Aeschna</i> sp.	3	4,5	3,9
Семейство Coenagrionidae				
17	<i>Coenagrion</i> sp.	15	16,2	15,8
Семейство Corduliidae				
18	Вид <i>Cordulia</i> sp.	12	11,7	11,8
Отряд Heteroptera				
Семейство Nepidae				
19	<i>Nepa cinerea</i>	0,5	0,9	0,8
Семейство Naucoridae				
20	<i>Naucoris cimicoides</i>	1,5	2,4	2,1
Семейство Notonectidae				
21	<i>Notonecta glauca</i>	1	2,7	2,1
Отряд Coleoptera				
Семейство Dytiscidae				
22	<i>Dytiscus</i> sp.	1	1,5	1,3
Семейство Hydrophilidae				
23	<i>Hydrophilus</i>	0,5	0,9	0,8

Примечание: прочерки означают отсутствие гидробионта.

Проведённый анализ видового состава и степени доминирования отдельных видов макрзообентоса за 2023 г. с данными 2024 г. показал как сходство, так и различия. Так, в 2023 и 2024 гг. к доминирующим гидробионтам относятся личинки вида *Limnophilus flavicornis* (18,9% общая степень доминирования), личинки рода *Coenagrion* (15,8%) и *Cordulia* (11,8%), а также вид *Planorbis corneus* (10,9%). Различия отмечены в том, что только в 2023 г. в пробах присутствовали виды *Planorbis planorbis*, *Viviparus contectus*, *Lymnaea palusins*, *Lymnaea glabra*, *Pisidium*. Также для 9 видов (*Haemopis sanguisuga*, *Planorbis corneus*, *Lymnae stagnalis*, *Asellus aquaticus*, *Aeschna* sp., *Coenagrion* sp., *Notonecta glauca*, *Naucoris cimicoides*, *Dytiscus* sp.) в 2024 г. зафиксировано увеличение степени доминирования, в то время как для 3 видов (*Bithynia tentaculata*, *Lymnae auricularia*, *Limnophilus flavicornis*) – уменьшение. При этом, несмотря на некоторые колебания в степени доминирования отдельных видов, общая картина доминирующих групп в целом сохраняется.

Оценка экологического состояния оз. Мальское с использованием индекса Майера показало, что водоём в 2023 г. принадлежал к категории умеренно загрязнённых (III класс) (S = 15 баллов), в 2024 г. – грязных (IV класс) (S = 10 баллов). Это может свидетельствовать о существенном увеличении концентрации загрязняющих веществ в воде, что негативно сказывается на

макрозообентосе озера. Анализ значений индекса Вудивисси также подтверждает неудовлетворительное состояние водоёма. Так, в 2023 и 2024 гг. биотическое значение этого индекса было равно 3, что соответствует V классу качества воды (грязная вода) и указывает на наличие в озере неблагоприятных условий для большинства видов гидробионтов. Помимо этого, проведённое определение уровня сапробности воды в озере показало, что в 2024 г., по сравнению с 2023 г., происходит возрастание степени органического загрязнения. В 2023 г. значение уровня сапробности соответствует β -мезосапробной воде (2,45) (II–III класс чистоты с критической степенью органической загрязнённости), в 2024 г. – α -мезосапробной воде (2,84) (III класс чистоты с сильной степенью органической загрязнённости). Такие изменения уровня сапробности воды оз. Мальское указывают на возрастание содержания мёртвого органического вещества на дне водоёма, приводящее к понижению содержания кислорода и смене состава сообществ моллюсков.

На наш взгляд, результаты исследования экологического состояния оз. Мальское свидетельствуют об экологической деградации водоёма. Без принятия эффективных мер по снижению загрязнения озера и восстановлению его экосистемы, дальнейшее ухудшение качества воды может привести к необратимым последствиям, включая разрушение его уникальной экосистемы.

Библиографический список

1. Гривко Е. В., Ишанова О. С. Оценка состояния водных экосистем биоиндикационными и физико-химическими методами. Оренбург : ОГУ, 2013. 43 с.
2. Иванов А. Н., Петров В. П. Состояние экосистемы оз. Мальского Псковской области в условиях рекреационной нагрузки // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2015. № 1. С. 85–92.
3. Истомин А. В., Истомина Н. Б. Особо охраняемые природные территории Псковской области как основа поддержания биоразнообразия трансграничного региона // Экосистемы. 2023. № 34. С. 67–73.
4. Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2011. 219 с.
5. Хейсин Е. М. Определитель пресноводной фауны. М. : Государственное учебно-педагогическое издательство министерства просвещения РСФСР, 1962. 148 с.
6. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах : учеб. пособие для высших учебных заведений / Н. В. Зуева, Д. К. Алексеев, А. Ю. Куличенко и др. СПб. : РГГМУ, 2019. 140 с.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА ЛИГНИННЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

С. В. Фролова

*Институт химии ФИЦ Коми научного центра УрО РАН,
г. Сыктывкар, Россия, svetlanfrolova@yandex.ru*

В статье отражена проблема определения в природной воде количественного и качественного состава одного из опасных побочных продуктов деятельности предприятий целлюлозно-бумажной промышленности – лигнинных веществ. Предложено в качестве стандартов лигнинных веществ применение соединений, структура которых наиболее близка к структуре определяемых веществ.

Ключевые слова: сточные воды целлюлозно-бумажного предприятия, лигнинные вещества, методики аналитического контроля.

Проблема рационального природопользования тесно связана с задачей утилизации промышленных отходов и разработкой методов контроля состояния окружающей среды. В промышленных целях расходуется приблизительно 13% всей используемой в мире воды.

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) являются крупными источниками сброса загрязненных сточных вод. В зоне деятельности бассейнов рек Северная Двина – Печора – Вычегда предприятия ЦБП находятся на втором месте по промышленному водопотреблению после электроэнергетики. При этом сохранение качества природных поверхностных вод является важнейшим условием деятельности ЦБП. Предприятия ЦБП ориентируются на лесные ресурсы вблизи крупных водных источников. Поэтому они, в основном, размещаются в северо-западной части России. Самые полноводные северные реки питают Северный Ледовитый океан – сокровищницу чистой пресной воды. Контроль загрязнения природной воды рек Северо-Западного Региона – одна из важнейших задач сохранения водных ресурсов Арктики как для нынешнего, так и для будущего поколения.

Сточные воды ЦБП представляют собой очень сложные многокомпонентные системы, в которых содержание компонентов достигает 2500 наименований. Для 1600 из них разработаны нормы ПДК, для 90 – имеются метрологически аттестованные методики контроля. В список приоритетных для определения поллютантов в сбрасываемых водах предприятий ЦБП входят хлороформ, метанол, фенолы, серосодержащие вещества, хлорорганические вещества, ртуть, формальдегид, лигнинные вещества и др.

Различие в технологических процессах и породном составе древесины на разных предприятиях ЦБП влечет за собой неодинаковый состав побочных продуктов и, в том числе, лигнинных веществ, которые входят в список

наиболее опасных поллютантов. Доля загрязнения сточных вод целлюлозно-бумажного предприятия лигнинными веществами (до стадии их биологической очистки) порой достигает 10–25% от общего количества всех загрязнителей, регламентированных для регулярного контроля. По экотоксичности лигнинные вещества занимают второе место после хлорпроизводных. Растворимые и нерастворимые в воде лигнинные вещества биологически очищенных сточных вод ЦБП обладают токсичностью и мутагенной активностью, что указывает на их опасность для водных экосистем [1].

В водах водоемов в зоне влияния целлюлозно-бумажных производств могут встречаться различные представители лигнинных веществ. И использование единого стандартного вещества приводит либо к завышенной, либо к заниженной оценке степени загрязненности сточных вод, то есть не дает объективной оценки качества воды. Данные лабораторного контроля, основанные на многолетнем опыте использования таннина в качестве стандарта, как наиболее близкого по составу лигнинным веществам, условно подтверждают наличие лигнинных и дубильных веществ в пересчете на таннин [2].

Периодически предпринимаемые попытки усовершенствовать метод определения лигнинных веществ, в частности, для измерения массовой концентрации лигносульфоновых кислот и их солей, используя для построения градуировочной характеристики в качестве стандарта универсальный препарат промышленного производства, подтвердили неправомерность этих действий: «Продажные препараты лигнинсульфоновых соединений по своему характеру часто не соответствуют лигнинсульфоновым кислотам, получаемым из сточных вод» [3]. Для количественного определения содержания ароматических веществ в районе деятельности ЦБП и загрязнения водоемов хоть и очищенными, но все же сточными водами, необходимо использовать в качестве стандартов соединения, структура которых наиболее близка к структуре определяемых веществ.

Вопрос наличия собственного стандарта лигнинных веществ наиболее остро стоит у тех предприятий ЦБП, которые осуществляют свою деятельность в бассейне одного или смежных природных водоемов. Так, активная деятельность нескольких целлюлозно-бумажных предприятий, расположенных в разных местах протекания одной реки, и работающих в разных технологических режимах, накладывает максимальную ответственность за качество природной воды на предприятие, расположенное ниже по течению.

Решение проблемы контроля загрязнения природной воды лигнинными веществами состоит в разработке и создании индивидуальных стандартов для каждого предприятия ЦБП. Для этих целей проводится изучение особенностей деятельности предприятия, мониторинговые исследования состава и структурных особенностей сбрасываемых в природную воду загрязняющих компонентов, выделение из сбрасываемых щелоков предприятия индивидуального стандартного раствора лигнинных веществ.

Востребованность в индивидуальном стандарте предприятия оказалась высокой. Вследствие этого в Институте химии Коми НЦ УрО РАН была вы-

полнена и запатентована работа по созданию индивидуального стандартного образца [4], после чего свой собственный образец лигнинных веществ заказывали предприятия ЦБП в различных регионах России.

В Институте химии Коми НЦ УрО РАН также были разработаны две «Методики выполнения измерений массовой концентрации лигнинных веществ в природных, питьевых, сточных и очищенных сточных водах фотометрическим методом», отличающиеся чувствительностью, учетом особенностей технологических процессов ЦБП, которые регламентируют «Способ определения массовой концентрации лигнинных веществ в природных, сточных и очищенных сточных водах» с использованием стандартного образца предприятия [5, 6].

Обе методики зарегистрированы в Федеральном и отраслевом реестрах методик выполнения измерений, применяемых в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора. Они легко адаптируются для определения лигнинных веществ на любом предприятии ЦБП. А также позволяют учитывать суммарный вклад лигнинных веществ различного состава.

К настоящему времени целлюлозно-бумажные предприятия в 5 регионах Северо-Запада России для оценки загрязненности сточных и природных вод успешно используют свой уникальный стандартный образец лигнинных веществ.

Использование оригинальных стандартов лигнинных веществ и Методик аналитического контроля не ограничивается применением только в деятельности ЦБП. Они рекомендованы к использованию инспектирующими органами при государственном аналитическом контроле деятельности предприятий ЦБП.

Работа выполнена в рамках госзадания Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 125020501549-2).

Библиографический список

1. Яковлева Ю. Н. Оценка экологической опасности лигнинсодержащих соединений : спец. 03.00.16 : дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2005. 125 с.
2. Унифицированные методы исследования качества воды. Ч. 1. Методы химического анализа вод. М., 1977. 832 с.
3. ПНД Ф 14.1:2.216-06. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации лигнинсульфоновых кислот и их солей в поверхностных природных и сточных водах фотометрическим методом. М., 2006. 18 с.
4. Пат. 2784776 С1. РФ. Способ определения массовой концентрации лигнинных веществ в природных, сточных и очищенных сточных водах : заявл 12.07.2022. : опубл. 29.11.2022 / Фролова С. В., Удоратина Е. В.
5. Фролова С. В., Демин В. А. Методика выполнения измерений массовой концентрации лигнинных веществ в природных и сточных водах фотометрическим методом // Комитет РФ по стандартизации, метрологии и сертификации ВНИИМ им. Менделеева (С-Пб). МВИ 1-99. Свидетельство № 2420/100-99 от 13.03.2000.

6. Фролова С. В., Демин В. А. Методика выполнения измерений массовой концентрации лигнинных веществ в природных, питьевых, сточных и очищенных сточных водах фотометрическим методом // Комитет РФ по стандартизации, метрологии и сертификации ВНИИМ им. Менделеева (СПб.), МВИ 2-2003. Свидетельство № 242/212-03, 17.11.2003.

ПЛОЩАДЬ МЕЛКОВОДИЙ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УРОВНЯХ

О. В. Никитин¹, Н. Ю. Степанова², Р. С. Кузьмин¹, В. З. Латыпова²

¹ ООО «Экоаудит», г. Казань, Россия, olnova@mail.ru,

*² Казанский (Приволжский) федеральный университет,
г. Казань, Россия, step090660@yandex.ru*

Мелководные зоны играют важную роль в функционировании водохранилищ. При колебании уровня режима площадь мелководий может существенно изменяться, что напрямую влияет на экологическое состояние водоёма. В данной работе была оценена площадь мелководий Куйбышевского водохранилища при различных эксплуатационных уровнях.

Ключевые слова: водохранилище, Куйбышевское водохранилище, уровень воды, эксплуатационные уровни, мелководье, мелководная зона.

Мелководные зоны водохранилищ играют важную роль в поддержании биоразнообразия и устойчивости водных экосистем. Эти участки, характеризующиеся небольшой глубиной и высокой проницаемостью солнечного света, служат местами нереста, нагула и укрытия для многих видов рыб, а также важными биотопами для водоплавающих птиц, земноводных и беспозвоночных. Благодаря активным процессам фотосинтеза, мелководья являются зонами повышенной продуктивности, где формируется значительная часть органического вещества, поступающего в пищевые цепи водоёма [1, 2].

Кроме того, мелководные участки выполняют важные фильтрационные и биогеохимические функции, способствуя очистке воды от избытков биогенных элементов и загрязняющих веществ. Их растительность стабилизирует донные отложения, уменьшая эрозию берегов и заиление водохранилища. В условиях антропогенного воздействия и колебания уровня режима (например, при сезонном регулировании стока или гидроэнергетических операциях) площадь мелководий может существенно изменяться, что напрямую влияет на экологическое состояние водоёма [3, 4]. В связи с этим, получение данных о связи динамики уровней воды и площади мелководий представляется ценным и актуальным [5].

Куйбышевское водохранилище (КВ) расположено в Среднем Поволжье и Нижнем Прикамье Европейской части России. Оно было создано в 1955–1957 гг. при строительстве плотины Жигулёвской ГЭС (ранее Куйбышевская ГЭС) на р. Волге вблизи Жигулёвска и Тольятти в Самарской области. Куйбышевское водохранилище является крупнейшим в Волж-

ско-Камском каскаде и одним из крупнейших в мире. Водохранилище занимает площадь 5900 км² и имеет общую емкость 57,3 км³. Акватория КВ имеет сложную конфигурацию: на всем протяжении обширные озерные участки (15–20 км) чередуются с узкими проливами, ширина которых не превышает 3–5 км [6, 7].

Куйбышевское водохранилище является водоёмом многоцелевого назначения, вследствие чего режимы его эксплуатации представляют собой сложный многокритериальный процесс, основанный на необходимости соблюдения баланса между устойчивым функционированием водной экосистемы и удовлетворением потребностей различных отраслей хозяйства. Основным инструментом управления для этого является регулирование уровня водохранилища и поддержание уровня воды на оптимальных отметках посредством контроля расходов воды на входных створах (Чебоксарская и Нижнекамская ГЭС) и сбросов через гидротехнические сооружения Жигулёвской ГЭС. Решения о режимах сбросов принимаются на основе анализа фактической гидрологической обстановки, прогнозов приточности, а также с учетом сезонных и межгодовых изменений водного режима [3].

В настоящее время режим работы КВ устанавливается Федеральным агентством водных ресурсов Российской Федерации (Росводресурсы) на основании решения Межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы водохранилищ Волжско-Камского каскада в соответствии с действующими Основными правилами использования водных ресурсов Куйбышевского водохранилища на р. Волге, утвержденными приказом Министерства мелиорации и водного хозяйства РСФСР от 11 ноября 1983 г. № 596. В соответствии с данными правилами для КВ установлены следующие основные эксплуатационные параметры: нормальный подпорный уровень (НПУ) – 53 м Балтийской системы (м БС), минимальный навигационный уровень – 49 м БС, уровень предполоводной сработки – 48 м БС и уровень мертвого объёма (УМО) – 45,5 м БС.

Цель данной работы – оценить площадь мелководий Куйбышевского водохранилища при различных эксплуатационных уровнях.

В пределах водохранилища выделяются глубоководные и мелководные зоны. Мелководная зона определяется как участок акватории, где верхняя граница соответствует уровню воды при НПУ, а нижняя – двухметровой [6, 8] или трёхметровой [2, 5] глубине при любом уровне воды. Сезонное регулирование уровня воды приводит к изменениям площади мелководной зоны. Весной водохранилище заполняется до НПУ, который поддерживается 2–3 месяца. После этого уровень постепенно снижается к зиме, достигая отметок на 4–7 м ниже НПУ. Это приводит к значительным изменениям площади акватории, включая зоны мелководий, которые при спаде уровня воды могут сильно сокращаться.

Мелководья можно разделить на две группы: обводнённые и осушенные участки. Это разделение принципиально важно, так как осушенные мелководья представляют собой особый ландшафтный элемент, характерный для

равнинных водохранилищ. Они имеют специфический режим, уникальный грунтовый комплекс, а также отличаются формированием особой флоры и фауны. Зимой грунты осушенных участков промерзают, а летом такие зоны зарастают наземной растительностью. Важным фактором является не только величина площади затопляемых и осушаемых мелководий, но и время начала и конца этих процессов, а также общая продолжительность затопления или осушения [8].

Площадь мелководий КВ в данной работе была определена на основе данных [9], отражающих площади водной поверхности при различных отметках уровня. Обводнённые мелководья определялись как участки акватории с глубинами до 2 и 3 м от текущего уровня воды в диапазоне от 53 (НПУ) до 45 м БС (рис. А). Площадь осушенных мелководий рассчитывалась как разница между площадью водоёма при НПУ и площадью при выбранном уровне. Полученные результаты хорошо аппроксимируются полиномами второй степени.

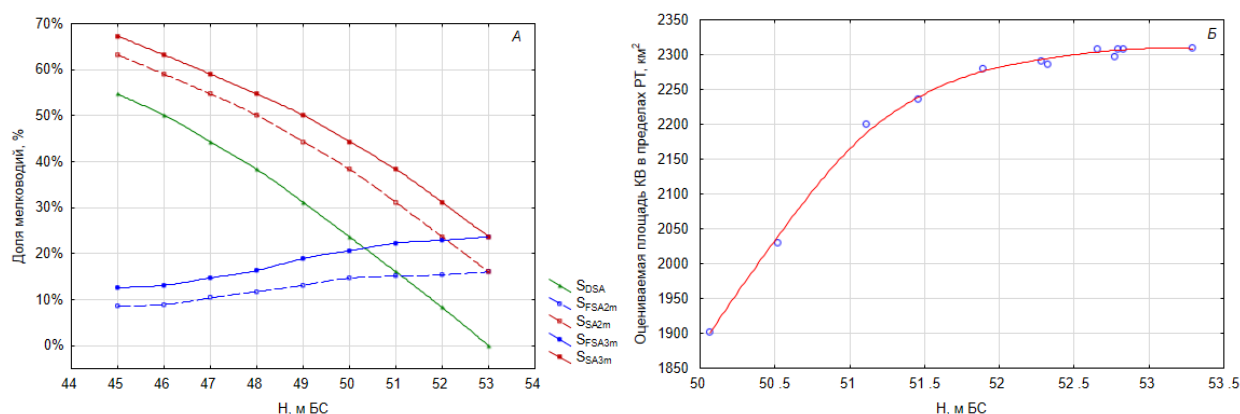


Рис. Динамика площади мелководий Куйбышевского водохранилища при разных уровнях воды (А); обозначения: S_{FSA2m}/S_{FSA3m} – обводнённые мелководья (≤ 2 м/3 м, синяя пунктирная/сплошная); S_{DSA} – осушенные мелководья (зелёная сплошная); S_{SA2m}/S_{SA3m} – общая площадь мелководий (≤ 2 м/3 м, красная пунктирная/сплошная).

Площадь акватории Куйбышевского водохранилища в пределах Республики Татарстан при разных уровнях воды по данным спутникового зондирования (Б)

Для расчёта доли литорали Куйбышевского водохранилища глубиной менее двух (S_{FSA2m}) и трёх (S_{FSA3m}) метров, а также общей доли мелководий (S_{SA2m} и S_{SA3m} , включающей осушаемые и затапливаемые участки) по гипсометрическим данным были получены следующие значимые ($p < 0,0001$) зависимости, в которых предиктором выступает уровень водохранилища (H , м БС; в диапазоне 45–53 м БС):

$$\begin{aligned} S_{FSA2m} &= 0,000105 \cdot H^2 - 0,125709 \quad (R^2 = 0,956); \\ S_{SA2m} &= -0,00301 \cdot H^2 + 0,23575 \cdot H - 3,88911 \quad (R^2 = 0,999); \\ S_{FSA3m} &= 0,000158 \cdot H^2 - 0,196457 \quad (R^2 = 0,974); \\ S_{SA3m} &= -0,00277 \cdot H^2 + 0,21812 \cdot H - 3,52897 \quad (R^2 = 0,999). \end{aligned}$$

В указанном диапазоне уровня режима доля обводнённых мелководий (S_{FSA2m} и S_{FSA3m}) в среднем составляет 13 и 18% от площади водохранилища, постепенно снижаясь с 16 и 24% при НПУ до 9 и 13% при УМО (45,5 м БС). Доля осушенных мелководий (S_{DSA}) варьируется в более широких пределах: от нулевого значения при НПУ до 55% при 45 м БС. При этом общая площадь мелководий (S_{SA2m} и S_{SA3m}) при УМО достигает значений 61 и 66%, в среднем составляя 42 и 48%. Также можно выделить акваторию с глубинами до 4 м, составляющую до трети площади водохранилища при НПУ, как потенциально наиболее активную зону пузырьковой эмиссии метана по литературным данным [10].

Доля мелководной зоны КВ относительно невелика по сравнению с другими волжскими водохранилищами. В литературе площадь мелководий при НПУ оценивается разными авторами от 10,5 до 15% общей площади, при этом отмечается, что основная часть мелководий сосредоточена в Волго-Камском и Волжском плёсах [6].

В 2019–2024 гг. уровень режим водохранилища в период открытой воды изменялся в широком диапазоне значений от 50 до 53,3 м БС, что позволило получить информацию о площади водной поверхности (определённой по индексу MNDWI [7], рис. Б) и осушаемых территориях при различных отметках уровня по данным спутникового зондирования. Например, при НПУ доля мелководий (S_{FSA3m}) в пределах Республики Татарстан составляет около 20% (от площади акватории 2310 км²).

Суточные и недельные колебания уровня воды, вызванные работой гидроузлов, также изменяют площадь акватории. Ветровые нагоны и сгоны дополняют эту картину, приводя к временным изменениям площади водного зеркала и мелководной зоны. При сильных ветрах такие изменения могут достигать десятков квадратных километров [11]. Также стоит отметить, что площади мелководных участков в водохранилищах не остаются постоянными во времени, а имеют тенденцию к увеличению. Прирост, в основном, обусловлен процессами переформирования берегов и за 10–25-летний период эксплуатации составляет 0,5–5% от их первоначальной площади, в частности для КВ прирост за 20-летний период составил 2,3% [8].

Эти динамические процессы напрямую влияют на экосистему водоёма. Мелководные участки являются важными зонами биологической продуктивности [1], особенно в период весеннего половодья [2], а также играют существенную роль в биохимических процессах, связанных с потоками углерода [10, 12, 13]. Как отмечено в рекомендациях Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) по инвентаризации [14], эмиссии парниковых газов из зон обмеления (в результате как естественного, так и искусственного регулирования уровня воды) считаются значительными и по величине на единицу площади сопоставимы с выбросами с водной поверхности [15, 16]. Поэтому такие зоны учитываются при оценке выбросов парниковых газов из затопленных территорий.

Исследование динамики площади мелководий Куйбышевского водохранилища при различных эксплуатационных уровнях позволяет оценить степень трансформации критически важных местообитаний и прогнозировать последствия для экосистемы в целом. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации управления водными ресурсами с учётом как хозяйственных, так и природоохранных задач.

Библиографический список

1. Халиуллина Л. Ю., Яковлев В. А. Фитопланктон мелководий в верховьях Куйбышевского водохранилища. Казань : Изд-во Академии наук РТ, 2015. 171 с.
2. Динамика запасов и биологические показатели основных промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища за период 2001–2021 гг., их освоение промыслом / Ф. М. Шакирова, О. К. Анохина, А. А. Смирнов, Г. Д. Валиева. DOI: 10.36038/0234-2774-2023-24-3-77-95 // Вопросы рыболовства. 2023. Т. 24. № 3. С. 77–95.
3. Качество поверхностных вод куйбышевского водохранилища в условиях различной водности / В. З. Латыпова, О. В. Никитин, Н. Ю. Степанова и др. // Российский журнал прикладной экологии. 2015. № 4 (4). С. 25–32.
4. Влияние уровня режима на естественное воспроизводство рыб Куйбышевского водохранилища / Ф. М. Шакирова, Ю. А. Северов, В. З. Латыпова и др. DOI: 10.24852/2411-7374.2021.2.23.31 // Российский журнал прикладной экологии. 2021. № 2 (26). С. 23–31.
5. Минина Л. М., Минин А. Е., Моисеев А. В. Влияние динамики уровней воды в весенний период на площадь нерестилищ и эффективность естественного воспроизводства лимнофильных видов рыб Чебоксарского водохранилища. DOI: 10.36038/2307-3497--2021-185-84-93 // Труды ВНИРО. 2021. Т. 185. С. 84–93.
6. Куйбышевское водохранилище (научно-информационный справочник) / отв. ред. Г. С. Розенберг, Л. А. Выхристюк. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2008. 123 с.
7. Пространственно-временная динамика «цветения» фитопланктона в Куйбышевском водохранилище по данным спутникового зондирования / О. В. Никитин, Н. Ю. Степанова, Т. А. Кондратьева и др. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-284-293 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 6. С. 284–293.
8. Биологические ресурсы водохранилищ / отв. ред. Н. В. Буторин, А. Г. Поддубный. М. : Наука, 1984. 277 с.
9. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Куйбышевское и Саратовское водохранилища / под ред. В. А. Знаменского, П. Ф. Чигиринского. Л. : Гидрометеиздат, 1978. 268 с.
10. Methane emissions from lakes: dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate / D. Bastviken, J. Cole, M. Pace, L. Tranvik. DOI: 10.1029/2004gb002238 // Global Biogeochemical Cycles. 2004. Vol. 18. No. 4.
11. Куйбышевское водохранилище / отв. ред. А. В. Монаков. Л. : Наука, 1983. 214 с.
12. Assessment of methane levels throughout a temperate reservoir area using remote sensing data / O. Nikitin, N. Stepanova, S. Gubeeva, et al. DOI: 10.1051/e3sconf/202455501009 // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 555. Article No. 01009.
13. Оценка содержания метана над акваторией Куйбышевского водохранилища по данным дистанционного зондирования земли / О. В. Никитин, Н. Ю. Степанова, С. К. Губеева и др. // Актуальные проблемы экологии и природопользования : сб/ трудов XXV Междунар. науч.-практ. конф. М. : РУДН, 2024. С. 397–401.

14. IPCC. 2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories / Eds. E. Calvo Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, et al. IPCC, Switzerland, 2019.
15. Surface methane emissions from different land use types during various water levels in three major drawdown areas of the Three Gorges Reservoir / L. Yang, F. Lu, X. Wang, et al. DOI: 10.1029/2011jd017362 // J. Geophys. Res. Atmos. 2012. Vol. 117.
16. Carbon dioxide emissions from the flat bottom and shallow Nam Theun 2 Reservoir: drawdown area as a neglected pathway to the atmosphere / C. Deshmukh, F. Guérin, A. Vongkhamsoo, et al. DOI: 10.5194/bg-15-1775-2018 // Biogeosciences. 2018. Vol. 15. No. 6. P. 1775–1794.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКИ ХУДОЛАЗ: ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОМ И СУЛЬФАТАМИ

**Д. Ф. Сафиуллин^{1,2}, В. И. Сафарова^{1,2}, Е. В. Фатьянова^{1,2},
Р. М. Хатмуллина^{1,2}, Г. Ф. Шайдулина¹**

¹ ГБУ РБ Управление государственного аналитического контроля,
г. Уфа, Россия, dinis_saf@bk.ru,

² Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Россия

Приведена динамика изменения концентраций сульфатов и железа в воде и донных отложениях р. Худолаз в створах, расположенных выше и ниже устья р. Карагайлы, за период 2014–2024 гг.

Ключевые слова: донные отложения, сульфаты, железо.

Юго-восточная часть Республики Башкортостан уже много лет подвергается интенсивному техногенному воздействию со стороны горно-обогатительных комбинатов (ГОК). Наиболее подвержены техногенному воздействию малые реки Южного Урала, которые являются начальными элементами бассейнов рек Урал и Обь. Их уязвимость к загрязнению обусловлена низким объёмом стока и ограниченной способностью к самоочищению. К таким рекам относятся реки Карагайлы и Худолаз, играющие ключевую роль в поддержании местных экосистем [1].

Сточные воды ГОК, содержащие тяжёлые металлы и сульфаты, оказывают негативное влияние на экологическое состояние этих рек, что ставит под угрозу сохранение их природных функций. Традиционные методы очистки промышленных сточных вод, применяемые на предприятиях, не обеспечивают достаточной защиты природных вод, что делает актуальным изучение динамики загрязнения и разработку новых подходов к минимизации антропогенной нагрузки [2]. На уровень загрязнения воды сульфатами и металлами влияет не только их количество с поступающими сточными водами, но и протекание внутриводоёмных процессов, в результате которых могут меняться значения показателя pH и окислительно-восстановительного потенциала. Изменение условий среды в водоёмах в некоторых случаях может

быть обусловлено антропогенной деятельностью, не связанной со сбросом сточных вод, но приводящей к вторичному загрязнению воды (например, расчистка русел рек).

В данной работе проведена оценка изменения концентраций сульфатов и железа в воде и донных отложениях р. Худолаз за период с 2014 по 2024 гг. в зоне влияния р. Карагайлы, много лет являющейся источником загрязнения Худолаза.

Пробы воды и донных отложений отбирались ежегодно в летнюю межень выше и ниже устья реки Карагайлы в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020. Для анализа использовались современные аналитические методы: потенциометрический метод для измерения pH, титриметрический – для определения растворённого кислорода, атомно-абсорбционная спектроскопия – для выявления концентраций тяжёлых металлов, турбидиметрический метод – для оценки содержания сульфатов. Полученные данные сравнивались с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) для водных объектов, а также рассчитывались коэффициенты накопления загрязняющих веществ в донных отложениях.

Результаты исследований выявили значительные отклонения качества воды р. Худолаз от нормативных требований и интенсивное загрязнение донных отложений на участке ниже устья р. Карагайлы. В таблице 1 представлены результаты определения основных показателей качества воды природных водотоков (pH, содержание растворённого кислорода) и содержание типичных представителей сточных вод горнорудных предприятий по переработке колчеданных руд – сульфатов и тяжёлых металлов (железа, меди и цинка).

Таблица 1

Динамика значений некоторых показателей состояния реки Худолаз

Показатели	Годы											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	ПДК
р. Худолаз выше устья реки Карагайлы												
pH, ед.	8,0	7,9	8,3	8,1	8,3	7,6	8,8	8,4	8,4	8,2	8,8	фон
O ₂ p-p, мг/дм ³	8,0	5,0	5,7	5,1	6,5	6,3	8,1	9,0	9,0	5,3	5,9	6
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	84,4	112	206	106	98	161	211	100	100	162	58	100
Fe _{общ.} , мг/дм ³	0,10	0,12	0,05	0,24	0,06	0,03	0,06	0,27	0,04	0,07	0,07	0,1
р. Худолаз ниже устья реки Карагайлы												
pH, ед.	8,1	8,0	8,1	6,8	8,1	7,7	8,8	8,6	8,6	8,3	8,8	фон
O ₂ p-p, мг/дм ³	7,0	6,0	5,6	3,9	5,6	7,1	8,0	8,5	8,5	5,0	5,7	6
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	445,2	442	333	754	276	288	318	140,6	140,6	455	157	100
Fe _{общ.} , мг/дм ³	0,32	0,12	0,05	2,9	0,44	0,05	0,11	0,13	0,05	0,10	0,10	0,1

Из таблицы 1 видно, что значения pH проб воды, отобранных выше устья реки Карагайлы, оставались стабильно щелочными (7,6–8,8) в течение всего периода наблюдений, что соответствует естественному фону. Однако ниже устья в 2017 г. зафиксировано резкое снижение водородного показателя до pH 6,8, что указывает на кислотное загрязнение воды. Наиболее вероятной

причиной снижения pH в этом створе, может быть поступление в Худолаз воды из р. Карагайлы. Следует отметить, что вода, отобранная из устья р. Карагайлы в летнюю межень 2017 г., имела следующие характеристики: pH 5,3; содержание сульфатов 1155 мг/дм³, содержание железа – 4,55 мг/дм³.

Концентрация растворённого кислорода в воде р. Худолаз в 2017 г. снижалась до критических значений: в воде фонового створа до 5,1 мг/дм³; в воде, отобранной ниже устья р. Карагайлы, – до 3,9 мг/дм³ (при ПДК 6 мг/дм³), создавая угрозу для гидробионтов. К 2021 г. наблюдалось временное улучшение кислородного режима в воде р. Худолаз (до 9 мг/дм³ выше устья и 8,5 мг/дм³ ниже устья р. Карагайлы), но к 2024 г. содержание кислорода снова снизилось до 5,0–5,7 мг/дм³ в обоих створах – выше и ниже устья р. Карагайлы.

Наиболее значительные изменения выявлены для сульфатов и железа. Ниже устья р. Карагайлы концентрации сульфатов в 1,5–7,5 раза превышали ПДК, достигая пика в 754 мг/л в 2017 г. Содержание железа в воде ниже устья варьировало в диапазоне 0,05–2,9 мг/дм³, превышая ПДК в 1,2–29 раз.

Степень негативного воздействия р. Карагайлы на качество воды р. Худолаз, выраженная в увеличении содержания сульфатов и металлов в створе ниже устья р. Карагайлы, по сравнению с фоновым створом (выше устья) отражено в таблице 2.

Таблица 2

Увеличение содержания (число раз) сульфатов и железа общего в воде реки Худолаз ниже устья р. Карагайлы

Показатель	Годы										
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
SO ₄ ²⁻	5,27	3,95	1,62	7,11	2,82	1,79	1,51	1,41	1,41	2,81	2,71
Fe _{общ.}	3,2	1	1	12,1	7,33	1,67	1,83	0,48	1,25	1,43	1,43

Максимальное увеличение концентраций сульфатов и железа в воде было установлено в 2017 г. Одной из причин значительного роста концентраций загрязняющих компонентов может быть эффект вторичного загрязнения воды.

Результаты исследований донных отложений р. Худолаз, отобранных выше и ниже устья реки Карагайлы, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Динамика значений некоторых показателей состояния донных отложений реки Худолаз

Год	Показатель					
	pH, ед.	SO ₄ ²⁻ , мг/кг	Fe _{общ.} , мг/кг	pH, ед.	SO ₄ ²⁻ , мг/кг	Fe _{общ.} , мг/кг
	выше устья реки Карагайлы			ниже устья реки Карагайлы		
	2	3	4	5	6	7
2014	7,2	718	26062	6,9	1241	31094
2015	7,8	1372	18281	7,7	3073	33125
2016	7,0	805	37148	6,9	2720	28535

1	2	3	4	5	6	7
2017	7,8	1184	24102	7,6	4157	43047
2018	7,7	1876	28164	7,7	9773	46132
2019	7,8	491	25039	7,0	1740	170898
2020	7,9	295	32617	7,6	3024	112793
2021	8,1	1765	40938	8,0	1002	130938
2022	7,8	1060	35781	7,2	8439	146250
2023	8,0	1085	31660	7,7	3885	52441
2024	7,5	910	40423	7,5	2581	37493

Донные отложения р. Худолаз, особенно в зоне впадения р. Карагайлы, выступают индикатором долгосрочного техногенного воздействия.

Водородный показатель донных отложений, отобранных в р. Худолаз выше (рН 7,0–8,1) и ниже (рН 6,9–8,0) устья р. Карагайлы соответствует их кислотно-щелочному состоянию, с явным трендом на снижение рН в створе ниже устья.

Сульфаты в донных отложениях ниже устья Карагайлы демонстрируют многократное превышение концентраций по сравнению с участком выше устья. Например, в 2018 г. их содержание достигло 9773 мг/кг (ниже устья), что в 5,2 раза выше, чем на фоновом участке (1876 мг/кг). Пиковые значения, установленные в донных отложениях р. Худолаз ниже устья р. Карагайлы, приходятся на период после резкого изменения экологического состояния р. Карагайлы.

Железо интенсивно аккумулируется в донных отложениях. Ниже устья Карагайлы в 2019 г. зафиксирован максимальный уровень содержания валового железа – 170898 мг/кг, что в 6,8 раза выше его содержания в донных отложениях, отобранных выше устья р. Карагайлы (25039 мг/кг). Такие концентрации обусловлены постоянным поступлением воды р. Карагайлы с высоким содержанием железа.

Таким образом, одним из источников загрязнения р. Худолаз является река Карагайлы – приёмник промышленных стоков горнорудного предприятия, вода которой загрязнена сульфатами и металлами, а донные отложения превратились в источник вторичного загрязнения воды. При изменении рН или окислительно-восстановительного потенциала тяжёлые металлы могут высвобождаться из донных отложений, загрязняя воду.

Из представленных данных следует, что уровень загрязнения донных отложений р. Худолаз в створе ниже устья Карагайлы в десятки – сотни раз выше по сравнению со створом выше устья.

Поскольку для донных отложений не установлены нормативы, ключевым методом оценки стало сравнение данных, полученные для донных отложений, отобранных на р. Худолаз выше и ниже устья Карагайлы с использованием коэффициента концентраций.

Коэффициент концентрации (КК) в геохимии – это ландшафтно-геохимический показатель, позволяющий судить о том, во сколько раз содержа-

ние химического элемента в почве в точке опробования отличается от его среднего содержания в почве на фоновом участке. Этот показатель был применен для оценки степени накопления загрязняющих веществ в донных отложениях р. Худолаз, которые, так же как почва, являются депонирующей средой для загрязняющих веществ.

В таблице 4 представлены расчетные коэффициенты концентрации водорастворимых сульфатов и валового железа в донных отложениях р. Худолаз, отобранных в то же время и в тех же точках, что и пробы воды.

Таблица 4

**Коэффициенты концентрации сульфатов и железа
в донных отложениях реки Худолаз**

Показатель	Годы										
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
SO ₄ ²⁻	1,73	2,24	3,38	3,51	5,2	3,54	10,3	0,57	7,96	3,58	2,84
Fe _{общ.}	1,19	1,81	0,77	1,79	1,64	6,83	3,46	3,2	4,09	1,66	0,93

Из результатов, представленных в таблице 4, следует, что значение КК железа в донных отложениях ниже устья р. Карагайлы, по сравнению с участком выше устья реки, до 2019 г. варьировало от 1,19 до 1,64. В 2019 г. наблюдается резкое увеличение содержания железа в донных отложениях ниже устья реки, и коэффициент концентрации возрастает до 6,83. Далее происходит снижение интенсивности накопления железа, что отражается снижением КК.

Закономерность изменения концентраций водорастворимых сульфатов в донных отложениях в р. Худолаз ниже устья Карагайлы иная, по сравнению с железом. Максимальное накопление сульфатов наблюдалось в 2018 г. (КК 5,2).

Экологические последствия загрязнения воды и донных отложений р. Худолаз заключаются в снижении биоразнообразия из-за токсичности тяжелых металлов для рыб и беспозвоночных, нарушением биохимических процессов в кислой среде, а также в угрозе для здоровья местного населения, использующего воду для хозяйственных нужд.

Библиографический список

1. Пашкевич М. А. Техногенные массивы и их воздействие на окружающую среду: монография. СПб. : Изд-во СПГГИ, 2000. 230 с.
2. Пешков А. М. Обоснование требований к качеству руд и техногенного сырья при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений Урала : спец. 25.00.21 : дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 160 с.

КАЧЕСТВО ВОД НИЖНЕКАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А. В. Мельникова, М. А. Гвоздарева

*Татарский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Казань, Россия,
d.bugensis@mail.ru, rita_6878@mail.ru*

Современное состояние Нижнекамского водохранилища, оцениваемое методами биоиндикации по показателям зоопланктона, соответствует «умеренно загрязненным» водам, а по зообентосу – переходному между «загрязненными» и «умеренно загрязненными».

Ключевые слова: биоиндикация, степень загрязненности, сапробность, планктонные беспозвоночные, донная фауна, р. Кама.

Существенное влияние на состояние качества вод Нижнекамского водохранилища оказывают такие крупные предприятия как: «Нижнекамскнефтехим», «Челныводоканал» и «Вода Прикамья». Основную долю в загрязнение вносят соединения марганца, меди, железа и трудноокисляемые органические соединения [1]. Летом 2017 г. на основании показателей фитопланктона качество вод оценивалось как «умеренно загрязненное» (III класс, β -мезосапробная зона), зоопланктона и зообентоса – «загрязненное» (IV класс, α -мезосапробная зона). Приплотинный и верхний плесы водохранилища по индексу сапробности характеризовались более худшим состоянием, относительно центрального плеса [2]. По показателям удельного комбинаторного индекса загрязненности вод в 2023 г. водохранилище характеризовалось как «загрязненное» [1].

Биоиндикация водных объектов по степени развития зоопланктона и зообентоса является одним из важнейших элементов в системе контроля загрязнения водной среды, поэтому изучение современного экологического состояния Нижнекамского водохранилища по гидробиологическим показателям остается актуальным.

Сбор материала проводили на Нижнекамском водохранилище в вегетационный период 2024 г. на приплотинном (в районе г. Менделеевск), центральном (у нп Красный Бор) и верхнем (у нп Каракулино и Камбарка) плесах. Пробы отбирали на прибрежных (левый и правый берега) и русловых участках. Для сбора зоопланктона использовали малую сеть Джели (диаметр верхнего кольца 12 см из газа №81), а зообентоса – дночерпатель Петерсена (площадь захвата 0,025 м²) по общепринятым методам в гидробиологии [3, 4]. В анализ были включены данные по 48 пробам зоопланктона и 80 – зообентоса.

Оценку качества вод проводили с помощью индексов видового разнообразия Шеннона по численности (H_N) и сапробности Пантле и Букк в модификации Сладечека (S). Для зообентоса так же были дополнительно применены биотический индекс Вудивисса ($БИ$) и хирономидный индекс Е. В. Ба-

лушкиной (K) [4–6]. Индикаторную значимость видов устанавливали по списку Wegl [7], помимо этого для зообентоса учитывали количество чужеродных видов [8]. Класс качества вод и степень их загрязненности определяли по «Классификации качества вод водоемов и водотоков по гидробиологическим и микробиологическим показателям» [6].

Достоверность различий значений индексов определяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA & Tukey's HSD test) с преобразованием данных в нормальное распределение по формуле $\log_{10}(x+1)$ в программе STATISTICA.

По данным 2024 г. в зоопланктоне Нижнекамского водохранилища было обнаружено 111 таксонов, относившихся к типам Rotifera (61) и Arthropoda (50). В пространственном аспекте зоопланктонное сообщество верхнего плеса характеризовалось высоким таксономическим составом – 80 единиц (Rotifera – 59%, Cladocera – 28%, Copepoda – 13%), в центральном плесе было обнаружено 67 таксонов (54, 34 и 12%, соответственно). На приплотинном участке, который в наибольшей степени испытывает колебания уровня воды, наблюдалось наименьшее таксономическое разнообразие – 41 таксон (49, 29 и 22%).

Показатели численности и биомассы зоопланктона находились на уровне 77 ± 21 тыс. экз./м³ и $0,28 \pm 0,07$ г/м³, соответственно. Наибольший вклад в их формирование вносили Rotifera (58 и 43% общих значений, соответственно). Акватория центрального плеса характеризовалась высокими количественными показателями зоопланктона (табл. 1), где группа Cladocera была представлена максимально (рис.).

Таблица 1

Пространственная динамика структурных и количественных показателей зоопланктона верхнего, центрального и приплотинного плесов Нижнекамского водохранилища по данным 2024 г.

Показатель	Пространственная динамика		
	приплотинный плес	центральный плес	верхний плес
Численность (N , тыс.экз./м ³)	14,1 $\pm$ 3,7	132 $\pm$ 60	73 $\pm$ 20
Биомасса (B , г/м ³)	0,09 $\pm$ 0,00	0,46 $\pm$ 0,20	0,24 $\pm$ 0,10
Индекс видового разнообразия Шеннона по численности (H_N , бит/экз.)	2,04 $\pm$ 0,24	2,57 $\pm$ 0,16	2,08 $\pm$ 0,12
Индекс сапробности Пантле и Букк в модификации Сладечека (S)	1,60 $\pm$ 0,03	1,58 $\pm$ 0,03	1,65 $\pm$ 0,03

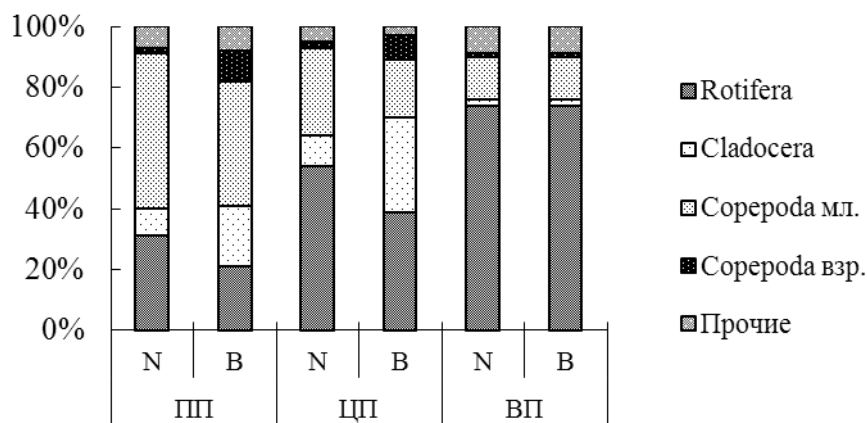


Рис. Процентное соотношение численности (N) и биомассы (B) основных таксономических групп зоопланктона Нижнекамского водохранилища в 2024 г. (ППП – приплотинный плес, ЦП – центральный плес, ВП – верхний плес)

От низовья к верховью водохранилища происходит смена лентических условий на лотические, что приводит к изменению доминирующих групп. Так, по данным 2024 г., от приплотинного участка к верхнему наблюдалось увеличение роли Rotifera ($p = 0,048$) в количественных показателях.

Загрязнение и эвтрофирование водоемов приводит к упрощению структуры сообществ гидробионтов, что отражается в снижении их разнообразия и уменьшении величины индекса Шеннона [9]. По результатам наших исследований значение H_N составило $2,22 \pm 0,10$ бит/экз., что характеризовало Нижнекамское водохранилище как мезотрофный водоем. Однако акватория приплотинного плеса, где значение H_N было наименьшим, относилась к эвтрофному типу. Водные массы центрального плеса соответствовали промежуточному состоянию от мезотрофного к олиготрофному типу (H_N был максимальным). Однако, достоверных различий значений индекса по плесам не выявлено ($p > 0,05$).

Индекс сапробности составил $1,62 \pm 0,01$ и позволил отнести водохранилище к β -мезосапробной зоне (умеренно загрязненная вода, нет стойких органических веществ, произошла полная минерализация, содержание O_2 и CO_2 изменяется в течение суток) и III классу качества вод. Значения индекса S можно соотнести с уровнем трофии [10]. В таком случае Нижнекамское водохранилище в целом характеризуется как эвтрофный водоем. Сравнительный анализ по участкам показал, что водные массы центрального плеса, где значение S было максимально приближено к верхней границе олигосапробной зоны, соответствовали переходному состоянию от мезотрофного к эвтрофному типу. Однако дисперсионный анализ методом ANOVA не показал достоверных различий данного индекса по участкам водохранилища ($p > 0,05$).

В составе зообентоса было выявлено 77 таксонов, в том числе 66 видов из групп Hydrozoa, Nematoda, Oligochaeta, Polychaeta, Hirudinea, Mollusca, Hydracarina, Ostracoda, Crustacea (Cumacea, Mysidacea и Amphipoda) и Insecta

(Odonata, Lepidoptera, Trichoptera и Diptera). Качественно богаче представлен отряд Diptera (39%) за счет семейства Chironomidae. В пространственном отношении, как и по зоопланктону, отмечалось увеличение разнообразия к верховью. В приплотинном плесе было зарегистрировано 32 таксона, в верхнем – 62.

Общая численность зообентоса составила 2497 ± 357 экз./м² при биомассе – 367 ± 90 г/м². Основу обилия формировали моллюски (45% общей численности и 99% по биомассе). Наибольшего развития донная фауна достигала в верхнем плесе (2951 ± 465 экз./м²), по биомассе – в Центральном (723 ± 239 г/м²). Минимальные показатели обилия наблюдались на приплотинном участке (1581 ± 324 экз./м² и 43 ± 26 г/м², соответственно). По плотности в низовье водохранилища доминировали ракообразные (39% значений), а в центральном и верхнем плесах – моллюски (61 и 37%, соответственно). Более 95% общей биомассы зообентоса на всех плесах приходилось на Mollusca.

Зообентос имеет существенное значение при исследовании изменений, происходящих в водоемах в результате антропогенного фактора, так как он показывает долговременные многолетние изменения. Из 77 выявленных таксонов 47 имеют сапробную валентность, среди которых чаще регистрировались β - α - (13) и β -мезосапробные (21) виды. Доминирование видов умеренного загрязнения указывает на то, что водоем обладает самоочистительной способностью.

Величины индекса разнообразия Шеннона (H_N) находились в диапазоне от 0,00 до 3,44 бит/экз. при среднем значении $1,90 \pm 0,10$ бит/экз. Относительно невысокие его показатели объясняются доминированием по численности моллюска *L. naticoides*. Согласно индексу H_N воды относятся к IV классу качества («загрязненные»).

Значения индекса сапробности (S) находились в диапазоне от 1,90 до 3,50. Без учета чужеродных видов ($S = 2,53 \pm 0,05$) воды водохранилища относились к α -мезосапробной зоне загрязнения и IV классу качества («загрязненные»), тогда как с вселенцами ($S = 2,47 \pm 0,04$) – к β -мезосапробной и III классу («умеренно загрязненные»). В целом, качество вод по S характеризовалось как переходное между указанными зонами сапробности.

По биотическому индексу Вудивисса ($БИ$), который составил $4,6 \pm 0,2$ и изменялся в пределах от 2,0 до 7,0 баллов, воды в водохранилище относились к α -мезосапробной зоне и соответствовали переходному состоянию между «умеренно загрязненные» (III класс) и «загрязненные» (IV).

По хирономидному индексу Балушкиной (K) воды водохранилища характеризовались как «загрязненные». Значение K варьировало от 0,14 до 11,50 и в среднем составило $7,1 \pm 0,4$.

В пространственном отношении по большинству рассматриваемых индексов наиболее худшее состояние отмечалось в центральном плесе, воды которого характеризовались как «загрязненные», относились к α -мезосапробной зоне и IV классу качества (табл. 2).

**Пространственное распределение значений индексов
оценки качества вод по показателям зообентоса
на Нижнекамском водохранилище в 2024 г.**

Показатель	Плеса		
	приплотинный	центральный	верхний
Индекс видового разнообразия Шеннона по численности (H_N , бит/экз.)	2,08±0,18	1,89±0,17	1,80±0,17
Индекс сапробности Пантле и Букк в модификации Сладечека (S) (S с учетом вселенцев)	2,39±0,08 (2,39±0,05)	2,64±0,12 (2,56±0,10)	2,54±0,04 (2,46±0,03)
Биотический индекс Вудивисса ($БИ$)	4,6±0,3	4,0±0,3	5,0±0,2
Хирономидный индекс Е. В. Балушкиной (K)	6,7±0,8	8,6±0,4	6,0±0,7

По данным индекса сапробности наиболее благоприятное состояние отмечалось на приплотинном участке, как при расчете с чужеродными видами, так и без них («умеренно загрязненные» и III класс). По индексу Шеннона все плеса соответствовали «загрязненным» водам (IV класс). По данным $БИ$ и K лучшее качество вод наблюдалось в верховье водохранилища – «умеренно загрязненные». Однако дисперсионный анализ показал достоверные различия значений только для индекса K между центральным и верхним плесами ($p = 0,03$).

Таким образом, в 2024 г. экологическое состояние Нижнекамского водохранилища, оцененное методами биоиндикации, характеризовалось как «умеренно загрязненное» по показателям зоопланктона, по зообентосу воды находились между «умеренно загрязненными» и «загрязненными». Полученные результаты свидетельствуют об улучшении качества вод по сравнению с 2017 г.

Анализ пространственного распределения значений рассматриваемых индексов показал, что акватория центрального плеса по показателям планктонных беспозвоночных характеризовалась более лучшим состоянием относительно других участков, тогда как по зообентосу, наоборот, – худшим. По нашему мнению, эти различия объясняются следующими факторами. Во-первых, этот плес отличается от двух других наличием широкой левобережной поймы с хорошо развитой высшей водной растительностью, которая в свою очередь служит биофильтром. Здесь создаются благоприятные условия для развития ветвистоусых ракообразных, которые также способствуют эффективному процессу самоочищения водоема, за счет фильтрационной активности. Все вышеперечисленное приводит к улучшению качества водной толщи. Во-вторых, здесь отмечается замедление скорости течения, в результате чего происходит осаждение загрязняющих органических веществ на дно, в отличие от верховья и низовья водохранилища. Верхний плес характеризуется хорошо выраженными речными условиями, приплотинный – интенсивным водообменом за счет работы гидроузла Нижнекамской ГЭС. Эти осо-

бенности препятствуют процессу осаждения и аккумуляции загрязняющих органических веществ на дне этих плесов, что находит свое отражение в развитии зообентоса и, как следствие, сказывается на результатах оценки качества вод.

Библиографический список

1. О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2023 году : государственный доклад. Казань, 2024. 400 с.
2. Оценка качества воды Нижнекамского водохранилища по гидробиологическим показателям / А. В. Мельникова, О. С. Любина, М. А. Гвоздарева и др. // Вода: химия и экология. 2019. № 3–6. С. 67–72.
3. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / под ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовского. М. : Наука, 1975. 240 с.
4. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
5. Унифицированные методы исследования качества вод // Методы биологического анализа вод. Часть III. М. : Изд-во СЭВ, 1976. 186 с.
6. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
7. Wegl R. Index für Limnosaprobität // J. Wasser und Abwasser. 1983. Vol. 26. 175 s.
8. Яковлев В. А., Латыпова В. З., Яковлева А. В. Оценка качества вод верхних плесов Куйбышевского водохранилища по зообентосу // Вода: химия и экология. 2012. № 7. С. 3–6.
9. Алимов А. Ф. Закономерности изменений структурных и функциональных характеристик сообществ гидробионтов // Гидробиологический журнал. 1995. Т. 31. № 5. С. 3–11.
10. Теоретические вопросы классификации озер / отв. ред. Н. П. Смирнова. СПб. : Наука, 1993. 185 с.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД Д. КАРЛУК ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

А. Н. Ланько, А. В. Ланько

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Институт «Сибирская школа геонаук»,
г. Иркутск, Россия, a.lanko@internet.ru*

Подземные воды формируются в основном из вод атмосферных осадков, выпадающих на земную поверхность и просачивающихся в землю на некоторую глубину из вод болот, рек, озер и водохранилищ. В данном исследовании проведён химический анализ проб подземных вод деревни Карлук. Определено качество вод с помощью расчёта индекса загрязнения воды.

Ключевые слова: химический анализ, подземные воды деревни Карлук.

Все воды земной коры, находящиеся ниже поверхности Земли в горных породах в газообразном, жидком и твёрдом состояниях, называются подзем-

ными водами [1]. Такие воды составляют часть гидросферы – водной оболочки земного шара. Они встречаются в буровых скважинах на глубине до нескольких километров. Растущая техногенная нагрузка на окружающую среду привела к тому, что подземные воды подверглись значительному загрязнению. Стремительно уменьшаются запасы питьевой воды на планете, ухудшается её качество [2, 3]. Все это сказывается на здоровье людей, разнообразии животного и растительного мира. Получение информации о химическом составе вод скважин позволит проследить характер влияния антропогенного фактора на состояние подземных вод [1, 2].

Цель исследования заключается в оценке качества подземных вод в д. Карлук Иркутского района, используемых для хозяйственных и питьевых нужд.

Объектом исследования стали подземные воды скважин д. Карлук Иркутского района [4]. Пробы были отобраны из скважин, расположенных непосредственно на территории д. Карлук. Забор воды для последующего анализа выполнялся из системы водоснабжения 2 раза: осенью 2022 г. и весной 2023 г. Первая проба воды была взята из централизованного водоснабжения (скважина глубиной 203 м [4]), вторая – из частной скважины глубиной 30 м, расположенной на территории дачного некоммерческого товарищества (ДНТ) «Пирс», прилегающей к д. Карлук (рис. 1). Отбор проб производился в чистые пластиковые бутылки объёмом 1,5 л. Обработка проб производилась в лаборатории мониторинга окружающей среды ФГПОУ ИГМТ с использованием сертифицированного оборудования.

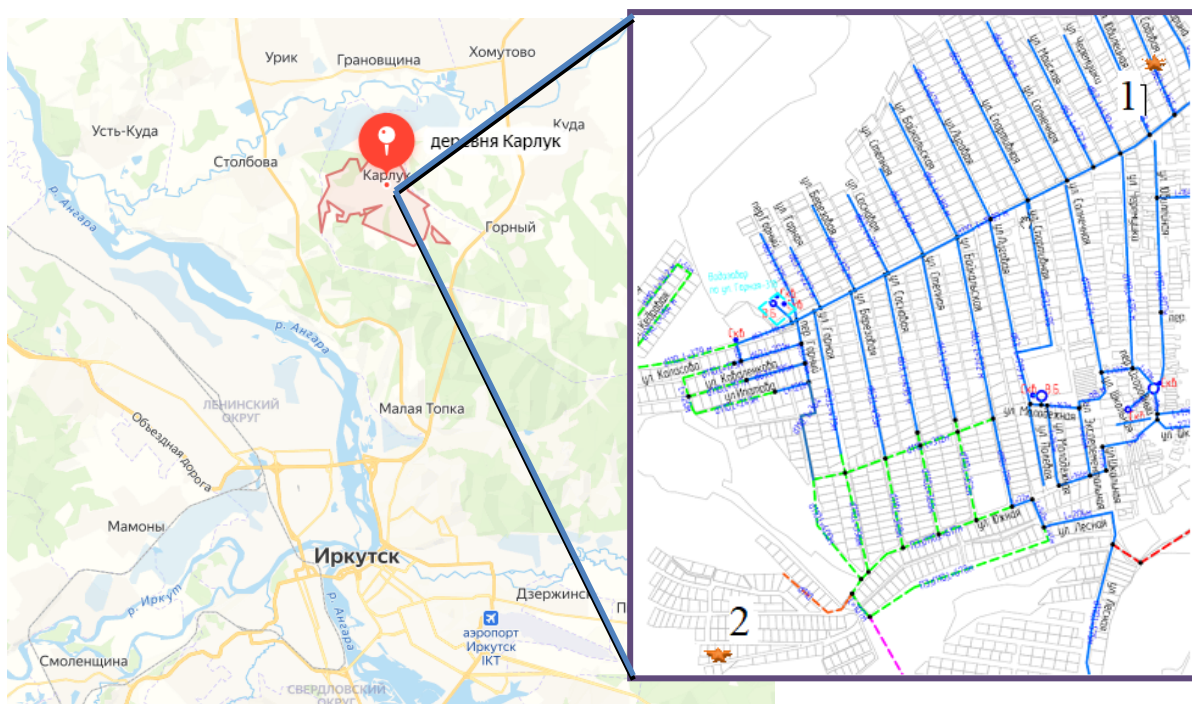


Рис. 1. Местоположение точек отбора проб подземных вод в д. Карлук

В процессе химического анализа проб использовались химические, физико-химические и расчётные методы анализа. Были определены общая

жесткость, концентрация ионов кальция, магния, хлоридов, сульфат-ионов и минерализация (сухой остаток). Физико-химическими методами с помощью спектрофотометрии определяли ионы аммония, нитриты, общее железо, фосфаты, кремний. Использовали потенциометрический метод для определения гидрокарбонат-ионов и pH раствора.

Индекс загрязнения воды (ИЗВ) рассчитывался по формуле (1) для поверхностных вод суши и проводится только по строго ограниченному количеству компонентов. Результаты анализов по каждому из показателей усредняются.

$$\text{ИЗВ} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}}{N_i}, \quad (1)$$

где C_i – концентрация компонента (в ряде случаев значение параметра); ПДК_i – предельно допустимая концентрация компонента, соответствующая определенному типу водопользования; N_i – число показателей, используемых для расчёта.

Органолептический анализ воды – это анализ воды по качествам, которые можно распознать органами чувств. К ним относятся цвет, запах, вкус, прозрачность воды. Органолептическое исследование можно провести без специальных средств и оборудования. Согласно полученным органолептическим показателям воды (табл. 1), в централизованной скважине вода прозрачная во всех образцах, в частной скважине в ноябре вода была мало-мутная, в мае прозрачная. Цветность воды во всех образцах варьируется от очень малой до малой. Запах в пробе воды из частной скважины за ноябрь составил 2 балла – слабый (запах, обнаружимый потребителем, если обратить на это внимание). Мутность не заметна (отсутствует) во всех пробах, за исключением пробы из частной скважины за ноябрь, она слабо-мутная.

Таблица 1

Органолептический анализ воды

Показатель	ЦСВ		ЧС		ПДК СанПиН 1.2.2.3685-21
	03.11.22	03.05.23	03.11.22	03.05.23	
Прозрачность (см)	35	35	25	35	прозрачная
Запах (баллы)	0	0	2	0	отсутствие ощутимого запаха (0) запах, обнаружимый потребителем, если обратить на это внимание (2)
Цветность, градус	25	25	27	25	очень малая-малая
Мутность	не заметна	не заметна	не заметна	не заметна	не заметна (отсутствует)
Температура (°C)	10,1	13,1	9,4	9,5	–

Примечание: прочерк означает, что СанПиН 1.2.3685-21 не содержит прямых указаний или нормативов, регламентирующих температуру подземных вод.

По результатам проведенного физико-химического анализа (табл. 2) можно отметить, что в обеих пробах воды за ноябрь концентрация железа превышает допустимую норму, в мае ситуация изменилась, концентрация понизилась почти до нормативных величин. Фосфаты в пробах из обеих скважин превышают предельно допустимую концентрацию в два раза. В мае так же наблюдается снижение концентраций до незначительно превышающих значений ПДК. Общая концентрация кремния, нитритов в воде во всех образцах не превышает норму ПДК. Ионы аммония также не превышают ПДК, кроме пробы, взятой в частном доме по улице Кедровой в ноябре 2022 г. Концентрация в которой имеет превышение более чем в 3 раза.

В ходе проведения химического анализа (табл. 2) было отмечено, что концентрация сульфатов в пробах составляет незначительное количество и не превышает допустимый показатель.

Таблица 2

Результаты анализа проб воды

Показатель	ЦСВ (ул. Садовая, 5)		ЧС (ул. Кедровая, 15)		ПДК СанПиН 1.2.2.3685-21
	03.11.22	03.05.23	03.11.22	03.05.23	
pH	8,05	7,45	8,35	8,45	6–9
Cl ⁻	86,62	36,92	96,56	96,56	350
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	4,4	4,3	4,6	7,2	7
Ca ²⁺	26,05	42,08	40,08	156,3	100
SO ₄ ²⁻	0,021	0,012	0,040	0,101	250
HCO ₃ ⁻	48,81	59,79	514,99	244,07	1000
Fe ³⁺	2,705	0,389	2,831	0,378	0,3
NO ₂ ⁻	0,026	0,004	0,058	0,007	3,3
NH ₄ ⁺	0,169	0,11	4,762	0,369	1,5
SiO ₂	0,041	0,172	0,317	0,412	10
PO ₄ ³⁻	7,162	3,465	7,108	3,636	3,5

Примечание: значение pH – в абс. ед, содержание ионов – в мг/дм³.

Пробы воды в скважинах имеют среднюю жесткость, близкую к мягкой воде, показатель не превышает допустимой нормы. В частной скважине за май наблюдается незначительное превышение концентраций магния и кальция. Концентрация ионов кальция в скважинах централизованного водоснабжения, как и в частной, за ноябрь не превышает норму, а в мае отмечено превышение уровня ПДК в частной скважине. Концентрация ионов магния не превышает предельно допустимую концентрацию, но следует отметить, что концентрация в частной скважине в мае увеличилась почти в 2 раза. Концентрация хлорид-иона за май в частной скважине в 2,6 раза больше чем в ноябре, в остальных пробах воды не превышает ПДК. Концентрация гидрокарбонат-иона - в пробах воды из частной скважины за май в 4 раза больше чем в ноябре. Концентрация фосфат-ионов в обеих пробах, взятых в ноябре, превышает ПДК, что может указывать на потенциальные экологические риски, связанные с сезонным влиянием антропогенных факторов. В остальных про-

бах концентрации не превышают предельно допустимых значений. Показатель рН в пробах всех скважин не выходит за пределы допустимого интервала значений 6–9. При этом следует отметить, что в централизованном водоснабжении вода более щелочная, чем в частной скважине.

Индекс ИЗВ в ноябре 2022 г. в централизованной скважине составил 2,43, в частной скважине 3,78, а в мае 2023 г. значение индекса для централизованной скважины составило 2,52, в частной скважине 2,29.

Следует отметить, что в последние годы в д. Карлук и на прилегающих к ней территориях возрастает техногенная нагрузка на окружающую среду, вследствие увеличения частного строительства, что подтверждается результатами исследования. Анализ проб показал, что подземные воды д. Карлук относятся к III и IV классу качества и характеризуется как «умеренно загрязненные», и «загрязнённые» и, следовательно, могут быть применяться только для промышленных нужд. Для использования такой воды в питьевых целях необходимо доведение ее качества до требований СанПиН 2.1.4. 1074-01 специальными методами обработки и очистки.

Библиографический список

- 1 Димакова Н. А., Шарапов Р. В. Проблема загрязнения подземных вод // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 2. С. 79–82.
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году : государственный доклад [Электронный ресурс]. – URL: <https://gosdoklad-ecology.ru/2017/geologicheskaya-sreda/podzemnye-vody/section.pdf> (дата обращения: 20.12.2024).
3. Состояние недр территории Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: https://geomonitoring.ru/gmsn_sostoyanie_nedr.html#item2 (дата обращения: 20.06.2024).
4. Актуализация схемы водоснабжения и водоотведения деревни Карлук Карлукского муниципального образования Иркутского района Иркутской области [Электронный ресурс]. – URL: <https://karluskoe.ru/wp-content/uploads/2021/04/-Shema-vodosnabzheniya-Karluk-aktualizatsiya1.pdf> (дата обращения: 20.04.2024).

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ОЗЕР БОЛЬШОЕ ГОЛУБОЕ И МАЛОЕ ГОЛУБОЕ В СЕЗОННОЙ ДИНАМИКЕ

О. В. Морозова, Д. С. Любарский

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

Для оценки качества воды оз. Большое Голубое и Малое Голубое исследована сезонная динамика численности бактериопланктона, сапрофитных и олиготрофных бактерий. По всем показателям вода в течение всего периода исследований соответствует I классу качества «условно чистая», согласно классификатору Росгидромет.

Ключевые слова: динамика численности, бактериопланктон, сапрофиты, олиготрофы, Голубые озера.

Проблема качества воды пресных водоемов приобретает все большую актуальность. Важно не только беречь водоемы, но и разрабатывать методы, позволяющие не допускать снижения качества воды в будущем. Необходим постоянный мониторинг водоемов по гидробиологическим показателям, среди которых важно учитывать показатели бактериопланктона.

Подсчет общего количества бактериопланктона дает важную информацию о трофическом статусе водоемов, о качестве воды. На показатель общей численности бактериопланктона может влиять множество факторов: температура, соленость, наличие органического вещества, развитие зоопланктона, фитопланктона и многие другие [1–3].

Такие показатели, как количество сапрофитных и олиготрофных бактерий, а также их соотношение, то есть индекс трофности, свидетельствуют о наличии органического вещества в экосистеме водных объектов. Олиготрофные бактерии развиваются при низких концентрациях органического вещества, поэтому, в чистых открытых водоемах их количество, как правило, в несколько раз превышает число сапрофитных бактерий [4].

Большое Голубое и Малое Голубое озера относятся к солоноватым карстовым водоемам и входят в систему озер природного государственного заказника «Голубые озера» (Республика Татарстан). Вода в озерах приобретает свой необычный голубой цвет в результате притока подземных вод, обогащенных сульфатами. Температура воды (6–8 °C) постоянна в течение года [5, 6].

Голубые озера являются особо охраняемой природной территорией, служат местом отдыха для жителей Республики и входят в туристско-рекреационный кластер «Зеркала Татарстана».

Необходимость мониторинга экологического состояния Голубых озер не вызывает сомнений. Целью данного исследования является определение качества воды оз. Большое Голубое и Малое Голубое по микробиологическим показателям в сезонной динамике.

Пробы воды отбирались ежемесячно с декабря 2023 г. по сентябрь 2024 г. на трех станциях озера Большое Голубое и двух станциях озера Малое Голубое.

Общее количество бактериопланктона определяли методом прямого счета на мембранных фильтрах [7]. Численность сапрофитных и олиготрофных бактерий на среде СПА и среде Горбенко соответственно [4]. Индекс трофности вычисляли как отношение количеств олиготрофов и сапрофитов.

Качество воды оценивалось по общей численности бактериопланктона, численности сапрофитов и по их соотношению, согласно методике, представленной в нормативном документе [8].

Установлено, что численность бактериопланктона оз. Большое Голубое в целом не превышает 1 млн кл/мл, небольшое повышение численности наблюдается в марте, в мае и в августе (рис. 1). При этом численность сапрофитных бактерий также всегда низкая, в основном, ниже 100 кл/мл, за исключением марта, когда их численность повышается до 200 кл/мл. Показатели соотношения общего количества бактериопланктона и сапрофитов остаются высокими и составляют 10^4 , снижение этого показателя в марте до 10^3 не сказывается на качестве воды. Состояние воды, согласно классификации Росгидромет, оценивается как «условно чистая».

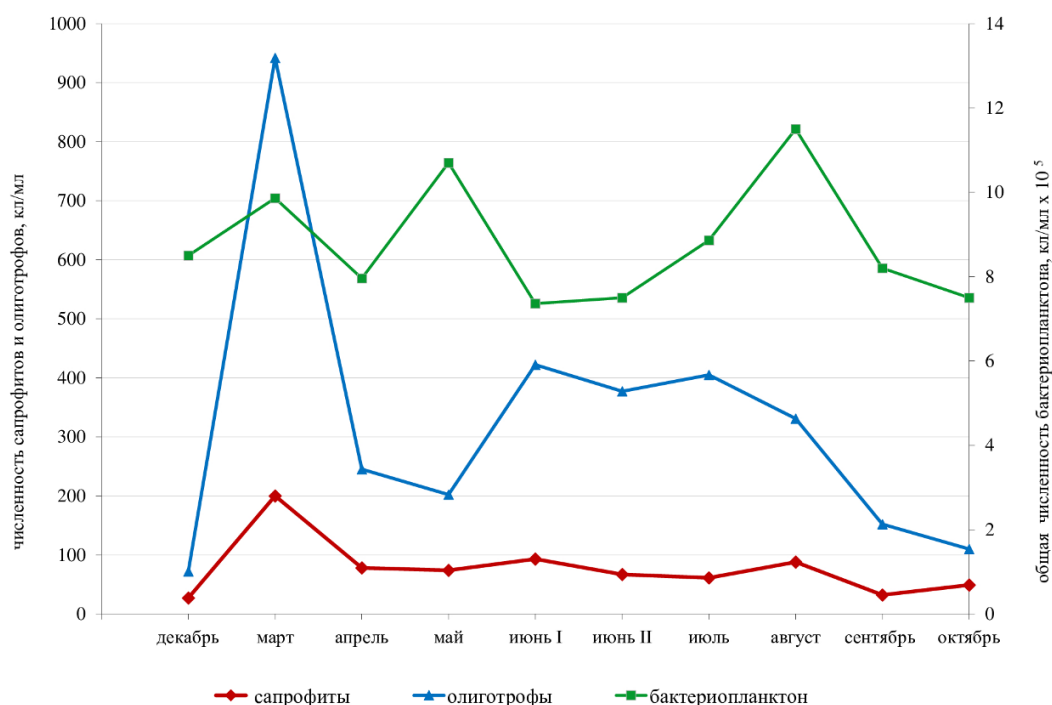


Рис. 1. Численность сапрофитных, олиготрофных бактерий и общее количество бактериопланктона в оз. Большое Голубое

Количество олиготрофных бактерий в среднем в 4 раза превышает число сапрофитов, такие высокие индексы трофности также свидетельствуют о чистоте воды оз. Большое Голубое.

В воде оз. Малое Голубое численность бактериопланктона в целом также не превышает 1 млн кл/мл, небольшое повышение численности наблюдается в январе, в мае и в конце июня (рис. 2). При этом численность сапрофитных бактерий очень низкая, ниже 100 кл/мл, немного повышается она только в январе, но все равно остается ниже 1000 кл/мл. Повышение численности бактериопланктона не сказывается на качестве воды, поскольку численность сапрофитов остается низкой. Показатели соотношения общего количества бактериопланктона и сапрофитов также достигают высоких значений и составляют 10^4 . Только в январе, при небольшом увеличении роста сапрофитных бактерий и невысокой численности бактериопланктона, этот показатель снижается до 10^3 .

Состояние воды, согласно классификации Росгидромет, оценивается, как «условно чистая».

На высокое качество воды оз. Малое Голубое также указывает преобладание олиготрофных бактерий в составе бактериопланктона, индекс трофности в среднем равен 4.

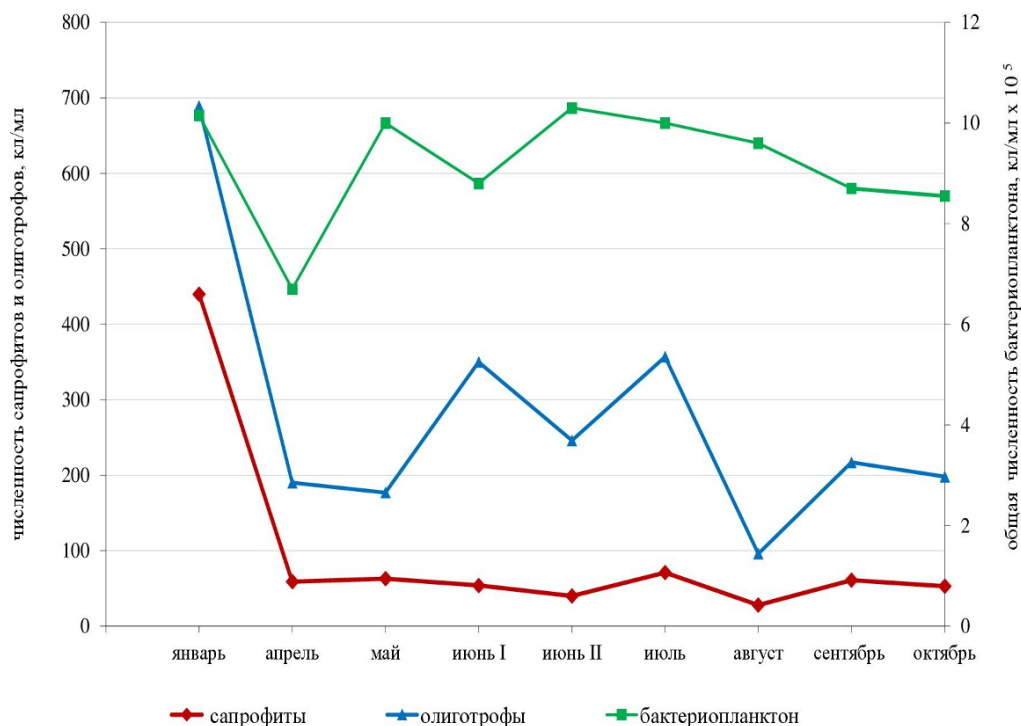


Рис. 2. Численность сапрофитных, олиготрофных бактерий и общее количество бактериопланктона в оз. Малое Голубое

В составе бактериопланктона численность олиготрофных бактерий, развивающихся при низкой концентрации органического вещества, превышает в несколько раз число сапрофитных бактерий, растущих при высокой концентрации органического вещества, что характерно для чистых водоемов.

Небольшое увеличение количества сапрофитов при низких значениях общего числа бактериопланктона зимой в Малом Голубом озере и ранней весной в Большом Голубом озере связано с замедлением в зимний период бактериальных процессов, ответственных за процессы самоочищения, что приводит к незначительному накоплению органического вещества в экосистемах водоемов.

Эти изменения не отражаются на качестве воды Голубых озер. Качество воды озер Большое голубое и Малое Голубое в течение всего периода наблюдений оценивается как «условно чистая».

Библиографический список

1. Bacterial dynamics and their influence on the biogeochemical cycles in a subtropical hypereutrophic lake during the rainy season / O. Diaz-Torres, O. Y. Lugo-Melchor, J. de Anda, et al. DOI: 10.3389/fmicb.2022.832477 // Frontiers in Microbiology. 2022. Vol. 13. P. 832477.

2. Сезонная динамика численности метаболически активного бактериопланктона на участках реки Москвы с разным уровнем биогенной нагрузки / А. Ю. Акулова, И. В. Мошарова, К. П. Хазанова, Л. И. Голдобина // 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. 80–82.
3. Сеченова А. В. Худокормов А. А. Сезонная динамика численности и биомассы бактериопланктона Покровских озер // Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий : материалы XXXVI межрегиональной науч. прак. конф. Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2023. С. 84–86.
4. Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микроорганизмов. М. : Наука, 1989. 288 с.
5. Токинова Р. П. Любарский Д. С. Флора и растительность солоноватых водоемов природного заказника «Голубые озера» (Среднее Поволжье). DOI: 10.1134/S0006813619100119 // Ботанический журнал. 2019. Т. 104. № 10. С. 1499–1513.
6. Уникальные экосистемы солоноватоводных карстовых озер Среднего Поволжья / под ред. А. Ф. Алимов, Н. М. Мингазова. Казань : Изд-во Казанского университета, 2001. 256 с.
7. Morozova O. V., Ratushnyak A. A., Trushin M. V. Participation of planktonic and benthic bacteria in the polyphosphate-accumulating process in mesocosms contaminated with phosphate and nitrate. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2012.19.01.64182 // World applied science journal. 2012. No. 1. P. 12–19.
8. РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши: действ. с 20.12.2016. Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2016.

ВЫЯВЛЕНИЕ ВАНКОМИЦИН-РЕЗИСТЕНТНЫХ ЭНТЕРОКОККОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМАХ И СТОЧНЫХ ВОДАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*Д. А. Седова^{1,2}, Е. А. Егорова¹, Л. Е. Хмелевцова¹,
И. С. Березинская³, М. А. Сазыкина¹*

¹ Южный федеральный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия, darsedova@sfedu.ru,

² Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия,

³ ФБУН «Ростовский НИИ микробиологии и паразитологии»
Роспотребнадзора, г. Ростов-на-Дону, Россия

Проблема распространения в объектах окружающей среды энтерококков с множественной лекарственной устойчивостью представляет особый интерес. В данной работе проведен анализ устойчивости 24 штаммов энтерококков, выделенных из сточных вод и поверхностных водоемов в акватории ряда городов Ростовской области. Обнаружены штаммы энтерококков, устойчивые к ванкомицину и линезолиду, а также, выявлены гены устойчивости к ванкомицину (*vanA*, *vanB*) и метициллину (*mecA*).

Ключевые слова: антибиотикорезистентность, энтерококки, сточные воды, канализация, очистные сооружения.

Бактерии рода *Enterococcus* являются комменсальными микроорганизмами желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) человека и некоторых животных. Являясь представителями нормальной микрофлоры ЖКТ, виды *Enterococcus* используются в качестве фекальных индикаторов для контроля качества воды [1]. Многие виды энтерококков являются условно-патогенными микроорганизмами и вызывают оппортунистические инфекции, такие как внутрибольничная бактериемия, инфекции мочевыводящих путей, раневые инфекции и т. д. Смертность от энтерококковых инфекций зачастую связана с их устойчивостью к антибиотикам. Виды *Enterococcus faecalis* и *Enterococcus faecium* входят в группу микроорганизмов ESKAPE (*Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterobacter* spp.), за которыми идет приоритетный мониторинг антибиотикорезистентности. Основной проблемой для здравоохранения является распространение ванкомицин-резистентных энтерококков (Vancomycin resistant enterococci – VRE). Ванкомицин является гликопептидным антибиотиком и резервным препаратом при энтерококковой инфекции из-за устойчивости к другим антибиотикам (например, при метицеллин-резистентных инфекциях) [2].

Штаммы VRE выявлялись на разных этапах очистки сточных вод на очистных сооружениях канализации (ОСК), в том числе, в конечных сточных водах. ОСК являются важным источником штаммов энтерококков, несущих детерминанты устойчивости. Сточные воды, как правило, сбрасываются в поверхностные водоемы, таким образом, VRE распространяются далее по течению, создавая дополнительный риск для здоровья населения [3].

Таким образом, целью данной работы стало определение чувствительности энтерококков, выделенных на разных этапах очистки сточных вод и из воды поверхностных водоемов, к антимикробным препаратам, а также, выявление генов резистентности к ванкомицину.

В пробах городской канализации, поступающей на ОСК, сточных вод после прохождения полного комплекса очистки и воде рек Дон и Темерник, обнаруживали бактерии рода *Enterococcus*. Определение и идентификацию проводили согласно МУК 4.2.1884-04 [4]. Затем выполняли масс-спектрометрический анализ с использованием MALDI TOF масс-спектрометра Microflex с программным обеспечением MALDI Biotyper.

Чувствительность к 9 антибактериальным препаратам (АБП) определяли диско-диффузионным методом согласно МУК 4.2.1890-04 на агаре Мюллера-Хинтон [5]. Список АБП: бензилпенициллин (ПЕН), ампициллин (АМП), левомицетин (ЛЕВ), ципрофлоксацин (ЦИП), левофлоксацин (ЛФЦ), нитрофурантоин (НИТ), ванкомицин (ВА), линезолид (ЛЗД), эритромицин (ЭРН).

Бактериальную ДНК выделяли в соответствии с методикой [6]. Концентрацию полученной ДНК оценивали на флуориметре «Qubit 4», для дальнейших ПЦР исследований ДНК разбавляли до концентрации 5 нг/мкл. Состав смеси для ПЦР-РВ объемом 25 мкл содержал: 10 мкл 2,5х реакционной смеси для проведения ПЦР-РВ в присутствии красителя EVA Green (Синтол), 1 мкл прямого и 1 мкл обратного праймера в концентрации 10 мкМ (Евроген), 8 мкл dH₂O, 5 мкл ДНК-матрицы (5 нг/мкл). Амплификацию проводили в приборе «ДТпрайм» (ДНК-технология). Результаты амплификации анализировали по каналу FAM.

Видовой состав был представлен следующими видами: *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. casseliflavus*, *E. mundtii*, *E. canintestini*, *E. hirae*. Чаще всего выделялись штаммы вида *E. faecalis* (15 штаммов), единичные штаммы идентифицированы как виды *E. faecium*, *E. casseliflavus*, *E. mundtii*, *E. canintestini*, *E. hirae*, у 3 штаммов не определен вид.

Изучение фенотипической устойчивости энтерококков к исследуемым АБП показало, что больше половины (50,0–54%) обладали устойчивостью в отношении фторхинолонов (ЦИП, ЛЕВ). К АМП, ЛЕВ, НИТ и ВА уровень резистентности был средним (25–38% устойчивых штаммов). Наименьшее число изучаемых штаммов энтерококков обладало резистентностью к ПЕН, ЛЗД и ЭРН (8–17%). Максимальное значение индекса множественной антибиотикорезистентности MAR (multiple antibiotic resistance) составило 0,89 у одного штамма *E. faecalis*, выделенного из сточных вод, который одновременно был устойчив к 8 из 9 исследуемых АБП.

Изучение резистома выделенных штаммов энтерококков показало распространение детерминант резистентности (*vanA*, *vanB*, *mecA*) у половины исследуемых штаммов. Все штаммы энтерококков, выделенные из воды поверхностных водоемов, содержали *vanA*, что составило 29% от общего числа штаммов. По две детерминанты устойчивости содержали 13% штаммов.

Вызывает беспокойство распространение в воде поверхностных сточных водах VRE, мультирезистентных штаммов, имеющих АРГ (гены антибиотикорезистентности), ассоциированные с устойчивостью к данному АБП. Причем устойчивые штаммы выделялись как из канализационных, так и из сточных вод после прохождения всех этапов очистки на ОСК. Это означает, что эффективность очистки не позволяет в полной мере элиминировать резистентные штаммы и создаются определенные риски для их распространения в водной среде в местах сброса сточных вод.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2024–0026.

Библиографический список

1. Седова Д. А., Морозова М. А. Обнаружение мультирезистентных штаммов энтерококков в сточных водах Ростовской области // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВГУ, 2023. С. 264–268.

2. Virulence profiles of vancomycin-resistant enterococci isolated from surface and ground water utilized by humans in the North West Province, South Africa: a public health perspective / D. P. Matlou, M. E. A. Bissong, C. K. Tchatchouang, et al. DOI: 10.1007/s11356-019-04836-5 // Environ. Sci. Pollut. Res. 2019. Vol. 26. P. 15105–15114
3. Selim S. Mechanisms of gram-positive vancomycin resistance (Review). DOI: 10.3892/br.2021.1490 // Biomedical Reports. 2021. Vol. 16. No. 1. Article No. 7.
4. МУК 4.2.1884-04 Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов: действ. с 04.03.2004. М. : ФГУП «Стандартинформ», 2000. – URL: <https://media.reatrack.ru/attachments.pdf> (дата обращения: 29.03.2024).
5. МУК 4.2.1890-04 Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам: действ. с 04.03.2004. М. : Минздрав, 2004. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293754/4293754463.pdf> (дата обращения: 29.03.2024).
6. Пат. 2 696 052. РФ, МПК C12N 15/10 (2006.01). Способ выделения ДНК из почвы: № 2018140149: заявл.13.11.2018: опубл. 30.07.2019 / Сазыкина М. А., Сазыкин И. С., Селиверстова Е. Ю., Хмелевцова Л. Е. 13 с.

МЕДИАТОРНЫЙ БИОСЕНСОР НА ОСНОВЕ БИОПЛЕНКИ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДЕКСА БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

Р. Н. Перчиков, В. А. Арлянов

*Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия, r.n.perchikov@tsu.tula.ru*

В статье описан подход к формированию биоплёнок для определения биохимического потребления кислорода (БПК), на основе бактерий, выделенных из активного ила и дрожжей. Проведён сравнительный анализ разработанного биосенсора на основе *Pseudomonas veronii*, который показал высокую корреляцию ($R^2 = 0,9820$) со стандартным методом оценки БПК₅.

Ключевые слова: биосенсор, биоплёнка, биохимическое потребление кислорода (БПК), *Pseudomonas veronii*, *Saccharomyces cerevisiae*.

На фоне устойчивого роста антропогенной нагрузки, обусловленной увеличением численности населения и развитием промышленности количество органических веществ, попадающих в водоемы, постоянно увеличивается [1]. Избыточное поступление органического углерода провоцирует деградацию водных экосистем, что приводит к ухудшению качества воды и ограничивает её использование для питьевого водоснабжения и рекреационных целей [2]. Биохимическое потребление кислорода (БПК) является ключевым параметром, характеризующим степень загрязнения водной среды. В аэробных условиях микроорганизмы окисляют органические вещества, потребляя растворённый кислород, что легло в основу стандартного метода оценки БПК. Данный подход предполагает измерение количества кислорода, израсхо-

ванного в ходе биохимических процессов в течение фиксированного интервала времени (5, 7 или более суток) при строго контролируемых условиях: температуре (20 ± 1) °С и отсутствии освещения [3]. Однако традиционный тест проводимый 5 суток обладает рядом существенных ограничений, включая высокую вариабельность результатов (более 20%), обусловленную различиями в видовом составе микробных консорциумов, а также методическими сложностями проведения анализа. Кроме того, метод отличается значительной трудоёмкостью, требует привлечения квалифицированного персонала и не поддаётся автоматизации в режиме реального времени.

Важно отметить, что сфера применения метода БПК не ограничивается оценкой качества природных вод. В соответствии с нормативными требованиями, он также используется для контроля эффективности работы очистных сооружений и мониторинга состава сточных вод [4]. Указанные недостатки и практические задачи подчеркивают необходимость разработки альтернативных экспресс-методов определения БПК. Использование биоплёнок микроорганизмов является актуальным и современным подходом к формированию биосенсоров, так как они обладают устойчивостью к внешним негативным факторам и зачастую имеют более длительную долговременную стабильность по сравнению с суспензией микроорганизмов [5]. Поэтому целью данной работы стало формирование биоплёнок микроорганизмов *Pseudomonas veronii* ВКМ В-3835 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* ВКМ У-1173 на поверхности графито-пастовых электродов, модифицированных ферроценом, для определения БПК₅.

Рабочий графито-пастовый электрод формировали, забивая приготовленной графитовой пастой пластиковую трубку, рабочая поверхность которой составляла 6,3 мм². Рабочую площадь электрода механически полировали. Для модификации рабочего электрода навеску ферроцена (10 мг) растворяли в 500 мкл ацетона и добавляли к 90 мг графитовой пудры («Fluka», Германия).

Для формирования электродов с использованием биопленок модифицированный электрод помещали в стерильные пробирки, содержащие питательную среду Лурия Бертани (LB) 15 см³ для культур *Pseudomonas veronii* и пептонно-дрожжевую среду для *Saccharomyces cerevisiae*. Формирование биоплёнки проводили при температуре 28 °С. Для фиксации микроорганизмов на поверхности электрода использовали диализную мембрану с пределом пропускания 14 кДа («Roth», Германия), закреплённую при помощи пластикового кольца.

Электрохимические измерения проводили при помощи гальвано-потенциостата «IPC-micro» (ООО НТФ Вольт, Санкт-Петербург) с персональным компьютером. Рабочий потенциал составлял +250 мВ. Измерения проводили при температуре 20 °С; объем кюветы для измерений составлял 5 см³. При этом происходило непрерывное перемешивание раствора с помощью магнитной мешалки. После установления стационарного уровня тока в ячейку вводили исследуемое соединение в различных объёмах для получения необходимой концентрации. После каждого измерения ячейку промывали

калий-натрий-фосфатным буферным раствором $pH = 6,8$. Аналитическим сигналом являлась амплитуда изменения силы тока, определяемая как разность между конечным и начальным значениями токов до и после введения исследуемого соединения в измерительную ячейку (рис. 1).

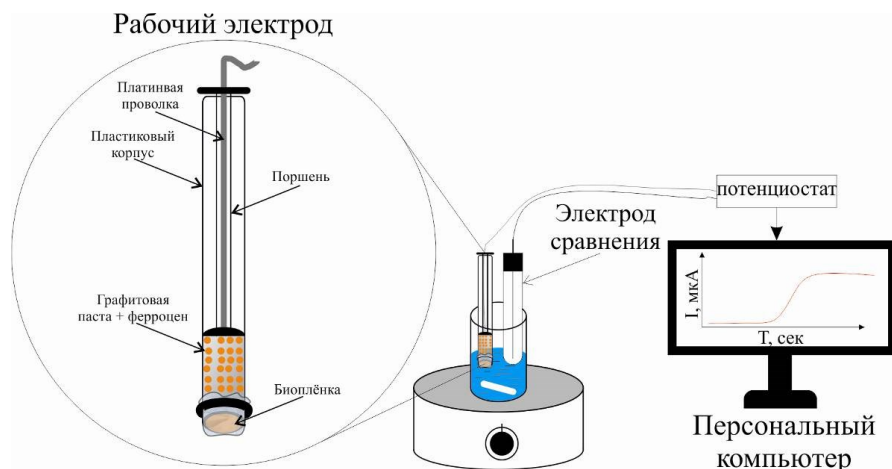


Рис. 1. Схема установки биосенсора на основе графито-пастового электрода с медиатором ферроценом и биоплёнкой микроорганизмов

Для оценки БПК₅ разработанный биосенсор должен регистрировать биохимическое окисление широкого спектра органических субстратов, поэтому была определена субстратная специфичность сформированных биосенсоров. На рисунке 2 представлены полученные результаты.

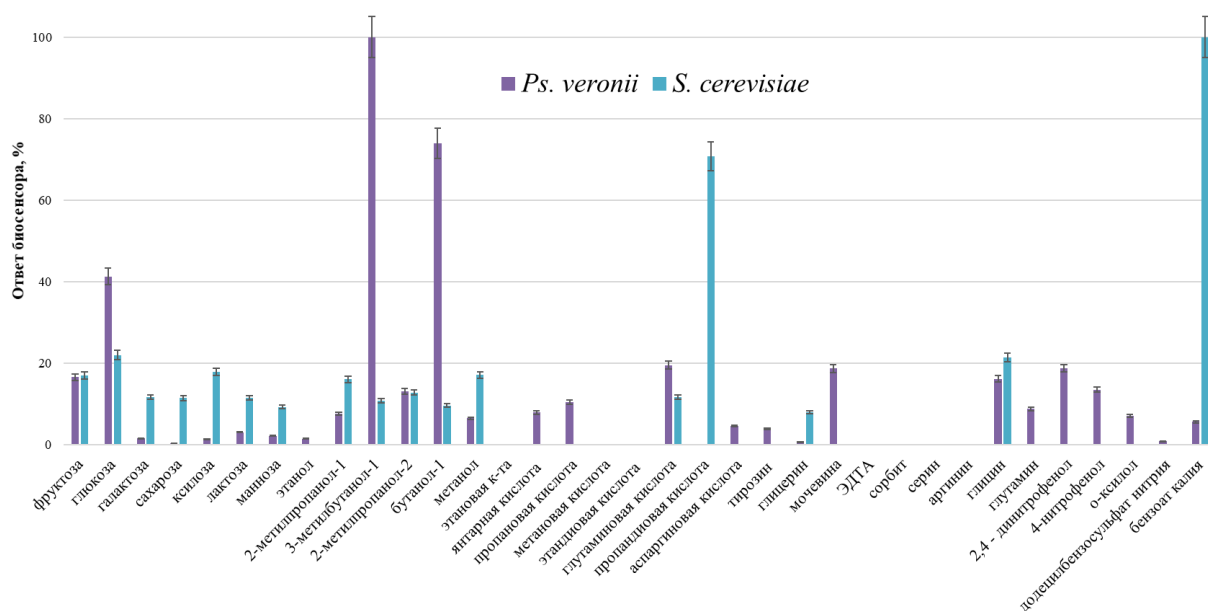


Рис. 2. Субстратная специфичность для биоплёнок микроорганизмов сформированных на графито-пастовом электроде, модифицированном медиатором ферроценом

Из представленных данных видно, что количество окисляемых микроорганизмами субстратов изменяется при образовании биопленки. Особенно

этот эффект заметен для двух используемых бактериальных микроорганизмов *P. veronii* и *S. cerevisiae*. В целом, нужно отметить, что наибольшим количеством окисляемых субстратов обладает рецепторная система на основе биопленки бактерий *P. veronii*, что делает её перспективной для создания БПК-биосенсора. Дрожжи *S. cerevisiae* ввиду их достаточно узкого спектра окисляемых субстратов не использовались для создания рецепторного элемента.

БПК₅ природных проб измеряли по стандартным методикам [4]. Для измерения содержания растворенного кислорода использовали термооксиметр БПК ЭКСПЕРТ-001-4.0.1 (ООО «Эконикс-эксперт», Россия). Для апробации биосенсора было использовано 10 образцов пресной и сточной воды. Для отбора проб и определения БПК₅ использовалась стандартная процедура в соответствии с последними нормативными документами (рис. 3).

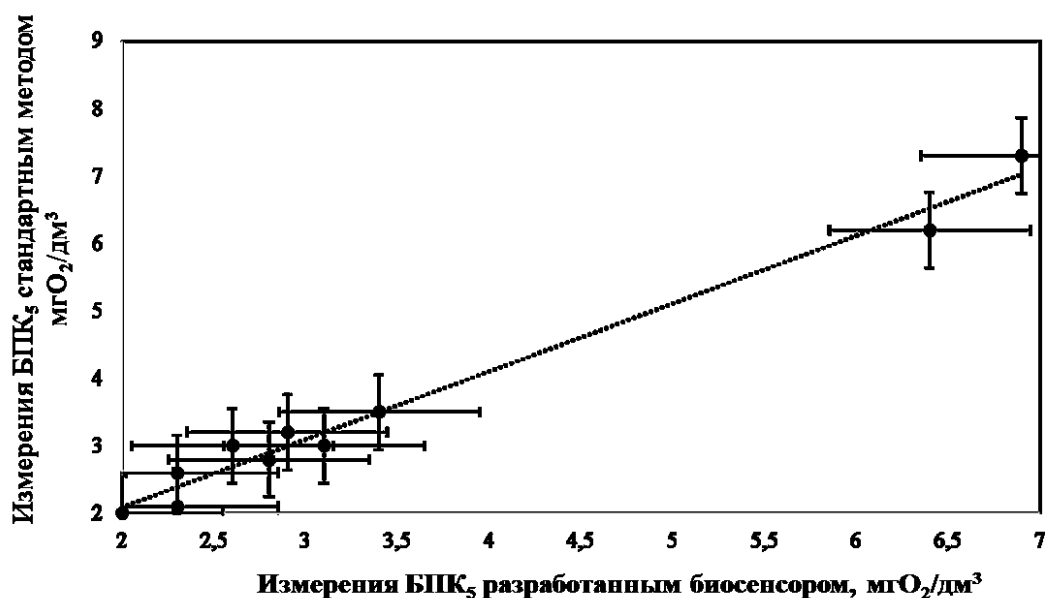


Рис. 3. Линейная зависимость результатов анализа БПК₅ стандартным методом и с использованием биосенсора на основе биопленки *P. veronii*

Статистическая обработка (модифицированный тест Стьюдента) полученных результатов показала, что данные, полученные обоими методами, незначимо отличаются. Разработанный биосенсор можно использовать в качестве альтернативы стандартному анализу.

В данном исследовании предлагается использование биопленок на основе двух микроорганизмов: бактерий, выделенных из активного ила – *P. veronii*, и дрожжей *S. cerevisiae* для формирования рецепторного элемента БПК-биосенсора. Биоплёнки бактерий демонстрируют более широкую субстратную специфичность, что позволяет их использовать для формирования БПК датчиков.

Высокая корреляция результатов стандартного анализа БПК₅ и с помощью биосенсоров на основе биопленки *P. veronii* ($R^2 = 0,9820$, $n = 9$) в пер-

спективе позволит их использовать в качестве прототипов экспресс-устройств мониторинга БПК₅ и серийного выпуска.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Тульской области, договор № ДС/168.

Библиографический список

1. China's improving inland surface water quality since 2003 / T. Ma, N. Zhao, Y. Ni, et al. DOI: 10.1126/sciadv.aau3798 // Sci. Adv. 2020. Vol. 6. No. 1. Article No. eaau3798.
2. Correcting a major error in assessing organic carbon pollution in natural waters / N. Jiao, J. Liu, B. Edwards, et al. DOI:10.1126/sciadv.abc7318 // Sci. Adv. 2021. Vol. 7. Article No. eabc7318.
3. Resilience of anodic biofilm in microbial fuel cell biosensor for BOD monitoring of urban wastewater / A. Salvian, D. Farkas, M. Ramirez-Moreno, et al. DOI: 10.1038/s41545-024-00350-5 // npj Clean Water. 2024. Vol. 7. No. 1. Article No. 53.
4. ISO 5815–1 : 2003. Water quality: determination of biochemical oxygen demand after *n* days (BOD_n), Part 1: Dilution and seeding method with allylthiourea addition [Internet resource]. – URL: <https://cdn.termexlab.ru/files/230a24f1/e298/4123/9571/a92b8cdd01f6.pdf> (assessed: 03.03.2025)
5. Microbial biofilms: features of formation and potential for use in bioelectrochemical devices / R. Perchikov, M. Cheliukanov, Y. Plekhanova, et al. DOI: 10.3390/bios14060302 // Biosensors. 2024. Vol. 14. Article No. 6. Article No. 302.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА КАМЕНИК ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ВОДНОЙ И ПРИБРЕЖНО-ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Ю. В. Ноздрина, А. С. Дюкова

*Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия,
nozdrina.julia2017@yandex.ru; kaf_bio@ksu.edu.ru*

В статье приводятся исследования экологического состояния озера Каменик по показателям водной и прибрежно-водной растительности, проведен таксономический и эколого-ценотический анализ. На основе анализа представлен флористический состав и жизненные формы изученных растений.

Ключевые слова: макрофиты, озеро Каменик, таксономическая структура, флористический состав, жизненные формы, индикаторы, эколого-ценотический анализ.

Одним из основных компонентов водных экосистем являются макрофиты, или высшие водные растения – мхи и сосудистые растения, нормально развивающиеся в условиях водной среды и избыточного увлажнения, обитающие как в воде, так и в прибрежной зоне [1].

Сообщества макрофитов расцениваются, в целом, как ключевой индикатор экологического статуса озер и среда обитания для многих других групп водных организмов. Макрофиты чутко реагируют на колебания химического

состава воды, кислотности, температуры, прозрачности. По ним можно определить не только качество воды, но и состояние гидроэкосистемы в целом [2].

Высшая водная растительность озёр приспособлена к естественному гидрологическому режиму водоема, характеризующемуся изменением внутри года и за многолетний период [3]. В течение года изменяются уровень воды озера и его водообмен, достигающие наибольших значений в период весеннего половодья, а также в период интенсивных ливней. Даже при значительных внутривековых колебаниях уровней озёр, приводящих к их пересыханию, при новом наполнении водоема начинает бурно развиваться настоящая водная растительность [4].

Исследования экологического состояния озера Каменик проводились в летний период 2024 г. Озеро расположено в Костромской области Верхневолжского бассейна в пределах Костромской низменности (бассейн рек Кострома, Костромка и Узакса). Площадь зеркала озера составляет 2,8–2,9 км² и может колебаться в зависимости от сезона. Длина озера 2,2 км, а ширина в самом большом месте достигает 1 км.

Было заложено 14 геоботанических площадок (размером 5 м × 5 м – прибрежно-водные, 2 м × 2 м / 1 м × 1 м – водные) в наиболее характерных местах с однородными экологическими условиями.

В результате проведенных исследований было выявлено 19 видов растений, относящихся к 16 родам, 11 семействам и 3 классам (рис.). Максимальным количеством видов был представлен класс Однодольных, минимальным – класс Хвощовые.



Рис. Соотношение групп растений озера Каменик, %

Как показано на рисунке, большинство макрофитов принадлежат к классу Однодольных, представлены 13 видами (68,4%). Наиболее часто встречаются рдест блестящий (*Potamogeton lucens* L.), рогоз узколистный (*Typha angustifolia* L.), представители семейства осоковых (Cyperaceae), Рясковых (Lemnaceae), а также камыш озерный (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla) и водокрас лягушачий (*Hydrocharis morsus-ranae* L.). Класс Двудольных представлен 5 видами (26,3%), из которых чаще других встречается кубышка жёлтая (*Nuphar lutea* (L.) Sm.) и шелковник неукореняющийся (*Ranunculus*

confervoides (Fr.) Fr.). Класс Хвощевых представлен единственным видом (5,3%) – хвощом приречным (*Equisetum fluviatile* L.).

Водные растения различаются по своему положению в озере. Некоторые из них полностью погружены в воду (элодея, рдест, роголистник). Другие погружаются в воду только своей нижней частью (хвощ, тростник). Есть и такие, которые свободно плавают на поверхности (водокрас, ряска). У некоторых обитателей водоема есть плавающие листья, но их корневища прикреплены ко дну, либо свободноплавающие.

При выявлении жизненных форм получены следующие результаты. Преобладающими жизненными формами по Раункиеру являются криптофиты – 17 видов растений, среди которых 7 – аэрогидатофиты, 3 – гидрофиты, гидатофиты, 2 – гигрогелофиты, 1 – гидрогелофит и гигромезофит; гемикриптофиты представлены 2 видами (гигромезофиты).

По И. Г. Серебрякову среди прибрежно-водной растительности преобладают многолетние длиннокорневищные травянистые растения (9 видов или 47,4%) и короткокорневищные (4 вида или 21,1%).

При изучении эколого-ценотических групп было установлено, что на акватории озера Каменик преобладает группа растений, погруженных в воду (Aq) – 10 видов растений; прибрежно-водных (Wt) – 7 видов; свежих лугов (MFr) и болотного разнотравья (Wt-Olg) – по 1 виду растений.

Во флоре исследуемой территории нами был выявлен перечень видов-индикаторов экологического состояния поверхностных вод для вычисления общей суммарной степени загрязнения (табл. 1) и индикаторные виды трофического статуса водоема для расчета суммарной трофности (табл. 2) [5, 6].

Таблица 1

Вычисление общей суммарной степени загрязнения озера Каменик

Вид	Степень загрязнения (1)	Частота встречаемости (2)	(1)×(2)= (3)
Рдест блестящий	3	4	12
Роголистник погружённый	5	4	20
Ряска малая	5	1	5
Элодея канадская	4	3	12
$\Sigma(3) : \Sigma(2)$		$\Sigma(2) = 12$	$\Sigma(3) = 49$

Таблица 2

Расчет суммарной трофности

Вид	Тип водоема (1)	Частота встречаемости (2)	(1)×(2)= (3)
Водокрас лягушачий	3	3	9
Элодея канадская	3	3	9
Рогоз узколистный	3	4	12
Кубышка желтая	1	3	3
Кувшинка белоснежная	3	2	16
Рдест блестящий	3	4	12
Шелковник неукореняющийся	4	4	16
$\Sigma(3):\Sigma(2)$		$\Sigma(2) = 23$	$\Sigma(3) = 67$

Общая суммарная степень загрязнения озера Каменик равна 4,1, что соответствует сильной степени загрязнения. Об этом свидетельствует наличие элодеи канадской (*Elodea canadensis* Michx.), ряски малой (*Lemna minor* L.) и рдеста блестящего (*Potamogeton lucens* L.).

Общая суммарная трофность озера составила 2,9, что соответствует мезотрофному типу водоема.

Таким образом, за период исследования на территории озера Каменик было обнаружено 19 видов макрофитов, относящихся к 16 родам, 11 семействам и 3 классам.

По показателям степени загрязнения и суммарной трофности озеро Каменик испытывает угнетение от регулярных сбросов воды на реке Кострома, что приводит к резким перепадам уровня воды. Это приводит к экологическим изменениям: озеро зарастает, глубина снижается, на дне образуется большой слой ила.

Библиографический список

1. Вейсберг Е. И. Структура и динамика сообществ макрофитов озер Ильменского заповедника. Миасс : ИГЗ УрО РАН, 1999. 121 с.
2. Власов Б. П., Гигевич Г. С. Индикаторная роль макрофитов при оценке состояния водоемов Беларуси // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем : сб. материалов междунар. конф. СПб. : ЛЕМА, 2007. С. 161–164.
3. Денисова И. А., Драбкова В. Г., Прыткова М. Я. Проблема зарастания озер, причины и экологические последствия // Экология зарастающего озера и проблема его восстановления. СПб. : Наука, 1999. С. 5–11.
4. Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов. Л. : Наука, 1981. 187 с.
5. Глушенков О. В. Школа гидробиологии : теория и практика учебных гидробиологических исследований : учебно-методическое пособие. Чебоксары : Новое время, 2013. 176 с.
6. Культиасов И. М. Экология растений : учебник. М. : МГУ имени М. В. Ломоносова, 1982. 354 с.

К ИЗУЧЕНИЮ СВЯЗИ ФИТОПЛАНКТОНА С СОДЕРЖАНИЕМ ФЕНОЛОВ И РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ВОДОЕМАХ

К. И. Абрамова

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

На примере нижнего течения реки Казанки (Казань, Республика Татарстан) проведен анализ корреляционной связи состава и структуры фитопланктона с содержанием фенолов и растворенного кислорода в воде. Обсуждается влияние метеорологических факторов на степень взаимосвязи фитопланктона с гидрохимическими показателями.

Ключевые слова: фитопланктон, кислородный режим, фенолы, корреляционная связь, атмосферные осадки, река Казанка.

Фитопланктон является основой водных пищевых цепей, играет ключевую роль в функционировании водных экосистем. Его развитие зависит от абиотических факторов окружающей среды. В свою очередь, фитопланктон влияет на химический состав воды, участвуя в процессах фотосинтеза, минерализации и газообмена. Благодаря своей фотосинтетической активности вносит вклад в обогащение воды кислородом [1], а продукты его метаболизма могут быть источником вторичного загрязнения воды фенолами в период массового развития водорослей [2–4]. В то же время процесс самоочищения водоемов от фенолов происходит под влиянием ферментов, вырабатываемых микроорганизмами, с затратами растворенного кислорода [5]. Таким образом, абиотические факторы и биотические компоненты в водоемах неразрывно связаны. Экосистема водоема – это единство биотических сообществ и их физико-химической среды [6].

Изучение корреляционных связей структуры и состава фитопланктона с гидрохимическими показателями является не только фундаментальной научной задачей, но и практической необходимостью. Оно необходимо для формирования методов рационального управления водными ресурсами и минимизации антропогенной нагрузки. Цель работы – изучение корреляционной связи количественного развития фитопланктона с содержанием фенолов и растворенного кислорода.

Объектом нашего исследования стал слабопроточный эвтрофный участок нижнего течения р. Казанки, располагающийся в центральной части города-миллионника Казани (Республика Татарстан). Акватория находится под техногенным прессом. Принимает значительные объемы ливневых сточных вод с городской территории. Имеет важное природно-эстетическое, рекреационное и экологическое значение. Мониторинг акватории проводился в весенне-летнюю межень 2017–2020 гг. путем отбора проб из поверхностного слоя воды с борта лодки.

Акватория исследуемого участка Казанки подвержена эвтрофикации, «цветению воды» цианобактериями (ЦБ) [7, 8]. Систематически фиксируются высокие показатели биохимического и химического потребления кислорода, приводящего к возникновению локального дефицита O_2 в акватории. Кроме того, отмечается превышение ПДК_{рх} (предельно допустимая концентрация рыбохозяйственного значения) по фенолам [9].

Многолетние наблюдения за данным речным участком позволили выявить корреляционную связь структуры фитопланктона с содержанием фенолов и растворенного кислорода в воде.

В летний период в условиях доминирования ЦБ, численность которых составляет более 160 млн кл./л и биомасса – 11 мг/л, вторичное загрязнение устьевой области реки фенолами связано с массовым развитием *Aphanizomenon flos-aquae* и *Planktothrix agardhii* (0,66, $p < 0,05$). В период

«цветения» воды Cyanoprokaryota (доля от общей численности и биомассы достигает более 90%) содержание фенолов может подниматься до уровня 3–4 ПДК_{рх}. В сезон активного развития диатомовых водорослей (в конце весны и в начале лета) содержание фенолов не превышает ПДК_{рх}. Корреляционная связь между количественными показателями Bacillariophyta и фенольными соединениями отрицательная ($-0,62$, $p < 0,05$). Кроме того, их связь с другими группами фитопланктона (криптофитовые, динофитовые; менее 5% от общей), слабая или отсутствует. Установлено, что одним из факторов, регулирующих корреляцию фитопланктона с содержанием фенола, является количество выпавших осадков. В условиях теплого дождливого лета и активного развития ЦБ возрастает риск увеличения содержания фенолов в устьевом участке р. Казанки [10].

Содержание растворенного кислорода в воде за весь период наблюдений не опускалось ниже нормативных значений и варьировало в пределах 6,2–17,0 мгО₂/л. На динамику содержания растворенного кислорода в водоемах влияет видовой состав альгофлоры [11]. Обогащение воды кислородом в Казанке преимущественно связано ($p < 0,05$) с зелеными (0,69) и диатомовыми (0,56) водорослями. Состав зеленых представлен пор. Sphaeropleales (р. *Desmodesmus*, *Scenedesmus*, *Monoraphidium*, *Tetradesmus*, *Coelastrum*) и Chlamydomonadales (р. *Chlamydomonas*, *Pandorina*). Диатомеи представлены центричными формами, р. *Nitzschia* и *Synedra* [12].

В то время как ЦБ являются фотосинтезирующими организмами, их обилие с содержанием растворенного кислорода в устьевом участке имеет высокую отрицательную связь ($-0,76$). Это обусловлено чрезмерным развитием Cyanoprokaryota и значительным вкладом их в образование органического вещества (0,60–0,78), приводящим к снижению содержания растворенного кислорода. Увеличение органического вещества (по показателям биологического (БПК₅) и химического потребления (ХПК) кислорода) в реке связано преимущественно с развитием синезеленых (0,60–0,78) и динофитовых (0,53–0,69).

Установлено влияние метеорологических показателей (количество выпавших осадков и температура воздуха) на количественные показатели фитопланктона и кислородный режим. В условиях сухого и теплого лета на слабопроточном участке Казанки активный рост ЦБ может приводить к преобладанию деструкционных процессов над продукционными, к повышению ПДК_{рх} органических веществ и уменьшению содержания растворенного кислорода.

Обобщая вышесказанное, следует отметить, что низкопроточные акватории, находящиеся в черте крупных городов, уязвимы к антропогенным воздействиям и подвержены эвтрофикации, «цветению» ЦБ. Особое пристальное внимание должно быть обращено на водоемы в условиях сухого и теплого летнего сезона. В этот период возрастают риски увеличения содержания фенолов и органического вещества, уменьшения содержания раство-

ренного кислорода, формирования дефицита O_2 в воде и, как следствие, замора гидробионтов и замедления процесса самоочищения.

Библиографический список

1. Девяткин В. Г., Метелева Н. Ю. О роли фитопланктона в формировании кислородного режима водоема в связи с климатическими вариациями // Вода: химия и экология. 2012. № 12. С. 68–74.
2. Sakevich A. I., Usenko O. M. Phenol compounds in water of Dnieper reservoirs // *Gidrobiol. Zh.* 2002. Vol. 38. No. 4. P. 103–112.
3. Changes in water hydrochemistry in Bays of the Bratsk Reservoir caused by forest harvesting operations / V. I. Poletaeva, M. V. Pastukhov, N. A. Zaguroloko, G. A. Belogolova // *Water Resources*. 2018. Vol. 45. No. 3. P. 369–378.
4. Zyska-Haberecht B., Niemczyk E., Lipok J. Metabolic relation of cyanobacteria to aromatic compounds. DOI: 10.1007/s00253-018-9568-2 // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. Vol. 103. No. 3. P. 1167–1178.
5. Временные указания по санитарной охране водоемов от загрязнения фенолами / под ред. Ю. Лебедева. М. : Мин-во здравоохранения СССР, 1958. 31 с.
6. Одум Ю. Экология. В 2 т. Т. 1. М. : Мир, 1986. 328 с.
7. Абрамова К. И., Токинова Р. П. Межгодовая динамика летнего фитопланктона в устьевой области реки Казанки (г. Казань) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2020. Т. 29. № 3. С. 89–94.
8. Абрамова К. И., Токинова Р. П. Пространственное распределение цианобактерий в фитопланктоне реки Казанки // *Российский журнал прикладной экологии*. 2023. № 1. С. 21–27.
9. Оценка вклада загрязняющих веществ в формирование класса загрязненности поверхностных вод / В. С. Валиев, Д. В. Иванов, Р. Р. Шагидуллин и др. // *Российский журнал прикладной экологии*. 2018. № 3. С. 57–64.
10. Абрамова К. И., Токинова Р. П., Шагидуллин Р. Р. Анализ связи фитопланктона с содержанием фенолов в устьевой области реки Казанки (г. Казань) // *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2020. № 137. С. 38–46.
11. Пронина Г. И., Корягина Н. Ю., Терентьев П. В. Воздействие фитопланктона на кислородный режим рыбохозяйственного водоема в условиях низких температур // *Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство*. 2016. № 1. С. 52–61.
12. Анализ корреляционной связи между развитием фитопланктона и кислородным режимом устьевой области реки / К. И. Абрамова, Р. П. Токинова, Н. Р. Водунов, Р. Р. Шагидуллин // *Труды Карельского научного центра РАН*. 2021. № 5. С. 20–31.

СООБЩЕСТВО ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА КАМЕНИК НА ТЕРРИТОРИИ КОСТРОМСКОЙ НИЗИНЫ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2023–2024 ГГ.

Е. А. Яшневa¹, М. В. Сиротина^{1,2}

¹ Костромской государственный университет,
г. Кострома, Россия, elenayashneva1811@mail.ru mvsirotna@gmail.com,

² ФГБУ «Государственный природный заповедник
«Кологривский лес» имени М. Г. Синицына», г. Кострома, Россия

В статье изложены результаты исследований зоопланктона озера Каменик на территории Костромской низины в летний период 2023–2024 гг., описаны видовой состав, экологическая структура, численность и биомасса зоопланктонного сообщества. Показано появление большого количества видов-индикаторов процесса эвтрофирования. На основе количественных показателей зоопланктона, таксономической и экологической структур зоопланктона, наличия видов-индикаторов сделаны выводы о тенденции повышения трофического статуса водоема.

Ключевые слова: зоопланктон, озеро Каменик, Костромская низина, экологические группы зоопланктона

Озеро Каменик, расположенное в пределах Костромской низины, входит в состав Верхневолжского бассейнового округа и занимает третье место по площади среди озер Костромской области. Его площадь составляет 2,72 км², длина – 2,1 км, ширина – 0,94 км. Образование озера связано с созданием Горьковского водохранилища в 1955–1957 гг. в результате которого часть Костромской низины была затоплена. Озеро Каменик сообщается протокой с рекой Узаксой и через систему карьеров – с озером Турово. Воды этих водоемов поступают в нижний участок реки Костромы, являющейся частью водохранилища. Глубина озера невелика, на многих участках его акватории наблюдается развитие высшей водной растительности.

В функционировании гидробиоценозов мелководных озер ключевую роль играет сообщество зоопланктона [1, 2]. Представители зоопланктона выступают в качестве консументов первого и второго порядка и являются участниками трофических цепей, через которые передается основная часть энергии в гидроэкосистеме озера. Биомасса зоопланктона в мелководных озерах может достигать значительных величин [3]. Кроме того, зоопланктон является надежным индикатором экологического состояния водных экосистем, что в настоящее время активно используется в экологическом мониторинге [3, 4].

В связи с вышесказанным, целью работы стало исследование видового состава, структуры, биомассы и численности сообщества зоопланктона озера Каменик на территории Костромской низины.

Исследования проводились на оз. Каменик в летний период 2023–2024 гг. Пробы зоопланктона отбирались с лодки, на 5 станциях, равномерно расположенных по акватории водоема. Сбор и обработка проб зоопланктона проводился по стандартным методикам [5] путем процеживания 50 л воды через планктонную сеть Апштейна. Собранные пробы фиксировали 4% формалином. Качественные пробы зоопланктона обрабатывались с помощью микроскопа Биомед-3 с использованием определителя [6]. Подсчет зоопланктеров проводился в камере Богорова под бинокулярным микроскопом МБС–10.

В ходе исследований в озере Каменик было выявлено 24 вида зоопланктеров. В видовом разнообразии зоопланктона отмечено преобладание представителей типа Rotifera, несколько меньше представлены ветвистоусые, менее всего – веслоногие ракообразные (рис.).

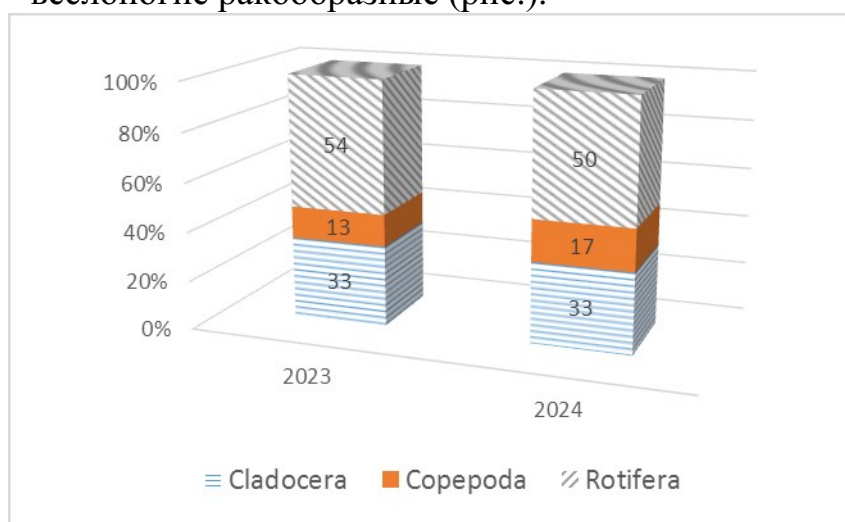


Рис. Соотношение таксономических групп зоопланктеров озера Каменик в 2023–2024 гг. (%)

Среди экологических групп планктона по месту обитания зоопланктеров преобладали планктонные формы (69,6%), что связано с наличием значительных участков пелагиали, свободной от макрофитов. Фитофильно-планктонные виды составили 17,4% от общего видового состава зоопланктона, фитофильные – 13,0% (представлены коловратками).

Проанализированы экологические группы зоопланктона по типу питания и передвижения. Выявлено, что в составе зоопланктона оз. Каменик преобладают представители группы – плавающие первичные, тонкие и грубые фильтраторы (34,7%). В равном соотношении отмечены группы свободноплавающих вертикаторов и плавающих и ползающих вертикаторов (по 21,7%). Далее следуют представители группы плавающих активных хищников, эврифагов (8,7%).

Среди коловраточного планктона наиболее часто встречались виды рода *Brachionus*: *Br. angularis* (Gosse, 1851), *Br. diversicornis homoceros* (Wierzejski, 1891), *Br. diversicornis diversicornis* (Daday, 1883), *Br. calyciflorus calyciflorus* (Pallas, 1766), *Br. calycifloris dorcae* (Gosse, 1851),

Br. quadridentatus quadridentatus (Hermann, 1783), *Br. quadridentatus brevispinus* (Ehrenberg, 1832); *Br. urceus* (Linnaeus, 1758), *Br. plicatilis longicornis* (Fadeev, 1786); *Keratella quadrata* (Müller, 1786), *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834); *Trichocerca cylindrica* (Imhof, 1891), являющиеся индикаторами процесса эвтрофирования водоема.

Одним из самых распространенных видов в исследуемом водоеме является *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785). Ее присутствие может свидетельствовать о процессе эвтрофирования, который связан с увеличением концентрации органических веществ в воде и приводит к росту количества фитопланктонных организмов в водоеме.

Изучив численность зоопланктона в озере Каменик в период 2023–2024 гг., можно сделать следующие выводы. Самый высокий показатель численности из двух лет наблюдения зафиксирован в 2023 г. и составил 118,16 тыс. экз/м³, в 2024 г. значения численности составили 95,52 тыс. экз/м³. Исследуя биомассу зоопланктона озера Каменик в 2023 и 2024 гг., мы выявили увеличение биомассы зоопланктона летом 2024 г. (до 5,39 г/м³) по сравнению с 4,18 г/м³ летом 2023 г.

Колебания численности зоопланктона связаны как с динамикой погодных условий, так и с направлением повышения трофического статуса водоема в целом. В целом, перестройка структуры зоопланктона происходит в направлении повышения трофического статуса водоема и перехода от эвтрофной стадии к гиперэвтрофной. Для гиперэвтрофной стадии характерно доминирование коловраточного планктона при резком увеличении количества и численности видов-индикаторов эвтрофирования (виды родов *Brachionus*, *Keratella*, *Filinia*, *Trichocerca* и др.).

Изучение зоопланктонных сообществ имеет существенное значение для понимания особенностей функционирования водных экосистем в условиях наличия или отсутствия антропогенного воздействия. Зоопланктон может служить удобным индикатором экологического состояния водоемов, по его показателям можно осуществить прогноз состояния гидробиоценоза в будущем.

Библиографический список

1. Столбунова В. Н. Зоопланктон озера Плещеево. М. : Наука, 2006. 152 с.
2. Лазарева В. И. Зоопланктон озер разных типологических групп // Фауна и экология беспозвоночных животных в заповедниках. М. : ЦНИЛ Главохоты РСФСР, 1996. С. 147–153.
3. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб. : Наука, 1996. 189 с.
4. Вандыш О. И. Зоопланктон как индикатор состояния озерных экосистем Кольского полуострова при действии стоков горно-промышленных предприятий // Экология. 2004. № 2. С. 134–140.
5. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. Зоопланктон и его продукция. Л. : Изд-во ГосНИОРХ, 1982. 33 с.

6. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России Т. 1. Зоопланктон / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ УЧАСТКА РЕКИ ЧАХЛОВИЦА

*Д. А. Жилина, А. А. Зыкина, Е. А. Земцова
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, ea_zemtsova@vyatsu.ru*

В статье представлены результаты оценки степени загрязненности участка реки Чахловица по результатам анализа донных отложений. Оценка загрязненности водного объекта произведена с помощью сапробиологического анализа зообентоса по методу Пантле-Бука в модификации Сладечека. Установлено, что степень загрязнённости воды на исследованном участке варьирует от «чистой» до «умеренно загрязнённой».

Ключевые слова: донные отложения, сапробность, метод Пантле-Бука в модификации Сладечека.

Донные отложения являются наиболее консервативным компонентом природных водных объектов и содержат информацию о загрязненности и особенностях водосборного бассейна. Донные отложения – это донные наносы и твердые частицы, образовавшиеся и осевшие на дно водного объекта в результате внутриводоемных физико-химических и биохимических процессов, происходящих с веществами как естественного, так и техногенного происхождения [1]. Донные отложения могут выступать в качестве индикатора для выявления состава, интенсивности и масштаба загрязнения. Целью исследования являлось изучение и анализ донных отложений р. Чахловица для определения степени загрязненности изучаемого участка реки и его подверженности техногенному воздействию [2, 3].

Объектом исследования служила река Чахловица, протекающая в Кировской области и являющаяся левым притоком р. Вятки. Она берёт начало южнее д. Шишонки, течет на север, ниже с. Пасегово и поворачивает на северо-запад. После слияния с р. Берёзовкой снова поворачивает на север. Впадает в старицу р. Вятки. Устье реки находится в 649 км по левому берегу р. Вятки. Длина реки составляет 36 км, площадь водосборного бассейна 208 км² [4].

Для анализа донных отложений был выбран участок реки длиной 4,9 км, начинающийся от садового товарищества «Авторемонтник», располагающегося в д. Мокрецы Кирово-Чепецкого района Кировской области, и оканчивающийся у автомобильного моста на Победиловском тракте. На качество вод данного участка реки могут оказывать воздействие как очищенные

стоки водопроводно-канализационного хозяйства, так и ливневые стоки с авто- и железнодорожных магистралей, а также смывы с сельскохозяйственных угодий. При этом к основным загрязняющим веществам, которые могут оказать значительное воздействие на качество воды, можно отнести соединения азота и фосфора, нефтепродукты, ПАВ, ионы тяжёлых металлов, взвешенные вещества, а также белки и жиры.

На рисунке 1 приведена карта-схема анализируемого участка р. Чахловицы с указанием мест отбора проб донных отложений.



Рис. 1. Карта мест расположения пунктов отбора проб донных отложений в р. Чахловица: 1 – $58^{\circ}52'11''$ с. ш., $49^{\circ}49'84''$ в. д.; 2 – $58^{\circ}52'49''$ с. ш., $49^{\circ}49'71''$ в. д.; 3 – $58^{\circ}52'18''$ с. ш., $49^{\circ}49'97''$ в. д.; 4 – $58^{\circ}31'59''$ с. ш., $49^{\circ}27'18''$ в. д.; 5 – $58^{\circ}31'60''$ с. ш., $49^{\circ}27'16''$ в. д.

Пробы донных отложений отбирали в сентябре 2024 г. Среднемесячная температура воздуха составляла $+20^{\circ}\text{C}$. Отбор проб осуществлялся в прибрежной зоне. Расход воды в районе анализируемого участка реки незначительный, варьировал от 0,01 до 0,15 м³/с в период летней межени. Скорость течения воды в реке на всех участках минимальная.

В пункте отбора пробы № 1 вода была прозрачная, дно песчаное, покрыто растительным опадом. В границах указанного пункта непосредствен-

ное воздействие хозяйственной деятельности минимально, в основном связано с сельскохозяйственной деятельностью. В пункте № 2 вода была мутно-голубого цвета, с неприятным запахом. При этом в границах данного пункта осуществляется сброс недостаточно очищенных сточных вод предприятия водопроводно-канализационного хозяйства. Пункт № 3, расположенный в 500 м ниже от пункта № 2, является местом наиболее полного перемешивания сбрасываемых стоков с речными водами. Вода слабо мутная, с неприятным запахом. В пункте № 5, расположенном в 4,9 км ниже по течению от пункта № 1, вода прозрачная, её поверхность покрыта ряской, дно песчаное, немного заиленное. В данном пункте возможен привнос загрязняющих веществ за счет ливневых стоков с автомобильной дороги. На пункте № 4, находящемся в 50 м выше по течению от пункта № 5, вода прозрачная, поверхность воды покрыта радужной пленкой, дно песчаное, покрыто опадом. Берега реки покрыты густыми зарослями трав и деревьев.

Для количественного подсчета организмов в донных отложениях и их классификации по индикационным группам использовался метод микроскопии [5].

Степень распада органических веществ в загрязненных водоемах определяли по числу сапробности. Присутствие и количество организмов-сапробионтов в водном объекте указывает на степень его загрязнения органическими веществами. Разложение органических веществ может приводить к дефициту кислорода и появлению токсичных продуктов в водоеме. Выживание организмов при разной степени загрязнения водоема зависит от их потребности в органических веществах и устойчивости к нехватке кислорода и действию ядовитых веществ.

Наиболее распространенным способом определения сапробности водных объектов является метод Пантле-Бука в модификации Сладечека.

Зонам сапробности водоема присваивается цифровое значение от 0 до 4 в порядке возрастания степени загрязнения. В данной работе расчет индекса сапробности (*Ind S*) осуществлялся по следующей формуле:

$$Ind\ S = \sum (Sh) / \sum h ,$$

где *S* – сапробность каждого найденного индикаторного таксона зообентоса (от 0 до 4), *h* – частота встречаемости организмов.

Чем выше индекс сапробности, тем грязнее водоем [5].

В ходе анализа отобранных проб были рассчитаны значения индекса сапробности для каждого пункта отбора проб (рис. 2).

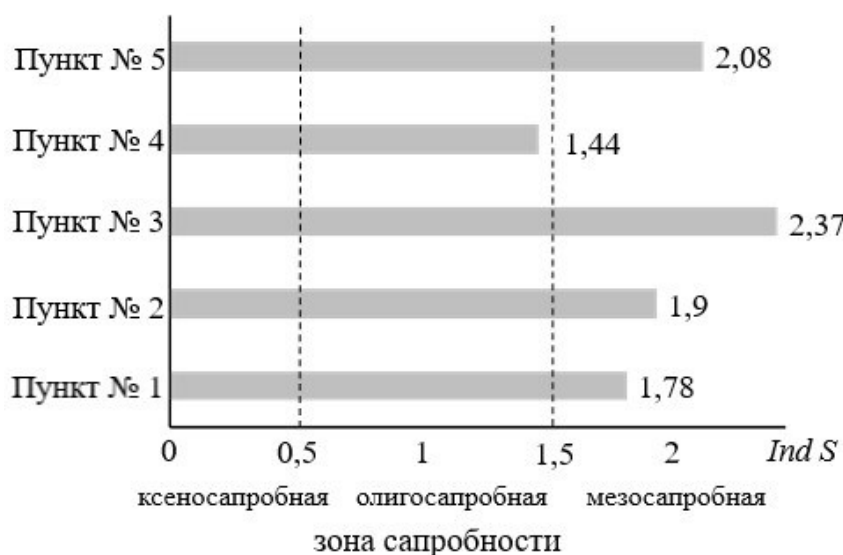


Рис. 2. Результаты определения индекса сапробности для пяти пунктов наблюдения на реке Чахловице

Максимальная величина индекса сапробности наблюдалась в пункте № 3 ($Ind S = 2,37$), находящемся в 500 м ниже от места сброса сточных вод предприятия водопроводно-канализационного хозяйства. Согласно величине индекса сапробности, вода в реке на этом участке умеренно загрязненная, относится к мезосапробной зоне. В пункте № 2 величина $Ind S$ составляла 1,9. Вода, где была отобрана проба, слабозагрязненная, относится к мезосапробной зоне. В пункте № 1 $Ind S = 1,78$, что говорит о слабой загрязненности воды на данном участке реки.

Результат анализа показал, что воды в пункте № 5 относятся к мезосапробной зоне ($S = 2,08$) и соответствуют категории «умеренно загрязненные воды». Повышенное значение величины индекса сапробности, вероятно, связано с непосредственной близостью автодороги, и привнесом в водный объект нефтепродуктов, тяжелых металлов и взвешенных частиц. Величина индекса сапробности в пункте № 4 была наименьшей из установленных и составляла 1,44, что говорит о практически чистых донных отложениях в данном пункте отбора проб. Вода на пункте № 4 относится к олигосапробной зоне.

Проанализировав полученные значения индекса сапробности для отобранных проб, можно прийти к выводу о том, что участок, на котором была отобрана проба № 1, загрязнен сильнее остальных. Это объясняется тем, что часть загрязняющих веществ в реке, появляющаяся за счет сброса сточных вод, концентрируется именно на этом участке за счет течения.

При этом следует отметить, что скорость течения в реке минимальна, и в период летней межени может достигать нулевых значений, что, в свою очередь, приводит к интенсификации процесса загрязнения донных отложений, ввиду формирования застойных зон с наименьшим разбавлением очищенных сточных вод в границе водопользования предприятий.

В результате исследования донных отложений реки Чахловица были определены основные факторы, влияющие на состав донных отложений, и оценён уровень загрязнённости изученного участка реки. Применение метода биоиндикации для анализа донных отложений помогло провести оценку состояния реки Чахловица, и может послужить материалом для ведения мониторинга данного водного объекта, а также позволить спрогнозировать изменения состояния реки Чахловица вследствие ряда антропогенных воздействий.

Библиографический список

1. Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М. : Высшая Школа, 2002. 334 с.
2. Папина Т. С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду «вода – взвешенные вещества – донные отложения» речных экосистем // Аналитический обзор речных экосистемах. Новосибирск : Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2001. 58 с.
3. Янин Е. П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М. : ИМГРЭ, 2002. 51 с.
4. Water Resources : Справочник водных ресурсов [Электронный ресурс]. – URL: <https://waterresources.ru/reki/chahlovitsa/> (дата обращения: 02.02.2025).
5. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В. А. Абакумова. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 319 с.

NPK CONTENT IN SAPROPEL SAMPLES OF DIFFERENT LOCATIONS

A. V. Sazanov¹, M. L. Sazanova^{1,2}, L. V. Tugarinov³

¹ Vyatka State University, Kirov, Russia, usr11479@vyatsu.ru,

*² Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia,
sazanova.m.l@ib.komisc.ru,*

*³ LLC “Agrokhimprom Scientific and Production Association”,
Barnaul, Russia*

The content of basic elements of mineral nutrition in four samples of sapropels of different origin was determined. All investigated samples meet the requirements of standards and can be used both as organic-mineral additives to fertilizers and for production of soils and humic preparations.

Keywords: sapropel, nitrogen, phosphorus, potassium, fertilizers.

The issue of greening in agriculture is currently topical [1, 2]. Many authors argue about the benefits/harms of biological/organic agriculture, forgetting about different “inputs”: climate, soil type, amount of yield to be produced, etc. [3, 4]. For example, the majority of agricultural soils in non-chernozem zone Russia has a constant deficit of nutrients and humus, and is in dire need of fertilizers [5]. In order to restore soil fertility it is possible to use new, non-traditional organomineral (humine) fertilizers. They are obtained by processing materials containing organic

compounds (sapropel, peat, lignite, silt, shale, humus, etc.) with ammonia solutions, phosphates, potassium salts.

The environmental friendliness of sapropels can be viewed from two perspectives. On the one hand, sapropel mining has been of interest from an ecological point of view, as it allows cleaning and deepening the lake trough of a water body [6]. On the other hand, sapropel is a recognized ecologically pure organic-mineral fertilizer balanced in humic and mineral fractions, attracting consumers primarily from the point of view of the absence of so-called “chemistry” [7]. According to [8] the variety of sapropel components and their ratio are naturally balanced and all of them are necessary for plants at all development stages.

The application of sapropel-containing substrates stimulates plant growth and increases dry matter accumulation, provides a positive balance of nitrogen and phosphorus and reduces macro- and microelement deficiency, in particular, contributes to the phosphorus and calcium accumulation in marketable products [9–11]. The use of ultradispersed humic-sapropel suspension in addition to increasing productivity and shoot height, promoted accumulation of trace elements and amino acids, as well as accelerated germination and increases seed germination energy [12].

The aim of this work was to determine the content of basic elements of mineral nutrition of plants (macronutrients – nitrogen, phosphorus, potassium) in sapropel samples of different origin.

Four sapropel samples (1 – Lake Rusaki, Altai Krai, 2 – Lake Beloe, Novosibirsk Oblast, 3 – Lake Chervonoye, Gomel Oblast, Belarus, 4 – Lake Ubagovas, Rezekne District, Latvia) provided by LLC “Agrokhimprom” were analyzed in accredited laboratories of Vyatka State University. The content of macronutrients was determined in each sample: total potassium, % (K_2O , in terms of dry matter; GOST 26718), total nitrogen, % (N_{total} , in terms of dry matter; GOST 26715), total phosphorus, % (P_2O_5 , in terms of dry matter; GOST 26717). Analytical studies were carried out in triplicate. Statistical processing of the obtained results (mean $\pm$ mean square deviation) was carried out by standard methods using MS Excel software package; reliability of differences ($p < 0.05$) was evaluated using Student’s t-criterion. The main results of the study are summarized in the Table.

Table

NPK content in sapropel samples

Indicator	1	2	3	4
N_{total} , % DM	1.27 $\pm$ 0.20	1.46$\pm$0.15	1.24 $\pm$ 0.12	1.32 $\pm$ 0.19
P_{total} , % DM	0.34 $\pm$ 0.03	0.32 $\pm$ 0.02	0.36$\pm$0.03	0.30 $\pm$ 0.02
K_{total} , % DM	0.40 $\pm$ 0.03	0.32 $\pm$ 0.01 ³	0.42$\pm$0.03	0.35 $\pm$ 0.02

Note: significant differences with the corresponding samples are indicated by the upper index. Maximum values are marked in bold.

The macronutrients total content in the studied samples corresponds to GOST 54221-2010 and amounted (in terms of dry matter): N_{total} – 1.24–1.46%, P_{total} – 0.32–0.36%, K_{total} – 0.32–0.42%. All studied samples according to the ratio

of organic matter [13] and mineral content belong to organic-lime sapropels; this is confirmed by other studies [14–16].

According to [17], NPK total content, as well as calcium and silt fraction content, determines the agrochemical efficiency of sapropel. When applying native sapropel, nitrogen can be sufficient, as it is part of sapropel organic matter; however, available nitrogen in sapropel is not much – not more than 8% [18]. Organic nitrogen requires time for mineralization, so the doses of effective sapropel application are 2–3 times higher than for manure fertilizers [19]. Comparatively low content of phosphorus and potassium in sapropels of some deposits also reduces the efficiency of fertilizers on the basis of native sapropel [13, 20, 21].

Mixing sapropel with manure or enrichment with mineral fertilizers is recommended to compensate for the NPK deficit [9, 10, 19]. Another option is the production of humic preparations, which largely inherit the properties of the humic fraction of sapropels [22], are non-toxic according to the results of biotesting [22, 23], and can be used as plant growth stimulators [12, 24–26].

In conclusion, all studied sapropel samples meet the requirements of national standards and can be used both as organic-mineral additives to fertilizers and for production of soils and humic preparations.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences within the theme “Assessment of the state of transformed ecosystems of the southern taiga subzone, methodological approaches to their bioremediation”, state registration number in EGISU No. 125021402208-5.

References

1. Marinchenko T. E. Greening of agricultural production is the main vector of development of the Russian agricultural sector. DOI: 10.1051/e3sconf/202019301046 // E3S Web Conf. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. 2020. Vol. 193. Article No. 01046.
2. Kazimetova F. M. Greening of agricultural production (review). DOI: 10.25691/GSH.2020.2.007 // Gornoe selskoe khozyaystvo. 2020. No. 2. P. 67–73 (in Russian).
3. Reganold J. P., Wachter J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. DOI: 10.1038/nplants.2015.221 // Nat. Plants. 2016. Vol. 2. Article No. 15221.
4. Stekolnikov K. E. Organic agriculture in Russia: a good or a disaster? DOI: 10.24855/BIOSFERA.V12I1.537 // Biosfera. 2020. Vol. 12. No. 1–2. P. 53–62 (in Russian).
5. Improvement of nutrition and fertilization of agricultural crops in the organic crop production organization : a monograph / Ed. A. P. Avdeenko. Persianovskiy : Donskoy GAU, 2021. 158 p. (in Russian).
6. Biochemical assessment of humate-sapropel raw materials of Maloe Simaginskoe Lake // V. A. Rumyantsev, J. V. Puhalsky, S. I. Loskutov, et al. DOI: 10.1134/S1028334X24602840 // Dokl. Earth Sc. 2024. Vol. 518. P. 1761–1769.
7. 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.

8. Abutova R., Kozhakhmetov M. K. Agro-technology based on the bio-organic preparation Humin Plus. DOI 10.53939/15605655/2023_3_28 // Science News of Kazakhstan. 2023. No. 3 (158). P. 28–33 (in Russian).
9. Pozdnyakova V. F., Senchenko M. A. Influence of sapropel on the content of macro- and microelements in the root of turnip (*Brassica rapa*) // Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2024. No. 1 (76). P. 21–24 (in Russian).
10. Dneprovskaya V. N., Shubina O. I. The effect of sapropel application on potato yield and quality. DOI: 10.51215/1999-3765-2024-121-26-37 // Vestnik IrGSHA. 2024. No. 121. P. 26–37 (in Russian).
11. Magomedmirzoeva R. H., Teymurov S. A. Prospects for the use of sapropel for tomatoes cultivation in open ground conditions of the foothill zone of Dagestan. DOI: 10.36107/spfp.2024.3.544 // Storage and processing of farm products. 2024. No. 3. P. 119–132 (in Russian).
12. Use of humate-sapropelic suspension when growing sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) in protected soil conditions (greenhouse) / V. A. Rumyantsev, Ya. V. Pukhalskii, S. I. Loskutov, et al. 10.1134/S1028334X24600865// Dokl. Earth Sci. 2024. Vol. 516. P. 774–780.
13. Chemical composition assessment of sapropels from different deposits / A. V. Sazanov, M. L. Sazanova, I. A. Zhuikova, L. V. Tugarinov. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-108-116 // Theoretical and Applied Ecology. 2024. No. 2. P. 108–116 (in Russian).
14. Sapropel is a unique natural fertilizer from Siberia [Internet resource]. – URL: <https://www.sapropel-nsk.ru/sapropel> (assessed: 03.03.2025).
15. Kurzo B. V., Gaidukevich O. M. Sapropel resources of Pripyat Polesie and prospects for their use // Natural resources of Polesie: assessment, utilization, conservation : materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Pinsk : UO “Polesskiy gosudarstvennyy universitet”, 2015. P. 166–170 (in Russian).
16. Sapropel – mining characteristics and potential use in medicine / I. Vanadziņš, I. Mārtiņšone, A. Kļaviņa, et al. DOI: 10.2478/prolas-2022-0029 // Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences. 2022. Vol. 76. No. 2. P. 188–197.
17. Kostenkov N. M. Ecological and agrochemical estimate of sedimentary deposits of lakes on marine terraces of coast Sea of Japan. DOI: 10.25750/1995-4301-2014-2-030-034 // Theoretical and Applied Ecology. 2014. No. 2. P. 30–34 (in Russian).
18. Baranov A. I. Sapropel effect on soil fertility, yield and quality of products in the crop rotation link “corn for green mass – sugar beet” : 06.01.04 : PhD diss. Moscow, 2020. 129 p. (in Russian).
19. Ilichev V. N., Avgul E. P. Efficiency of application of sapropel and organo-mineral fertilizers on the basis of sapropel for agricultural crops on gray forest soils [Internet resource]. – URL: <https://taraagrohim.ru/stati/18-effektivnost-primeneniya-sapropelykh-i-organo-mineralnykh-udobrenij-na-osnove-sapropelya-pod-selskokhozyajstvennyye-kultury-na-serykh-lechnykh-pochvakh> (assessed: 03.03.2025).
20. Strakhovenko V. D., Taran O. P., Ermolaeva N. I. Geochemical characteristics of the sapropel sediments of small lakes in the Ob’-Irtysh interfluvies. DOI: 10.1016/j.rgg.2014.09.002 // Russian Geology and Geophysics. 2014. Vol. 55. No. 10. P. 1160–1169.
21. Zhirkov I. I., Trofimova T. P. Sapropel resources of Lake Kubalakh, Yakutsk. DOI: 10.25587/SVFU.2022.26.2.005 // Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences. 2022. No. 2 (26). P. 39–46 (in Russian).
22. Yakimenko O.S., Terekhova V.A. Humic preparations and the assessment of their biological activity for certification purposes. DOI: 10.1134/S1064229311090183 // Eurasian Soil Sci. 2011. Vol. 44. No. 11. P. 1222–1230.

23. Ecotoxicological evaluation of commercial humates of different origin using microalgae *Scenedesmus quadricauda* / E. V. Fedoseeva, V. A. Terekhova, O. S. Yakimenko, M. M. Gladkova // Theoretical and Applied Ecology. 2009. No. 4. P. 45–49 (in Russian).

24. Effect of various fractions of an ultradispersed humate-sapropel suspension on the growth, development, and quality of basil (*Ocimum basilicum* L.) plants as compared to the use of chemical fertilizers / S. I. Loskutov, Y. V. Pukhalsky, A. S. Mityukov, et al. DOI: 10.3103/S1068367423060125 // Russ. Agricult. Sci. 2023. Vol. 49. P. 627–633.

25. The results of germination of winter wheat, oats and mash with the use of a new organic fertilizer based on sapropel / A. S. Skamarokhova, R. V. Kravchenko, D. A. Yurin, A. A. Svistunov. DOI: 10.21515/1990-4665-189-006 // Scientific Journal of KubSAU. 2023. No. 189. P. 46–53 (in Russian).

26. Use of peat and sapropel for obtaining humic plant growth regulator / B. V. Kurzo, I. V. Klyauze, M. V. Vorona, et al. DOI: 10.47612/2079-3928-2022-1-136-145 // Nature management. 2022. No. 1. P. 136–145 (in Russian).

ТИПЫ ТЕХНОГЕННЫХ ЧАСТИЦ И ИХ КОЛИЧЕСТВО В СОВРЕМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДАХ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**Е. С. Душевина^{1, 2}, А. А. Селезнев^{1, 2}, А. В. Шевченко^{1, 2},
Г. П. Малиновский¹, Н. В. Иванчукова^{1, 2}**

¹ Институт промышленной экологии Уральского отделения
Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия,
elizaveta19-20@mail.ru, sandrian@rambler.ru, av.shev98@gmail.com,
georgy@ecko.uran.ru, ivanchukova.natali@gmail.com,

² Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

Работа посвящена классификации техногенных частиц в пробах поверхностного осадка и пробах твердого материала снегогрязевой пульпы (СГП), оценке количества и определению потенциальных источников поступления таких частиц. В исследовании были использованы: гранулометрический, шлиховой анализ, морфология частиц была определена с помощью визуальной диагностики с использованием оптического микроскопа.

Ключевые слова: техногенные частицы, сферулы, шлак, современные поверхностные осадки, снегогрязевая пульпа, малые и средние города.

Техногенные частицы и материалы, образующиеся в результате человеческой деятельности, включая выхлопные газы, различного рода продукты износа транспортных средств и строительных материалов, становятся индикаторами воздействия урбанизации на окружающую среду [1–3]. Такие частицы представляют собой концентрированный источник загрязнителей и могут быть значимой угрозой для окружающей среды. Это обусловлено их потенциалом к увеличению содержания токсичных и опасных химических компонентов в окружающей среде за счёт содержания сплавов металлов черной и цветной металлургии, полимерных частиц, минеральных компонентов с примесью тяжёлых металлов и радиоактивных элементов.

В условиях роста городов исследование техногенного материала помогает оценить масштабы и скорость его распространения, определить основные источники и пути миграции, а также разработать эффективные меры для минимизации их воздействия.

Исследование охватывает зимний и летний периоды в малых и средних городах Свердловской области — Алапаевске, Качканаре, Серове и Верхней Пышме, которые отличаются физико-географическими и инфраструктурными характеристиками.

В зимний период было выбрано по 10 площадок в каждом городе для отбора проб снега, из которых 5 точек находились в многоэтажной, а 5 в частной застройке.

На каждой из точек была отобрана одна сборная проба СГП объемом 5 литров. В летний период было выбрано 40 площадок, снова разделенных на 20 в многоэтажной и 20 в частной застройке. На каждой из площадок была отобрана сборная проба осадка массой до 1,5 кг, которая представляет собой сборную пробу отложений из понижений микрорельефа по 3–5 локализациям на территории жилого квартала многоэтажных домов и вдоль дорог (дорожная пыль и отложения из сточных канав) в кварталах малоэтажной застройки.

Далее пробы прошли подготовку к гранулометрическому анализу и методом сухого ситования была разделена на четыре гранулометрические фракции < 0,1 мм, 0,1–1 мм и 1–3 мм и > 3 мм. Затем методом мокрого ситования навеска твердого материала из СГП и осадка фракции 0,1–1 мм была разделена на 2 гранулометрические фракции 0,1–0,25 мм и 0,25–1 мм. Фракция 0,1–0,25 мм была исключена из дальнейшего анализа, а фракции 0,25–1 мм взята для визуального анализа.

Полученная навеска фракции 0,25–1 мм массой примерно 15 г с использованием ручного магнита «РМЧ» методом магнитной сепарации была разделена на магнитную и немагнитную фракции.

Из магнитной и немагнитной фракции была извлечена методом дорожки средняя проба объемом 1000 зерен для подсчета зерен разных типов в выборке стандартного размера. Из полученных 1000 зерен деревянной палочкой были построены 5–6 дорожек примерной длиной 60 мм и шириной 3 зерна на предметном стекле под бинокулярным микроскопом МБС–10.

Из каждой дорожки методом визуальной диагностики были выделены по морфологическим особенностям с использованием деревянной палочки все возможные частицы предположительно техногенного происхождения.

Частицы были сгруппированы и в отдельные линии по морфологическим признакам: форма; структура поверхности; текстура поверхности; цвет; блеск; излом; окатанность. Частицам была присвоен генезис по визуальным признакам: природные; либо техногенные. Всего получено 18 типов техногенных частиц, которые приведены в таблице.

**Типы техногенных частиц и их морфологические особенности
в исследуемых городах**

Тип	Морфологические признаки: форма / поверхность / структура / текстура / цвет / блеск / излом / окатанность / размер мм
1	2
Силикатная сферула	Шарообразная / гладкая, корродированная/ прозрачный, бесцветный, полупрозрачный, белый, коричневый, черный / стеклянный / раковистый/ хорошая / 0,25–1
Сфероидальный агрегат	Шарообразная / зернистая / разнотернистая / пористая, пятнистая / непрозрачный, светло-коричневый, коричневый, темно-коричневый/ отсутствует / неровный, раковистый / хорошая / 0,27–0,57
Сферула металлическая	Шарообразная / гладкая, корродированная/ полигональная-текстурированная/ серо-стальной, темно-серо-стальной, черный (вкрапление оксидов железа окрашивает частицы в бурый) / металлический / неровный, раковистый / хорошая / 0,2–0,5
Сферулы в составе шлака	Силикатные и металлические сферулы в составе цементированного вещества/ 0,2–1,3
Гранулированный шлак (стекловидный)	Вспененная, стекловидная, губчатая, слабо-округлая / гладкая / стекловидная / пористая / прозрачный бесцветный, полупрозрачный (белый, серый, желтый, светло-желтый, светло-коричневый, коричневый, темно-коричневый, черный) / стеклянный / раковистый / отсутствует / 0,2–1,7
Литоидный шлак (камневидный)	Округлая / зернистая / разнотернистая / пористая, пятнистая / светло-серый, серый, светло-коричневый, коричневый, темно-коричневый, темно-зеленый, черный) / стеклянный, жирный / неровный / хорошая / 0,3–1,4
Кирпич	Округлая, плоская / зернистая, шершавая / пелитовая / пористая / непрозрачный, красно-коричневый, темно-красный с вкраплениями / матовый / неровный, раковистый/ хорошая / 0,25–1,2
Штукатурка	Приплюснутая, округлая / зернистая, шероховатая / пелитовая / пятнистая / белый, светло-серый, серый, голубоватый, желтоватый, непрозрачный/ матовый / неровный / хорошая / 0,2–1,2
Шлак металловидный	Округлая, вытянутая, уплощенная / зернистая, матовая / непрозрачный, серо-стальной, темно-серо-стальной, черный, бурый/ полуметаллический, металлический / неровный, раковистый / хорошая / 0,27–2,3
Руда	Уплощенная, кубическая, округлая / матовая / непрозрачный, серо-стальной, темно-серо-стальной, медный, золотой с синеватым отливом, зеленый, темно-серый, черный / полуметаллический, металлический / неровный, раковистый / хорошая / 0,32–1,4 мм
Стружка металлическая	Плоская, листовая, уплощенная, саблеобразная, игольчатая / гладкая, шероховатая / непрозрачный, светло-серый, серый / металлический / раковистый, неровный / отсутствует / 0,42–3,5
Фольга	Плоская, скомканная, листовая, неокатанная / гладкая / непрозрачный, светло-серый, серый, серебристый, золотой, бронзовый / металлический / отсутствует / отсутствует / 0,3–1,8
Стекло	Плоская, кубическая / гладкая, корродированная / прозрачный, бесцветный, полупрозрачный, белый, коричневый, черный/ стеклянный/ раковистый/ от резко-угловатой до хорошей/ 0,4–1,9

1	2
Краска	Эластичная, уплощенная, кубическая / шереховатая, блестящая / белый, светло-серый, серый, голубоватый, желтый, зеленый, красный, непрозрачный / матовый / неровный / отсутствует / хрупкие, но эластичные / 0,3–2,2
Полимер	Плоская, чешуйчатая, нитевидная / матовая, гладкая, жирная / Цвет прозрачный и полупрозрачный (мутно-белый, молочный, белый, светло-серый, серый, голубоватый, желтоватый, голубоватый/ матовый, жирный / неровный, раковистый, занозистый / отсутствует / 0,2–2,7
Автомобильные шины	Эластичная, червеобразная / шереховатая, гладкая, матовая / непрозрачный, черный / жирный, матовый / отсутствует / отсутствует / упругие частицы черного цвета/0,27–1,6 мм
Битум	Округлая, плоская, смолистая / шереховатая, гладкая, зернистая, липкая/ непрозрачный, черный, примеси дают светло-серый, серый, коричневый, темно-коричневый / жирный, матовый / неровный / хорошая / 0,33–1,5
Уголь	Слоистая, пористая, уплощенная / матовая, гладкая / непрозрачный, темно-серый, черный / стеклянный, жирный, матовый / неровный, раковистый, игольчатый / отсутствует / 0,28–1,5

По литературным данным были взяты возможные источники техногенного материала: металлургия, бытовые отходы, транспорт, строительные материалы, сжигание высокозольного сырья [1, 3, 4–7]. В исследуемых городах преобладающими источником поступления техногенных частиц являются строительные материалы и металлургическая промышленность.

Таким образом, используя методы шлихового анализа и визуальной диагностики при анализе летних и зимних проб малых и средних городов Свердловской области, получилось выделить частицы техногенной фазы немагнитной и магнитной фракции, а также классифицировать их по 18 типам и определить количество техногенного материала.

Всего из 132 навесок фракции 0,25–1 мм получено: 26 навесок немагнитной фракции твердого материала СГП; 26 навесок магнитной фракции твердого материала СГП; 40 навесок немагнитной фракции осадка; 40 навесок магнитной фракции осадка. Из 132 навесок для анализа было выделено 132000 частицы, из которых 119724 предположительно принадлежат к природно-минеральной фазе; а 12276 частиц к техногенно-минеральной и техногенной фазе.

Общее количество техногенных частиц в пробах СГП в среднем составляет 88 частиц на 1000 частиц твердого материала СГП. Общее количество техногенных частиц в пробах осадка в среднем составляет 107 частиц на 1000 частиц осадка.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант №24–17–20036) и Правительства Свердловской области (проект №24–17–20036).

Библиографический список

1. Coarse technogenic material in urban surface deposited sediments (USDS) / A. Seleznev, E. Ilgasheva, I. Yarmoshenko, G. Malinovsky. DOI: 10.3390/atmos12060754 // Atmosphere. 2021. Vol. 12. No. 6. Article No. 754.
2. Long-range transport of anthropogenic air pollutants into the marine air: insight into fine particle transport and chloride depletion on sea salts / L. Xu, X. Liu, H. Gao, et al. DOI: 10.5194/acp-21-17715-2021 // Atmospheric Chemistry and Physics. 2021. Vol. 21. No. 23. P. 17715–17726.
3. Urban stormwater runoff: a major pathway for anthropogenic particles, black rubbery fragments, and other types of microplastics to urban receiving waters / LM Werbowski, AN Gilbreath, K Munno, et al. DOI: 10.1021/acsestwater.1c00017 // ACS ES&T Water. 2021. Vol. 1. No. 6. P. 1420–1428.
4. Осовецкий Б. М., Меньшикова Е. А. Природно-техногенные осадки. Пермь: Пермский ун-т, 2006. 208 с.
5. Будников П. П., Значко-Яворский И. Л. Гранулированные доменные шлаки и шлаковые цементы М.: Гос. изд-во лит. по строит. и архитектуре, 1953. 223 с.
6. Шахова Л. Д., Лесовик В. С., Загороднюк Л. Х. Техногенные продукты в производстве сухих строительных смесей. Белгород: Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2011. 196 с.
7. Wawer M. Identification of technogenic magnetic particles and forms of occurrence of potentially toxic elements present in fly ashes and soil. DOI: doi.org/min10121066 // Minerals. 2020. Vol. 10. No. 12. P. 1066.

ФИТОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ТЕРРИКОНОВ ДОНБАССА: ПЕРВИЧНЫЙ СКРИНИНГ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

А. И. Сафонов¹, В. Н. Неспирный^{1,2}, Д. Н. Догадкин³

¹ Донецкий государственный университет,

г. Донецк, Россия, andrey_safonov@mail.ru,

² Институт экономических исследований,

г. Донецк, Россия, vetal_n@mail.ru,

³ Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН,

г. Москва, Россия, denisnd@mail.ru

В работе представлены результаты анализа элементного состава и накопительной способности фиторемедианта *Phleum pratense* L. на некоторых терриконах Центрального Донбасса. На основе метода главных компонент получены оценки для недостающих значений в исходных данных. Результаты корреляционного анализа дополненных данных представлены в виде тепловых карт фитогеохимического профиля для объектов угледобывающей промышленности в Приазовье.

Ключевые слова: биогеохимия, терриконы, Донбасс, ремедиация, фитоиндикация, экологический мониторинг, геохимический профиль.

Система квантификации объектов природных сред в условиях техногенеза предусматривает использование определенных аналитических процедур

[1] и методов вторичного синтеза, если совокупность сведений о состоянии локальной экосистемы представляет собой большие массивы количественных результатов. Для большей части территории Донбасса внедрение методов восстановления нарушенных экотопов [2] является приоритетной экологической задачей ввиду существенных трансформаций в результате усиливающейся антропогенной деятельности.

Цель работы – визуализировать модель нескольких фитогеохимических профилей, характерных для терриконов Донбасса с использованием методов математической статистики на основании данных элементного аналитического контроля.

Для геофизических и геохимических параметров в промышленно развитых регионах характерен определенный динамизм изменчивости [3], если наблюдаются специфические вмешательства, что для территории Донбасса актуально в период военных событий. Ранее были определены некоторые фитогеохимические особенности отвалов угольных шахт Донецка и Макеевки [4]. Полученные результаты находятся в стадии постоянного дополнения новыми сведениями, что обуславливает необходимость их упорядочения. Фитогеохимические ряды контрастных условий Донбасса были сформированы для разных таксонов и зон эктопической приуроченности, например, при использовании индикаторных видов мохообразных [5]. На рисунках 1 и 2 отображены модельные варианты фитогеохимических профилей.

Для случаев, когда результаты аналитического контроля и структурно-ботанической экспертизы представляют собой фрагментарные сведения, разработан специальный способ восстановления (импутации) недостающих сведений в конкретном ряду (последовательности) признаков [6]. Представленная работа функционально объединяет методические приёмы оценки ингредиентного состава растений (на примере установленного ремедианта *Phleum pratense* L.) как части программ фитохимической оценки сырья [7], так и учитывает ценотические закономерности [8] на примере сукцессионных процессов формирования растительного покрова в условиях импакта объектов накопленного вреда.

Основной задачей проведенного исследования являлась визуализация данных (рис. 1 и 2), корректная интерпретация которых возможна при более детальном рассмотрении и накоплении сведений. На основании полученных первичных данных обнаружено наличие тесной корреляции между элементами, а значит может быть сформулирована и в дальнейшем исследована гипотеза об их совместном поступлении в растительный организм в группах: 1) La-Ce-Sm-Tb-Pr-Nd-Gd; 2) Ho-Y-Dy; 3) Lu-Tm-Er-Yb; 4) Co-Eu; 5) Zr-Hf; 6) Rb-Tl; 7) Ca-Mo; 8) Cr-Ni. По индивидуальным сценариям мигрируют технофильные элементы: Mn, Zn, Cu, Cd, Al. Отмечены совпадения профилей терриконов А и X2, В и X4 (рис. 2) в дополнение к предыдущим описаниям [4]. В новых работах выявлен накопительный антагонизм загрязнителей с Ba, Si, Sr и Sn.

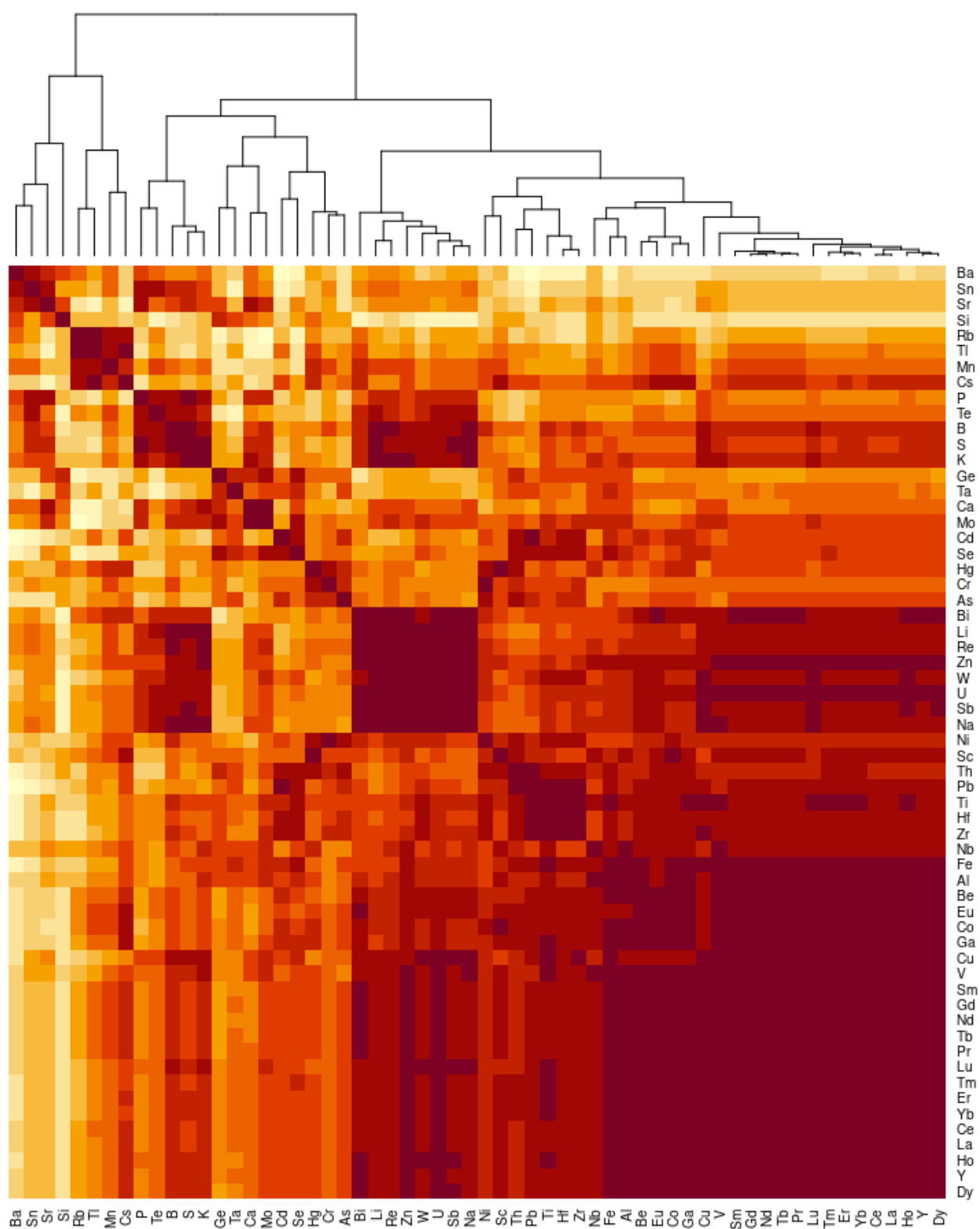


Рис. 1. Тепловая карта корреляций и дендрограмма связей элементного состава фиторемедиантов на терриконах Донбасса (интенсивность окрашивания отражает тесноту связей в парном корреляционном анализе)

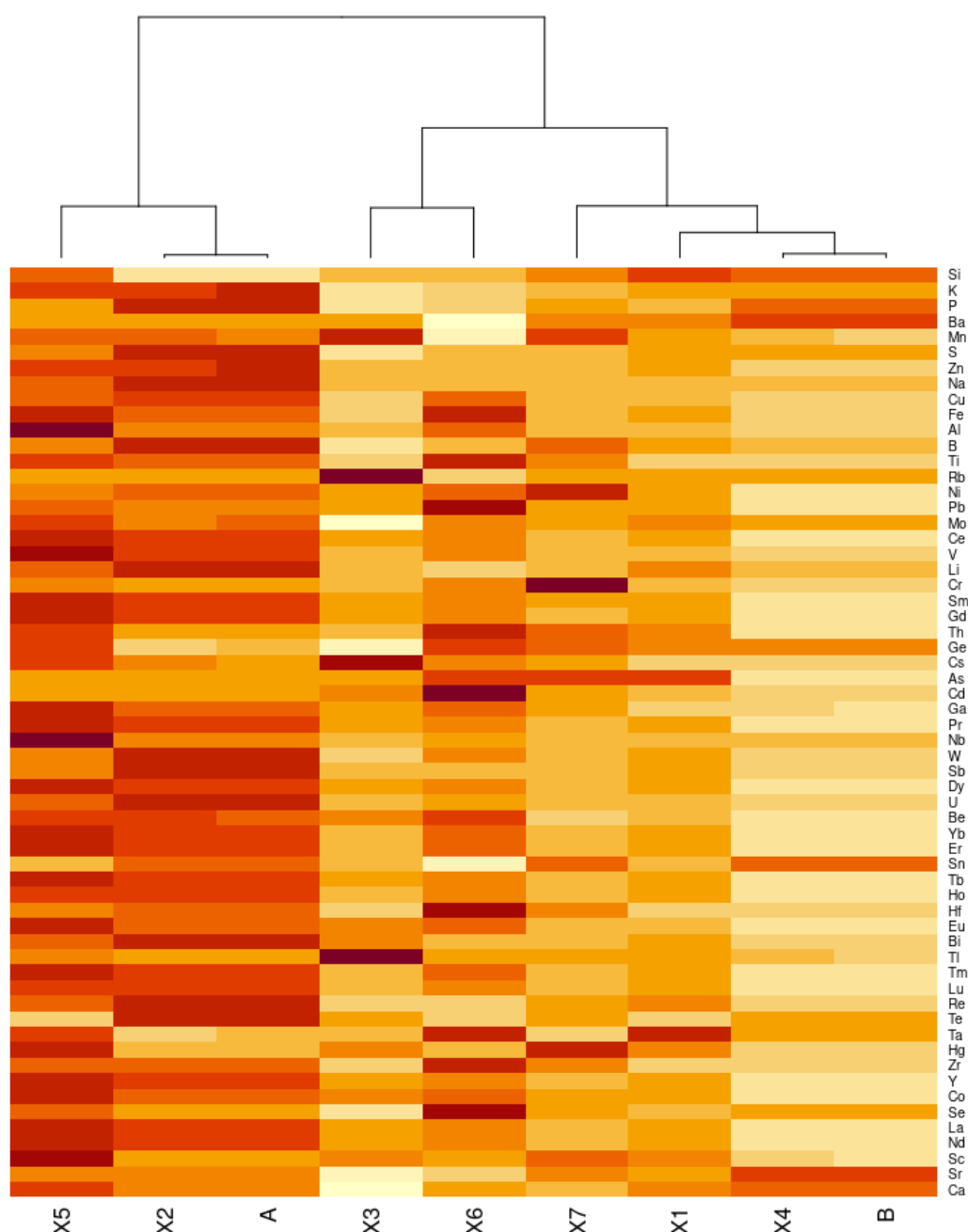


Рис. 2. Тепловая карта фитогеохимических профилей и дендрограмма связей между профилями различных терриконов Донбасса

В целевых программах по ремедиации нарушенных систем принципиально важно оперировать полученными данными о вовлечении токсичных элементов в биогеохимические процессы, что позволяет перевести свободно мигрирующие загрязнители в связанное состояние в фитосреде.

Исследование выполнено в рамках темы «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса», № госрегистрации НИОКТР 124051400023-4 (А. И. Сафонов), Азово-Черноморского математического центра, соглашение от 27.02.2025 № 075-02-2025-1608 (В. Н. Неспирный), бюджетной темы Института геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН (Д. Н. Догадкин).

Библиографический список

1. Тютиков С. Ф. Биогеохимическая аналитика почвы : Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024616844 Российская Федерация. № 2024615267 : заявл. 14.03.2024 : опублик. 26.03.2024; заявитель Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН.
2. Биоремедиация техногенно деградированных земель после завершения специальной военной операции на территории новых субъектов Российской Федерации / Т. Я. Ашихмина, Л. И. Домрачева, И. П. Погорельский и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-209-217 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 209–217.
3. Малоглубинная геофизика при оценке состояния геологической среды промышленных зон (на примере полигона твердых отходов Гомельского химического завода) / А. П. Гусев, В. Л. Моляренко, А. И. Павловский и др. DOI: 10.17308/geology.2021.4/3791 // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2021. № 4. С. 63–70.
4. Сафонов А. И., Догадкин Д. Н., Неспирный В. Н. Фитогеохимические особенности некоторых отвалов угольных шахт в Донбассе. DOI: 10.5281/zenodo.13758560 // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2024. № 3. С. 86–99.
5. Морфогенетические аномалии бриобионтов в условиях геохимически контрастной среды Донбасса / А. И. Сафонов, А. С. Алемасова, И. И. Зиньковская и др. DOI: 10.31857/S0016752523100114 // Геохимия. 2023. Т. 68. № 10. С. 1032–1044.
6. Неспирный В. Н., Сафонов А. И. Алгоритм восстановления пропущенных данных в выборке фитоиндикационного мониторинга с использованием метода главных компонент // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2024. № 1. С. 15–26.
7. Дьякова Н. А. Изучение особенностей накопления тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье синантропной флоры Воронежской области. DOI: 10.14258/jcprm.20230211725 // Химия растительного сырья. 2023. № 2. С. 163–170.
8. Zhuikova T. V., Meling E. V., Bezel V. S. Dynamics of projective coverage and species diversity of grass communities during restoration succession on fallows and dumps. DOI: 10.1134/s1067413622040087 // Russian Journal of Ecology. 2022. Vol. 53. No. 4. P. 285–294.

СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ В ПОЧВЕ ВАЛОВЫХ И ПОДВИЖНЫХ ФОРМ МЕТАЛЛОВ НА АСИММЕТРИЮ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ *BETULA PENDULA* ROTH

О. Е. Кононова^{1, 2}, А. С. Олькова², А. Т. Черезова²

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудникова, г. Киров, Россия, oksana.kononova.98@mail.ru,

² Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

В работе представлена взаимосвязь флуктуирующей асимметрии (ФА) листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) с содержанием тяжелых металлов в почве. Согласно корреляционному анализу показано, что наиболее высокие биоиндикационные показатели асимметрии листьев березы были связаны с накоплением Zn в почве. Степень связи «ФА-Zn» считается средней ($r = 0,67$). Связь «ФА-Pb» относится к незначительному уровню ($r = 0,15$).

Ключевые слова: биоиндикация, загрязнение окружающей среды, тяжелые металлы, флуктуирующая асимметрия, *Betula pendula* Roth.

Городская среда характеризуется обширным спектром различных поллютанов. Наиболее опасные из них – тяжелые металлы. В качестве индикаторов загрязнения окружающей среды могут выступать растительные организмы, обладающие способностью реагировать на изменение привычных условий среды обитания [1].

Целью нашей работы было определение взаимосвязи некоторых тяжелых металлов в валовой и подвижной форме в почве на развитие асимметрии листьев березы *Betula pendula* Roth.

К территории исследования относится 9 участков в зеленых зонах города Кирова, расположенных на территориях рекреационного значения, жилых и транспортных районах. На каждом участке были отобраны пробы почвы и листьев *B. pendula*. Проведен анализ содержания валовых и подвижных форм металлов в почве [2], а также оценка стабильности развития березы по вислой по уровню флуктуирующей асимметрии листовой пластинки [3]. Были проведены вычисления коэффициента корреляции Пирсона (r) для демонстрации уровня связи между ФА и характеристиками почвы.

На рисунке показаны результаты корреляционного анализа Пирсона «флуктуирующая асимметрия *B. pendula* – характеристика почвы».

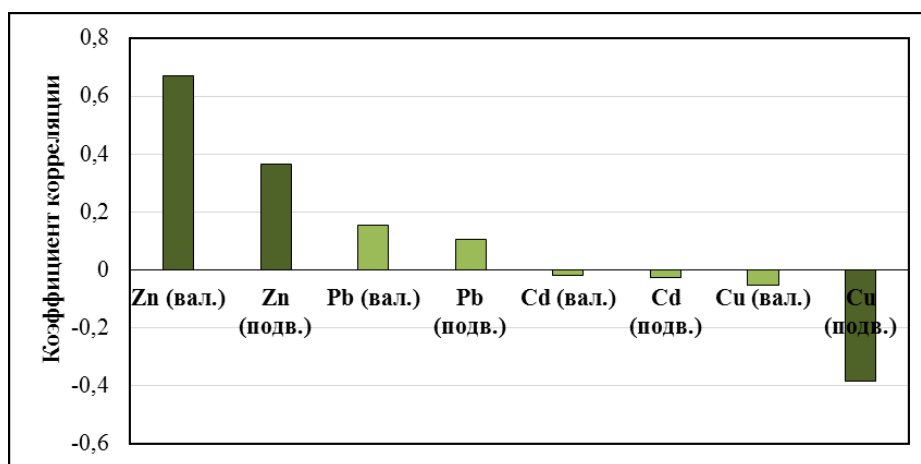


Рис. Взаимосвязь ФА листьев *B. pendula* с содержанием валовых и подвижных форм некоторых металлов.

Оттенками серого обозначены уровни взаимосвязи:
темно-серый – средний уровень взаимосвязи ($0,3 < r < 0,7$),
светло-серый – слабый уровень связи ($< 0,3$)

В результате корреляционного анализа было отмечено, что часть элементов имеет прямую корреляционную связь ФА листьев березы (содержание форм Zn, Pb, Cd), другие – обратную связь (формы Cu). Наибольшая связь биоиндикационного показателя была с Zn, при этом уровень связи валовых форм был выше (0,67), чем подвижных (0,36).

Установлена обратная корреляция подвижной формы Cu ($r = -0,38$) с листьями, вероятно, медь в пределах нормативных значений (на большинстве участков) обеспечивала стабилизацию развития листьев, т. е. снижала флуктуирующую асимметрию.

Таким образом, валовые формы металлов в большей степени влияли на развитие асимметрии листьев, это объясняется тем, что пробы почвы были отобраны из верхнего горизонта, в то время как в нижележащих горизонтах содержание подвижных форм металлов может быть выше за счет деятельности ризосферных микроорганизмов.

Библиографический список

1. Минкина Т. М., Мотузова Г. В., Мирошниченко Н. Н. Накопление и распределение тяжелых металлов в растениях зоны техногенеза // *Агрохимия*. 2013. № 9. С. 65–75.
2. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / Подгот. А. В. Кузнецов и др. М. : ЦИНАО, 1992. 61 с.
3. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Распоряжение МПР № 460-р от 16.10.2003. М. : МПР, 2003. 24 с.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ НЕКОТОРЫХ ГОРОДОВ ПРИАНГАРЬЯ

Е. Н. Максимова, О. Г. Лопатовская

*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия,
evgen_max@list.ru, lopatovs@gmail.com*

Приводятся данные анализа содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах ключевых участков химических предприятий в городах Ангарск и Усолье-Сибирское (Приангарье). Проанализировано содержание элементов: Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Cd, Ni, Cr, Ni, Mn и водорастворимого F. Отмечено загрязнение почв с превышением ПДК для ряда элементов.

Ключевые слова: почвы, загрязнение почв, тяжелые металлы, ПДК, валовые формы тяжелых металлов, подвижные формы тяжелых металлов.

Поступление тяжелых металлов в почвы Приангарья происходит главным образом за счет выбросов промышленных предприятий. Изучение загрязнения почв, как одного из важнейших компонентов биосферы – важная экологическая задача. Особо серьезная ситуация складывается в районах размещения промышленных предприятий. К числу приоритетных и опасных тяжелых металлов, загрязняющих почву населенных мест, относятся кадмий, ртуть, медь, свинец и цинк [1]. Их повышенные концентрации приводят к изменению естественных физико-химических свойств почвы, влияют на кис-

лотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия миграции химических элементов.

Для анализа содержания тяжелых металлов в почвах окрестностей Ангарского электролизного химического комбината (АЭХК, г. Ангарск Иркутская область) и «Усольехимпром» (г. Усолье-Сибирское, Иркутская область) на ключевых участках были отобраны пробы на площадках с глубин 0–10, 10–20, 20–30 см или 0–20 см в трех повторностях методом «конверта» по общепринятым методам почвенных и ландшафтно-геохимических исследований [2, 3]. В качестве приоритетных загрязнителей было проанализировано содержание следующих элементов: Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Cd, Ni, Cr, Ni, Mn, а также содержание фтора (водорастворимая форма). Определение содержания тяжелых металлов осуществлялось атомно-абсорбционным и масс-спектрометрическими методами [4]. В качестве критериев оценки уровня загрязнения использовались нормативы ПДК токсикантов [5] и территориальные фоновые значения загрязняющих веществ (Региональный фон), определенные в наиболее удалённых от источников загрязнения местах с учетом преобладающих типов почв и рельефа местности.

По результатам анализа образцов качественный микроэлементный состав почв обследованных участков можно представить в виде следующего ряда: валовые формы: $Zn > Cu > Ni > Cr > Pb > Co > Hg > Cd$ и подвижные формы: $Zn > Cu > Ni > Cr > Pb > Co \geq Cd$.

Анализ почвенных образцов, отобранных в окрестностях предприятия «Усольехимпром» показал, что максимальные значения концентраций валовых форм хрома – 30,5, кобальта – 11,34, никеля – 66,4, кадмия – 0,41, свинца – 28,71, марганца – 280 мг/кг находятся ниже ПДК, установленных для этих элементов (табл. 1). Содержание меди превышает ПДК до 1,8 раз, содержание цинка выше ПДК в 1,2 раза. По отношению к региональным фоновым значениям обстановка менее благополучная. Концентрации меди, никеля, цинка и свинца во всех образцах превышают региональный фон.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почвах (валовые формы)

№	Глубина, см	Тяжелые металлы мг/кг								
		Cr	Hg	Cd	Pb	Zn	Ni	Mn	Co	Cu
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
«Усольехимпром», г. Усолье-Сибирское										
1	0–20	22,6	1,0	0,31	15,6	83,5	49,2	210	7,24	59,7
2	0–20	30,5	1,1	1,8	28,71	188,8	66,4	280	11,34	109,2
3	0–20	25,0	0,95	0,41	14,2	98,0	38,9	180	7,5	70,5
4	0–20	25,2	1,03	0,35	16,1	87,4	41,0	190	8,04	74,6
АЭХК, г. Ангарск										
5	0–10	0	0	0,26	7,0	45	26	0	7,1	16,6
6	0–10	0	0	0,24	6,7	45	23	0	6,1	18,5
7	20–40	0	0	0,22	5,0	33	18	0	5,7	5,9
8	20–40	0	0	0,23	5,7	34	19	0	4,9	5,7
9	0–10	0	0	0,23	7,1	33	16	0	8,1	6,3

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	0–10	0	0	0,22	7,1	33	15	0	7,8	6,3
11	0–10	0	0	0,19	4,8	42	27	0	7,5	6,1
12	0–10	0	0	0,19	5,1	44	26	0	7,0	7,0
13	0–10	0	0	0,19	6,3	44	27	0	6,7	7,4
14	0–10	0	0	0,20	6,0	43	26	0	5,8	6,9
15	0–10	0	0	0,17	10,3	46	24	0	18,4	24,0
16	0–10	0	0	0,18	10	44	24	0	17,1	22,9
17	20–40	0	0	0,26	9,0	35	32	0	36,2	14,8
18	20–40	0	0	0,25	9,3	36	31	0	38,5	14,2
19	0–10	0	0	0,22	6,8	45	21	0	7,0	5,8
20	0–10	0	0	0,22	7,0	43	21	0	6,1	5,5
21	0–10	0	0	0,24	9,6	47	23	0	6,0	7,1
22	0–10	0	0	0,25	10,5	51	22	0	6,5	7,2
23	0–10	0	0	0,40	24,2	24	31	0	6,7	10,3
24	0–10	0	0	0,39	24,4	28	31	0	6,0	10,8
ПДК		90	2,1	5	32	167	104	1500	–	69
Региональный фон (РФ)		–	–	–	16	76	40	–	–	20

Примечание: жирным шрифтом обозначены превышения нормативных показателей ПДК; «–» – показатель не определялся.

Результаты анализов почвенных образцов окрестностей территории АЭХК показали, что концентрации валовых форм всех химических элементов находятся ниже ПДК (табл. 1). По отношению к фоновым значениям следует отметить, что концентрации меди и свинца в двух отличных друг от друга по местоположению образцах незначительно превышают региональный фон.

Результаты анализа содержания в образцах подвижных форм металлов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в почвах (подвижные формы)

№	Глубина, см	Тяжелые металлы, мг/кг							Водорастворимая форма
		Co	Cd	Pb	Zn	Ni	Mn	Cu	F
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
«Усольехимпром», г. Усолье-Сибирское									
1	0–20	0,24	0,19	2,98	47,1	2,09	30,8	11,2	2,74
2	0–20	0,21	1,48	2,44	70,5	3,98	28,8	19,53	3,45
3	0–20	0,26	0,27	1,86	48,9	2,4	15,2	5,23	1,12
4	0–20	0,17	0,29	3,94	44,9	1,6	16,4	2,2	4,24
АЭХК, г. Ангарск									
5	0–10	0,42	0,06	1,25	2,78	1,13	18(М)	0,75	10,7
6	0–10	0,37	0,05	0,38	3,66	0,80	19(М)	0,74	9,95
7	20–40	0,41	0,04	0,95	0,68	0,44	5(М)	0,42	3,37
8	20–40	0,39	0,03	0,87	0,63	0,50	4(М)	0,74	3,78
9	0–10	0,90	0,06	1,18	0,66	0,71	103(К)	0,45	4,44
10	0–10	0,99	0,06	0,84	0,67	0,58	102(К)	0,41	4,44

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	0–10	0,42	0,06	0,64	0,61	1,06	12(М)	0,51	3,53
12	0–10	0,51	0,06	0,85	0,55	0,59	12 (М)	0,45	3,53
13	0–10	0,40	0,04	0,86	0,74	0,70	25(К)	0,67	5,72
14	0–10	0,31	0,04	0,73	0,7	0,78	25(К)	0,51	5,72
15	0–10	2,05	0,10	2,67	6,5	0,86	37(К)	0,70	5,72
16	0–10	2,37	0,13	1,96	6,22	1,06	35(К)	0,55	6,42
17	20–40	8,2	0,03	2,41	2,61	1,20	12(М)	0,96	18,1
18	20–40	9,3	0,04	1,49	2,81	0,82	12 (М)	1,31	21,3
19	0–10	0,61	0,06	1,17	1,32	0,62	72(К)	0,41	2,44
20	0–10	0,54	0,05	0,85	1,44	0,98	72(К)	0,34	2,77
21	0–10	0,24	0,06	1,2	2,23	0,63	12(К)	0,41	2,33
22	0–10	0,31	0,05	0,86	2,05	0,43	116(К)	0,38	2,74
23	0–10	0,71	0,11	2,74	1,33	0,89	26(М)	1,04	2,87
24	0–10	0,64	0,12	1,9	1,33	0,98	22(М)	0,80	3,0
ПДК		5,0	1,0	6,0	23,0	4,0	400,0	3,0	10,0

Примечание: жирным шрифтом обозначены превышения нормативных показателей ПДК.

По содержанию подвижных форм элементов в образцах с территории «Усольехимпром» резко выделяется медь и цинк. Концентрации этих металлов превышают ПДК от трех (Zn) до шести (Cu) раз.

По количеству подвижных форм элементов в образцах с территории АЭХК выделяется кобальт (8,2 и 9,3 мг/кг соответственно), это почти в 2 раза превышает ПДК (5 мг/кг) (табл.2). Это загрязнение имеет локальный характер и не связано с технологическими циклами комбината, предположительно загрязнение является следствием влияния выбросов недалеко расположенной ТЭЦ. Несколько напряженнее положение с количеством в почвенных образцах водорастворимого фтора, соединения которого используются в технологическом цикле комбината. Его значения или приближаются к ПДК или почти в два раза его превышают. Это объясняется осаждением из атмосферы фторсодержащих соединений и их миграцией в нижележащие слои ввиду легкого механического состава почв. Остальные значения держаться в пределах нормы.

При ненормативном хранении промышленных отходов, которые по степени концентрации (сотни и тысячи кларков) и комплексу тяжелых металлов не уступают выбросам, являясь источниками повторной эмиссии в окружающую среду, возможна воздушная и водная миграции этих веществ на большие расстояния [6]. В связи с этим биогенное накопление ряда тяжелых металлов возможно не только в почве, но и в растениях на различном расстоянии от источника загрязнения. Исследования показали, что в почвах некоторых городов Приангарья концентрации тяжелых металлов превышают нормативные показатели. Это вызвано либо технологической деятельностью действующих предприятий (АЭХК), либо является следствием прошлой дея-

тельности уже закрытых объектов («Усольехимпром»). Это может быть серьезной проблемой для окружающей среды и здоровья населения региона.

Библиографический список

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Иркутской области в 2022 году : государственный доклад. Иркутск : ООО «Мегапринт», 2023. 366 с.
2. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / под ред. Н. Г. Зырина, С. Г. Малахова. М. : Гидрометеиздат, 1981. 80 с.
3. Методология и методика почвенных и ландшафтно-геохимических исследований. М. : Изд-во МГУ, 1979. 188 с.
4. Физико-химические методы исследования почв / под ред. Н. Г. Зырина, Д. С. Орлова. М. : Изд-во Московс. ун-та, 1980. 82 с.
5. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» : с изменениями № 2. М., 2021. [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 10.02.2024).
6. Салиева А. Н. Обоснование экогеохимической системы критериев оценки опасности мест размещения отходов на примере Тогаевского полигона отходов (Республика Татарстан) : спец. 03.00.16 : дис. ... канд. хим. наук. Казань, 2005. 129 с.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПРОМПЛОЩАДКИ БЫВШЕГО ЗАВОДА ВОСТСИБЭЛЕМЕНТ, Г. СВИРСК

А. С. Алексеев¹, В. В. Трусова^{1,2}, О. Л. Качор², З. Л. Икрамов²

*¹ Институт геохимии имени А. П. Виноградова Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Иркутск, Россия, jr.alexeev@gmail.com,*

*² Иркутский национальный исследовательский технический
университет», г. Иркутск, Россия, vvtrusova@geo.istu.edu*

В работе представлены результаты исследований по мониторингу экологического состояния техногенно-нарушенной территории – заброшенной промышленной площадки бывшего завода по производству аккумуляторов «Востсибэлемент», расположенного в границах города Свирск, Иркутская область. Приведено сравнение состояния данной территории с исследованиями, проведенными в 2022 г. [1], которые показывают, что загрязнение исследуемой промплощадки увеличилось, что может быть связано с вторичным загрязнением территории.

Ключевые слова: тяжелые металлы, мышьяк, техногенно-нарушенные территории, экологическое состояние, загрязнение.

В последние годы проблема увеличения объемов отходов, образующихся в результате деятельности промышленных предприятий, приобрела глобальные масштабы. Накопление отходов производства без их надлежащей

утилизации приводит к образованию загрязненных территорий с высокими концентрациями вредных химических элементов, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду и живые организмы. При этом негативное воздействие оказывают как действующие предприятия, так и заброшенные, на которых зачастую находится большое количество неликвидированных отходов. Эти отходы могут содержать токсичные вещества, способные вызывать загрязнение почвы, водоемов и атмосферного воздуха, что в свою очередь приводит не только к целостному нарушению экосистемы, но и к ухудшению здоровья населения. Поэтому актуальной задачей является оперативная оценка и мониторинг экологического состояния окружающей среды на таких территориях для возможности принятия оперативных управленческих решений.

В данной работе авторами представлены результаты исследований текущего экологического состояния на заброшенной промышленной площадке бывшего завода по производству аккумуляторов ОАО «Востсибэлемент» (ВСЭ), г. Свирск (прекратил свою деятельность в 1999 г.). На сегодняшний день заброшенная промплощадка представляет собой разрушенные в разной степени цеха и производственные помещения (рис. 1), отходы не установленного происхождения и техногенный грунт, который в силу своего высокого загрязнения правильнее было бы характеризовать как техногенные поверхностные образования.



Рис. 1. Разрушенные цеха на промплощадке ВСЭ

Одним из главных факторов создающих серьезную угрозу как для экосистемы, так и для здоровья людей, является значительное превышение нормативных и фоновых значений по содержанию тяжелых металлов и мышьяка в техногенных грунтах промплощадки завода [1], которая до настоящего времени остается нерекультивированной. Также, согласно ранее проведенным исследованиям по установлению класса опасности загрязненных техногенных грунтов биотестированием, выявлено, что на отдельных участках промплощадки присутствует настолько загрязненный грунт, что его можно отнести ко II и III классу опасности [1]. Таким образом, исследуемая пром-

площадка является источником поступления загрязняющих веществ в объекты окружающей среды, что требует регулярного мониторинга и контроля.

Экологический мониторинг состояния окружающей среды включает в себя ряд основных задач: обеспечение актуальной информацией об изменениях в экосистеме; наблюдение за химическими, биологическими, физическими процессами; наблюдение за антропогенным загрязнением атмосферы, гидросферы, грунтов, определение последствий такого загрязнения, а также на основе полученных данных создается комплексный подход к разработке рекомендаций по улучшению экологической ситуации.

В связи с тем, что в последние два года на заброшенной промплощадке завода «Востсибэлемент» ведется активная неконтролируемая деятельность по выемке металлоконструкций с соответствующим разборom имеющихся зданий и сооружений, что ведет к значительному повышению пылепереноса, были проведены работы по уточнению состояния промплощадки [2].

Осенью 2024 г. на территории промплощадки завода Востсибэлемент нами был проведен очередной отбор проб техногенного грунта. Отбор проб осуществлялся в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб». Составление схемы пробных площадок основывалось на результатах ранее проведенных исследований [1]. Общее количество отобранных образцов техногенного грунта составило 81 шт. После отбора и доставки в лабораторию пробы высушивались при комнатной температуре, далее пробы подвергались истиранию до класса минус 0,071 мм. Этот процесс позволяет получить однородный материал для последующего оперативного анализа, который проводился с помощью портативного рентгенофлуоресцентного анализатора SciAps серии X в режиме «Почва». Данный метод обладает рядом преимуществ, среди которых можно выделить экономическую целесообразность и быстрое, точное определение содержания химических элементов [3].

По результатам проведенных исследований были построены карты распределения тяжелых металлов и мышьяка в техногенных грунтах промплощадки. На рисунках 2 и 3 в качестве примера приведены карты распределения концентраций свинца и мышьяка в верхнем горизонте промплощадки.

Прослеживая динамику изменения характера загрязнения на промплощадке, можно отметить следующее: ореолы распространения приоритетных загрязнителей изменились – по результатам новых исследований участки с наибольшими концентрациями свинца и мышьяка совпадают и практически повторяют друг друга, что не отмечалось ранее. Одной из возможных причин перераспределения концентраций загрязняющих веществ и увеличения концентрации мышьяка на отдельных участках в 2–4 раза в техногенных грунтах может быть вторичное загрязнение, вызванное разрушением зданий на территории бывшего завода, выемкой коммуникаций и перемещением земляных масс, в том числе с глубины, где, согласно предыдущим исследованиям, происходило накопление загрязняющих веществ на глинистых отложениях [1].

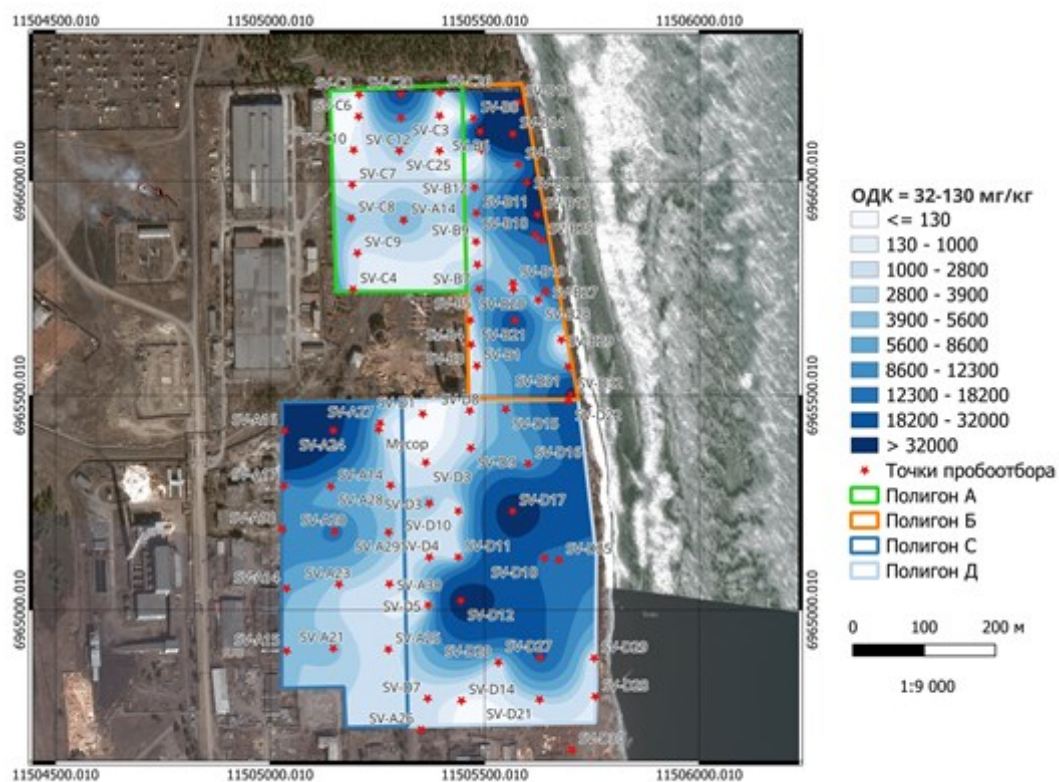


Рис. 2. Карта распределения содержания свинца в техногенном грунте промплощадки бывшего завода ВСЭ

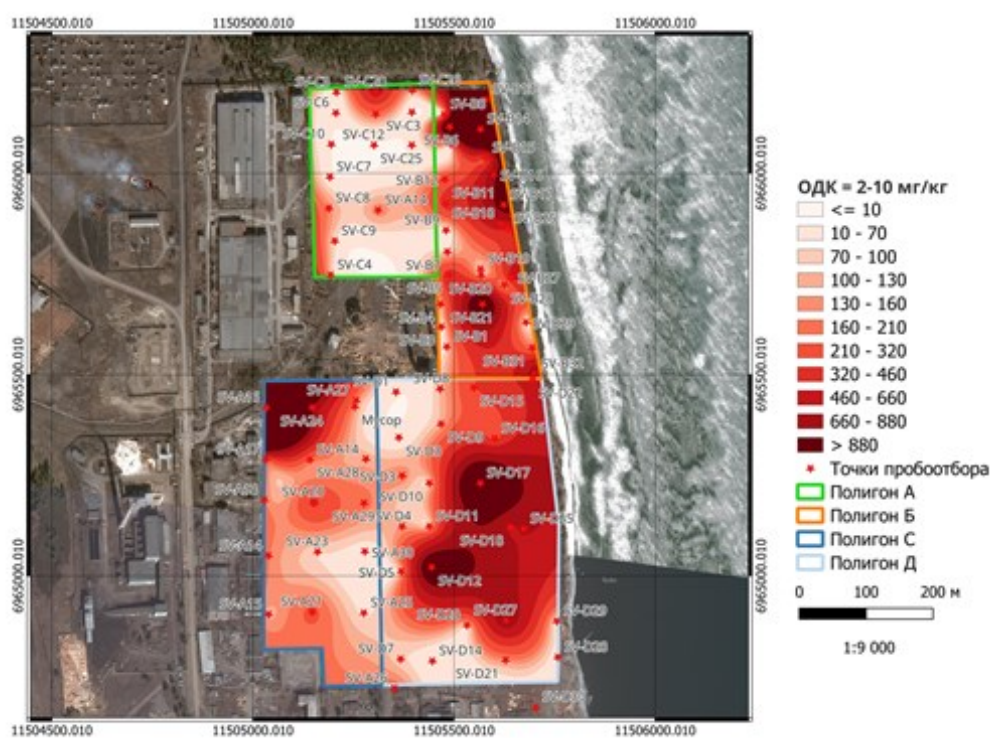


Рис. 3. Карта распределения содержания мышьяка в техногенном грунте промплощадки бывшего завода ВСЭ

Кроме того, на рисунках 2 и 3 выделены 4 зоны (полигоны А, Б, С, Д). Разбивка на данные участки производилась с учетом распределения концентраций металлов в техногенном грунте – участки с относительно невысоким содержанием и с наибольшим содержанием металлов [1] для опробования технологии извлечения металлов и мышьяка на участках с разной степенью загрязнения.

В связи с высоким уровнем загрязнения промплощадки бывшего завода ВСЭ, являющейся постоянным источником ухудшения качества объектов окружающей среды, рекомендуется продолжать мониторинг состояния данной территории, а также разрабатывать комплексные меры по восстановлению экосистемы и снижению класса опасности загрязненного техногенного грунта. Для этого авторами ведутся лабораторные исследования по изучению возможности комплексного извлечения химических элементов с использованием гравитационного и магнитного методов обогащения с целью снижения класса опасности техногенных грунтов и получения целевых продуктов (металлов) для их повторного применения [4].

Библиографический список

1. Качор О. Л., Паршин А. В., Трусова В. В. Комплексный подход к геоэкологической оценке объектов накопленного вреда. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-065-071 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 65–71.
2. Территория бывшей промплощадки Ангарского металлургического завода (г. Свирск) 10 лет спустя: современное геохимическое состояние и анализ межгодовых изменений по данным дистанционного зондирования Земли. / О. Л. Качор, В. В. Трусова, С. А. Гантимурова и др. DOI: 10.21285/2686-9993-2024-47-1-66-89 // Науки о Земле и недропользование. 2024. Т. 47. № 1 (86). С. 66–89.
3. Экспрессный рентгенофлуоресцентный анализ как современная альтернатива традиционным спектральным методам при решении задач геохимических поисков / О. В. Кузнецова, О. Л. Качор, И. А. Матюхин и др. DOI: 10.21285/2686-9993-2023-46-4-390-401 // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 4 (85). С. 390–401.
4. Первые результаты применения методов обогащения полезных ископаемых для извлечения металлов из техногенно загрязненных почвогрунтов с существенным содержанием органического вещества / В. В. Трусова, О. Л. Качор, А. С. Алексеев, А. В. Паршин. DOI: 10.21285/2686-9993-2023-46-4-432-444 // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 4. С. 432–444.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫВЕТРИВАНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Э. Р. Зайнулгабидинов, А. М. Петров, А. А. Утомбаева, Ю. А. Игнатьев

*Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия, com05@mail.ru*

Исследовано влияние длительности выветривания нефтезагрязненной серой лесной почвы на эффективность методов биологической рекультивации. Установлена зависимость деградации нефтепродуктов от начальной концентрации загрязнения и срока выветривания. Показано, что продолжительность выветривания определяет эффективность биологических методов восстановления, что позволяет оптимизировать их применение.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, биологическая рекультивация, выветривание, фитомелиорация, деградация углеводов.

В условиях постоянного увеличения объёмов нефтедобычи и развития нефтяной промышленности проблема возврата нефтезагрязнённых земель в хозяйственный оборот становится всё более актуальной. Это связано с возрастающей антропогенной нагрузкой на окружающую среду. Нефтяное загрязнение почв приводит к значительным экономическим потерям, создаёт экологические риски, как деградация почвенного покрова, снижение биоразнообразия и загрязнение грунтовых вод [1–4]. В связи с этим разработка и внедрение научно обоснованных технологий рекультивации, направленных на восстановление физико-химических и биологических свойств почв, становятся важнейшей задачей для минимизации негативных последствий загрязнения [5, 6].

В настоящее время особое внимание уделяется биологическим методам восстановления нефтезагрязненных почв, которые считаются наиболее экологически безопасными и экономически эффективными [7–9]. Эти методы основаны на использовании микроорганизмов-деструкторов и растений, что позволяет не только очистить почву от загрязнителей, но и восстановить её плодородие. Однако эффективность биологических методов во многом зависит от почвенных условий, которые формируются в процессе естественного выветривания нефтепродуктов (НП).

В зависимости от времени выветривания происходит изменение состава и свойств загрязнителя, меняются физико-химические свойства почвы, активизируется деятельность автохтонной микрофлоры, что ускоряет процессы трансформации и элиминации углеводов нефти (УВн). Это может повысить эффективность биологических методов, так как искусственно создаваемые условия могут работать в синергии с естественными процессами.

Таким образом, исследование зависимости между сроком выветривания нефтезагрязненных почв и результативностью биологических методов рекультивации является важным аспектом изучения процессов восстановления загрязненных территорий. Предполагается, что существует оптимальный срок выветривания, при котором биологические методы будут наиболее эффективными. Этот срок может различаться в зависимости от типа почвы, климатических условий, степени и характера загрязнения.

Цель данной статьи – определить влияние продолжительности предварительной технической рекультивации, ускоряющей выветривание нефтезагрязнённых серых лесных почв, на эффективность биологических методов восстановления.

В эксперименте использовали серую лесную среднесуглинистую почву, искусственно загрязненную парафинисто-сернистой нефтью смолистого типа (Ямашинское месторождение, Республика Татарстан). Нефть вносили в дозах 25, 40 и 60 г/кг почвы (варианты В1, В2, В3). Концентрацию НП в почве определяли методом ИК-спектрофотометрии в соответствии с [10] с использованием анализатора «КН-2м».

В хроническом лабораторном эксперименте, проведенном согласно [11], исследовали эффективность трех методов рекультивации:

1. Техническая рекультивация (Т) – механическое перемешивание загрязненных образцов на глубину вегетационных сосудов.

2. Биостимуляция (М) – внесение органоминеральной добавки (ОМД) в дозировке 4% от массы воздушно-сухой почвы на фоне Т.

3. Фитомелиорация (РМ) – посадка смеси растений в сочетании с ОМД. Семена высевали из расчета 12 штук на сосуд (6+6) с последующим прореживанием до 6 растений через 2 недели.

ОМД представляет собой термомеханически обработанный осадок сточных вод МУП «Водоканал» г. Казани. В качестве фитомелиорантов использовали смесь двух видов растений, принадлежащих семейству бобовых (*Vicia sativa* L.) и злаковых (*Secale cereale* L.). Выбор культур обусловлен их устойчивостью к абиотическим стрессам и способностью активировать почвенные процессы [12, 13], а также перспективностью для рекультивации нефтезагрязненных почв Среднего Поволжья [14].

Инкубацию почвенных образцов и культивирование растений проводили при комнатной температуре, влажности почвы 20–25%, освещенности 4000 Лк в течение 16 ч в сутки. Эффективность методов оценивали через 8 и 30 сут. после загрязнения по степени деградации НП.

Эксперимент проводили в трехкратной повторности. Полученные данные обрабатывали с использованием стандартных статистических методов. Достоверность различий между вариантами оценивали с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни при уровне значимости $p < 0,05$.

Сравнительный анализ эффективности трёх способов рекультивации при различных уровнях загрязнения в зависимости от срока выветривания представлен на рисунке.

На основании анализа представленных данных (рис. А) установлено, что метод Т демонстрировал максимальную эффективность на протяжении всего эксперимента, инициированного через 8 суток после загрязнения. Степень деградации нефти коррелировала с её исходной концентрацией в почве: в вариантах В1, В2 и В3 наблюдалось снижение содержания УВн на 42%, 52% и 53% соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о зависимости эффективности деградации НП от их начальной концентрации в исследуемой среде.

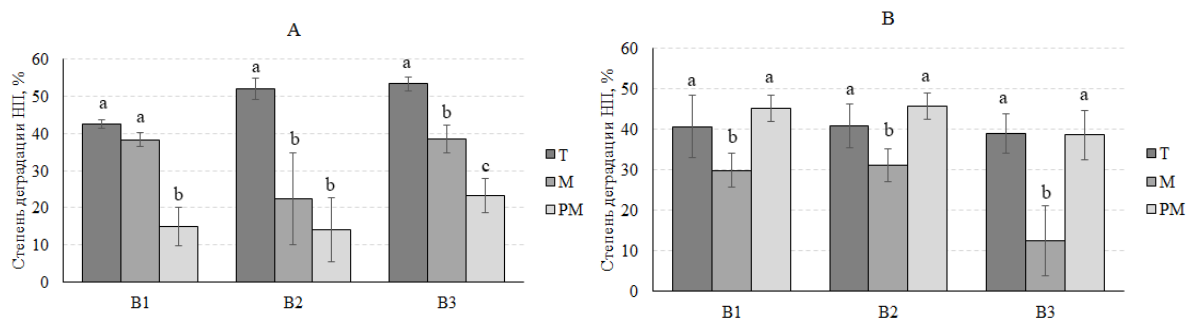


Рис. Степень деградации НП при различных способах рекультивации в зависимости от срока выветривания. Разные буквенные обозначения указывают на достоверные различия ($p < 0,05$)

Примечание: Т – Вспашка, М – стимулирование микрофлоры с добавлением ОМД на фоне Т, РМ – посадка растений после добавления ОМД. Начало эксперимента после загрязнения нефтью: А – через 8 дней, В – через 30 дней.

Метод М показал сопоставимую с методикой Т эффективность только при низких уровнях нефтяного загрязнения. Наименьшую результативность продемонстрировал комбинированный биологический метод (РМ). Это может быть связано с недостаточным временем для адаптации растений и микроорганизмов к повышенному остаточному содержанию НП в почве.

Результаты экспериментального исследования, проведенного после 30-дневного периода предварительной подготовки нефтезагрязненной почвы (рис. В), показали, что эффективность метода РМ сопоставима с результативностью обычного перемешивания (Т). Регистрируется, что с увеличением концентрации загрязнителя степень деградации НП составляет примерно 40%. Данный факт свидетельствует о высокой адаптивности растений, выращиваемых с использованием ОМД, к неблагоприятным условиям загрязненных почв после длительного процесса выветривания. Однако для повышения эффективности в условиях повышенных концентраций загрязнителей могут потребоваться дополнительные меры, такие как корректировка количества вносимых удобрений или увеличение продолжительности предварительной обработки почвы.

В то же время внесение ОМД в сочетании с перемешиванием загрязненной почвы (М) оказалось наименее эффективным методом: 30%-ная элиминация НП была отмечена только на вариантах В1 и В2, где начальные концентрации загрязнений составляли 2,5% и 4,0% соответственно. Этот резуль-

тат указывает на ограниченную применимость данного подхода в условиях высоких уровней загрязнения, что может быть связано с низкой активностью компонентов добавки в экстремальных условиях.

Проведенное исследование показало, что продолжительность процесса выветривания является ключевым фактором при выборе стратегии реабилитации нефтезагрязненных территорий. Стимулирование естественных факторов внутрипочвенной среды может существенно изменить физико-химические и токсикологические характеристики загрязняющих веществ. На начальной стадии основной задачей является интенсификация испарения лёгких углеводородных фракций, что приводит к адаптации и активизации автохтонной микрофлоры в результате падения токсичности НП. Формирующиеся в дальнейшем условия способствуют интенсификации процессов самоочищения почвы и создают благоприятные условия для применения биологических методов рекультивации, включая их комбинации, которые демонстрируют высокую эффективность даже при значительном загрязнении.

Таким образом, продолжительность процесса выветривания и сопутствующие ему физико-химические и биологические изменения являются определяющими факторами при выборе стратегии восстановления нефтезагрязненных территорий. Учет этих факторов позволяет оптимизировать применение биологических методов и повысить эффективность реабилитации загрязненных почв.

Библиографический список

1. Способ снижения экологических рисков при проведении ин ситу биоремедиации нефтезагрязненных почв / В. С. Яценко, Е. Р. Стрижакова, Г. К. Васильева, Л. В. Зиннатшина // Проблемы анализа риска. 2014. Т. 11. № 5. С. 6–17.
2. Учет прошлого (накопленного) экологического ущерба в природоохранной работе ОАО «РЖД» / Н. А. Дружина, Д. И. Васильева, И. П. Шиманчик, Ю. А. Холопов // Самарский научный вестник. 2017. Т. 6. № 1 (18). С. 27–32.
3. Башкин В. Н., Лужков В. А., Трубицина О. П. Разработка биосорбента для ликвидации последствий углеводородных загрязнений на объектах нефтегазового комплекса. DOI: 10.32686/1812-5220-2021-18-1-40-51 // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 1. С. 40–51.
4. Загрязнение почв севера Западной Сибири нефтяными и полициклическими ароматическими углеводородами: распределение и оценка экологического риска / М. Г. Опекунова, А. Ю. Опекунов, С. Ю. Кукушкин и др. DOI: 10.31857/S0032180X22110107 // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1442–1460.
5. Тишин А. С., Тишина Ю. Р. Сравнение зарубежного и отечественного опыта в очистке почв и грунтов, загрязненных нефтепродуктами. DOI: 10.23670/IRJ-2021.112.10.018 // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 10–1 (112). С. 106–112.
6. Исследования нефтезагрязненных почв и перспективные подходы к их ремедиации / С. Я. Трофимов, Е. И. Ковалева, Н. А. Аветов, И. И. Толпешта. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-4-83-93 // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2023. № 4. С. 83–93.
7. Зайнулгабидинов Э. Р., Игнатьев 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 (26). С. 53–60.

8. Созина И. Д., Данилов А. С. Микробиологическая ремедиация нефтезагрязненных почв. DOI: 10.31897/PMI.2023.8 // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 297–312.
9. Phytotoxicity of petroleum hydrocarbons: Sources, impacts and remediation strategies / F. U. Haider, M. Ejaz, S. A. Cheema et al. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111031 // Environ. Res. 2021. Vol. 197. Article No. 111031.
10. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. Утв. Госкомэкологией России 10.11.1998.
11. ГОСТ Р ИСО 22033–2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая токсичность в отношении высших растений.
12. Лапшин Ю. А. Смешанные озимые агрофитоценозы как способ производства высококачественного зеленого корма и фуражного зерна // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2016. Т. 2. № 1 (5). С. 30–35.
13. Роль сидератов в улучшении агрофизических показателей буроземно-луговой почвы в условиях Приморского края / Л. В. Митрополова, Э. В. Коротких, О. В. Павлова и др. // Кронос. 2020. № 7. С. 52–56.
14. 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 (29). С. 68–75.

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕЛИОРАНТОВ ДЛЯ ЩЕЛОЧНЫХ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

М. Х. Хето

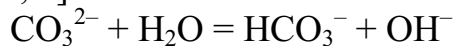
*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, mihemedhito@gmail.com*

Совместное внесение молотой серы (S^0) и навоза КРС приводит к более быстрому снижению pH щелочных засоленных почв, чем внесение S^0 без органических добавок. На фоне натуральных органических удобрений нормы внесения S^0 в щелочные засоленные почвы могут быть значительно снижены. В качестве источника серы для мелиорации почв может быть использована серогрунтовая смесь – отход, образующийся при хранении серы на серных картах.

Ключевые слова: щелочные почвы, засоление почв, химическая мелиорация, молотая сера, навоз, серогрунтовая смесь.

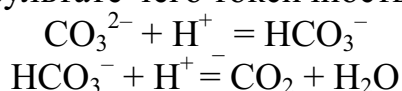
Масштабное засоление обрабатываемых земель и обусловленное этим опустынивание входит в число важнейших проблем современной экологии. Особую остроту проблема засоления приобретает в районах поливного (ирригационного) земледелия на фоне глобальных климатических изменений. Засоление представляет собой процесс накопления в почве растворимых со-

лей. С химической точки зрения тип засоления можно определить по доминирующим в почве анионам. Наиболее распространены почвы с хлоридным, сульфатным, хлоридно-сульфатным и карбонатным засолением [1]. Карбонатное засоление, обусловленное накоплением в почве соды (Na_2CO_3), считается наиболее опасным для растений, поскольку гидролиз соответствующей соли приводит к подщелачиванию почвенного раствора до вредного для живых организмов уровня [2, 3]:



По десятибалльной шкале растворимым карбонатам присвоен высший уровень токсичности – 10 баллов [4].

Для химической мелиорации щелочных почв чаще всего используют прием подкисления. Внесение подкисляющих материалов способствует разрушению карбонатов в результате чего токсичность почв уменьшается:



К числу эффективных и экологически безопасных подкислителей относится молотая сера (S^0). Под влиянием сероокисляющих микроорганизмов S^0 через ряд промежуточных стадий окисляется до серной кислоты, которая взаимодействует с Na_2CO_3 с образованием малотоксичного Na_2SO_4 (уровень токсичности – 1 балл).

В ряде публикаций последних лет показано, что для мелиорации щелочных засоленных почв могут найти применение S^0 – содержащие отходы, а именно серо-грунтовая смесь, образующаяся в местах хранения серы открытым способом (на серных картах) [5–8]. Использование отходов серы позволяет существенно снизить расходы на химическую мелиорацию щелочных засоленных почв.

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния органических удобрений (навоза крупного рогатого скота) на скорость окисления молотой серы в щелочной засоленной почве.

Для проведения исследований использовали образцы серогрунтовой смеси (СГС), отобранные с поверхности серной карты. Пред внесением в почву СГС растирали в фарфоровой ступке и просеивали через сито с размером ячеек 1х1 мм. Не поддающиеся измельчению твердые включения грунта удаляли. Для экспериментальных исследований использовали измельченную серу с небольшими включениями мелких частиц грунта, которые не отделялись при просеивании. Содержание S^0 в подготовленной для проведения исследований СГС составляло $85 \pm 5\%$, размеры частиц S^0 не превышали 0,16 мм. Более тщательная очистка серы от примеси грунта не имеет практического смысла, поскольку грунт является носителем уникальной сероокисляющей микробиоты и снижает пожароопасность мелиоранта.

Подстилочный навоз крупного рогатого скота (КРС) вносили в почву в воздушно сухом состоянии.

Образцы щелочной засоленной почвы, используемой для проведения исследований, имели следующие характеристики: удельная электропровод-

ность (УЭП) – 280 ± 22 мкСм/см; содержание CO_3^{2-} – $0,11 \pm 0,04$ мг-экв/100г; HCO_3^- – $0,75 \pm 0,14$ мг-экв/100г; рН фильтрованной водной вытяжки (1:5) – $8,8 \pm 0,2$; доля анионов, обуславливающих щелочность – выше 20% от общей суммы анионов; общая щелочность > суммы $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

Варианты эксперимента:

1. Почва без добавок (контроль);
2. Почва + СГС (1,5 г/кг);
3. Почва + навоз КРС (10 г/кг);
4. Почва + СГС (1 г/кг) + навоз КРС (10 г/кг).

Подготовленные образцы почвы смешивали с добавками согласно вариантам эксперимента, помещали в пластиковые контейнеры, увлажняли дистиллированной водой до влажности 60% и оставляли в лабораторном помещении при температуре 20 ± 2 °С в условиях естественного освещения. В течение всего периода наблюдений (24 дня с момента внесения добавок) воду в контейнеры не добавляли. Масса почвы в каждом контейнере составляла 2 кг. Исследования проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку полученных данных выполняли в программе Microsoft Excel. Для оценки статистической значимости различий средних значений определяемых показателей применяли t-критерий Стьюдента.

Пробы почвы для проведения химического анализа отбирали через 7; 13 и 24 дня после внесения добавок. Пробы отбирали из верхних слоев (из пяти точек методом конверта), почву в емкостях при этом не перемешивали. Из отобранных образцов готовили фильтрованные водные вытяжки. При фильтровании вытяжек обращали внимание на скорость фильтрования, цвет и мутность фильтрата. Приготовление вытяжек и измерение водородного показателя (рН) и удельной электропроводности (УЭП) контрольных и экспериментальных образцов засоленной почвы проводили согласно ГОСТ 26423-85.

В таблице 1 приведены данные о динамике изменения рН водных вытяжек из почвы. Следует отметить, что при измерении рН показания прибора стабилизировались очень медленно, что могло оказать определенное влияние на точность измерений. Указанные проблемы обусловлены особенностями засоленных почв с высоким уровнем рН. В щелочной среде коллоидные частицы почвы приобретают отрицательные заряды, что приводит к их взаимному отталкиванию и пептизации – переходу в жидкую фазу. Частицы коллоидного размера легко проходят через поры целлюлозного фильтра, этому способствует отрицательный заряд целлюлозы в водном растворе, который препятствует агрегации почвенных коллоидов на поверхности фильтра.

Наиболее значительное и быстрое снижение рН наблюдалось при совместном внесении в почву серы и навоза КРС (вариант № 4). Норма внесения S^0 в варианте 4 была в 1,5 раза ниже, чем в варианте 2, однако достигаемый эффект оказался выше.

Таблица 1

**Динамика изменения водородного показателя (рН) водной вытяжки
из почвы контрольного и опытных вариантов**

Вариант	рН водной вытяжки		
	7 дней	13 дней	24 дня
1	8,57±0,21	8,67±0,18	8,70±0,11
2	8,35±0,15	8,23±0,15	8,02±0,16
3	8,49±0,31	8,38±0,25	8,40±0,19
4	7,77±0,12	7,78±0,21	7,72±0,09

Примечание: жирным шрифтом выделены статистически значимые различия между контролем (вариант № 1) и экспериментом (варианты № 2–4) ($P > 0,95$).

Удельная электропроводность почвы во всех экспериментальных вариантах в течение эксперимента увеличивалась (табл. 2). Наиболее значительный рост УЭП наблюдался в варианте 4. Можно предположить, что органические компоненты навоза способствуют повышению активности сероокисляющей микробиоты, в результате чего возрастает скорость окисления S^0 и, соответственно, скорость разрушения карбонатов.

Таблица 2

**Динамика изменения удельной электропроводности водной вытяжки
из почвы контрольного и опытных вариантов**

Вариант	Удельная электропроводность, мкСм/см		
	7 дней	13 дней	24 дня
1	249±22	252±24	262±24
2	363±30	556±49	596±61
3	290±30	310±59	346±61
4	738±41	930±88	986±49

Примечание: жирным шрифтом выделены статистически значимые различия между контролем (вариант 1) и экспериментом (варианты № 2–4) ($P > 0,95$).

В таблице 3 приведены данные, характеризующие влияние добавок на содержание карбонатов и гидрокарбонатов в почве разных вариантов.

Таблица 3

**Содержание карбонатов и гидрокарбонатов в водной вытяжке
из почвы через 24 дня после внесения добавок**

Вариант	Содержание, мг-экв на 100 г абсолютно сухой почвы	
	CO_3^{2-}	HCO_3^-
1	0,11±0,04	0,75±0,14
2	Ниже предела обнаружения	0,20±0,02
3	0,09±0,03	0,45±0,08
6	Ниже предела обнаружения	0,27±0,03

Примечание: жирным шрифтом выделены статистически значимые различия между контролем (вариант №1) и экспериментом (варианты № 2–4) ($P > 0,95$).

Добавка S^0 (варианты 2 и 4) привела к снижению содержания CO_3^{2-} ниже предела обнаружения метода (ГОСТР 59540–2021). Содержание HCO_3^- в водной вытяжке снизилось в 2,8–3,7 раза. Наименее выраженный результат

наблюдался в варианте 3 (добавка навоза КРС). Полностью устранить гидрокарбонаты из щелочной засоленной почвы при внесении серы и навоза КРС не удалось. Часть гидрокарбонатов сохранялась во всех вариантах, независимо от количества внесенной S^0 . Наименьшая концентрация $НСО_3^-$ была выявлена в варианте 2 (самая высокая добавка S^0).

Через 24 дня после внесения добавок фильтрованные водные вытяжки из почвы вариантов 2 и 4 стали практически прозрачными. Вытяжка из варианта 4 имела бурый оттенок, что можно объяснить переходом в раствор органических соединений из навоза.

Выводы:

Использование отходов серы в качестве сырья для производства мелиорантов для щелочных засоленных почв имеет большое практическое значение, поскольку позволяет сократить количество техногенных отходов и улучшить экологическую обстановку в местах размещения серных отвалов.

К достоинствам СГС, как сырья для производства удобрений и мелиорантов, следует отнести экологическую безопасность (при соблюдении норм и технологии внесения в почву), высокую агрохимическую эффективность, положительное воздействие на характеристики щелочных засоленных почв.

Внесение в щелочную засоленную почву тонкомолотой СГС (S^0 -мелиоранта) приводит к снижению щелочности и повышению удельной электропроводности водной вытяжки, что облегчает удаление из почвы излишка солей методом промывания.

Эффективность серосодержащих мелиорантов значительно увеличивается при их внесении в почву на фоне органических удобрений.

Библиографический список

1. Пилипенко В. Н., Яковлева Л. В., Федотова А. В. Современное состояние засоленных почв дельты Волги // *Фундаментальные исследования*. 2005. № 8. С. 145–149.
2. Засоление почвы и его влияние на растения / В. В. Иванищев, Т. Н. Евграфкина, О. И. Бойкова, Н. Н. Жуков // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2020. № 3. С. 28–42.
3. 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.
4. Манжина С. А. К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: Российские и зарубежные практики // *Мелиорация и гидротехника*. 2021. № 3. С. 163–181.
5. Сырчина Н. В., Рутман В. В., Сазанова М. Л. Оценка безопасности мелиорантов на основе серо-грунтовой смеси методом фитотестирования // *Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Киров, 23–24 апреля 2024 г.)*. Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 276–280.
6. Иванова Н. Н., Сырчина Н. В., Мартынова Е. В. Натуральный мелиорант для восстановления плодородия почв с карбонатным типом засоления // *Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 1*. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 175–180.
7. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В. Влияние мелиорантов и удобрений на основе элементарной серы на почвенные диатомовые водоросли // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXII Всерос. науч.-практ. конф.*

с междунар. участием (г. Киров, 18–19 ноября 2024 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 198–201.

8. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Кондакова И. А. Влияние молотой серы на альгоцианофлору щелочных засоленных почв. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-1-131-140 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 1. С. 131–140.

О НЕКОТОРЫХ ИТОГАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК В РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

М. М. Акишина, Л. Г. Богатырев

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, voron-mari6@yandex.ru*

С учетом разнообразия условий почвообразования в разных географических зонах России, нами предлагается новая и более детализированная классификация подстилок, которая позволяет более точно описывать типы подстилок для полугидроморфных почв.

Ключевые слова: лесная подстилка, классификация подстилок, детритопрофиль, органическое вещество почвы.

В научной литературе существует множество классификаций типов лесной подстилки, предложенных выдающимися исследователями [1–6]. Несмотря на большое количество существующих систем, постоянно возникает потребность в их дальнейшей детализации и совершенствовании. В наших предыдущих работах [7] была предложена группировка типов детритопрофилей, которая достаточно эффективно описывает их разнообразие, по крайней мере, в пределах Дальневосточного региона.

Основная цель работы – это разработка точной и универсальной системы классификации детритопрофилей, которая будет адаптирована к условиям России. Детритопрофиль – это совокупность органогенных горизонтов, сформированных в результате последовательного преобразования наземного детрита, образующих единый генетический профиль *in situ*.

Типы детритопрофилей, характеризующиеся наличием только современной зоны активного разложения органического вещества, называемой нами современной зоной деструкции представлены последовательностью генетически связанных горизонтов, чётко ограниченных снизу минеральным слоем почвы. Они достаточно легко идентифицируемы – это подстилки деструктивного, ферментативного, гумифицированного и перегнойного типов. Их морфологические характеристики и свойства хорошо изучены и описаны в многочисленных работах.

Однако, существуют и более сложные в диагностике типы – торфянистые и торфяные подстилки, где под современной зоной деструкции залегают горизонты сильно разложившегося торфа – зоны консервации, перегнойного

горизонта или оба варианта. Их определение требует более глубокого понимания процессов торфообразования. Определение границ между этими типами детритопрофилей часто затруднено из-за постепенных переходов между ними, а также из-за влияния различных факторов среды, таких как влажность, температура и состав растительного опада. Необходимость разработки более точных и однозначных критериев для дифференциации этих типов подстилок является ключевым моментом для обеспечения надежности и сравнимости результатов исследований в разных географических зонах и экологических условиях.

Нами были собраны данные (2001 описание) по морфологии подстилок и структурированы в программе Excel. Систематизация данных выполнена на основе использования материалов из различных литературных источников и данных, предоставленных С. В. Горячкиным и Е. Ю. Погожевем, а также по дневникам экспедиции в указанных областях, полученных под руководством В. Д. Васильевской. Ключевым источником к литературным материалам по Архангельской области являлся библиографический указатель литературы, составленный Л. А. Варфоломеевым [8]. В базе данных представлены сведения, отражающие особенности строения подстилок с использованием классификации подстилок Л. Г. Богатырева [6] и детализированной нами для детритопрофилей [7].

На надтиповом уровне мы предлагаем выделить группу так называемых инкрустированных подстилок (рис.), где опад, при его поступлении на поверхность распределяется между живыми растениями, кустарничками, мхами и т. д. Дальнейшая судьба этих остатков в зависимости от условий в природе может быть различна. Альтернативу инкрустированных подстилок составляют подстилки, формирующиеся без растительного покрова (обычно это мертвопокровные участки), которые тоже могут быть различными от деструктивного, ферментативного, гумифицированного или перегнойного типа.

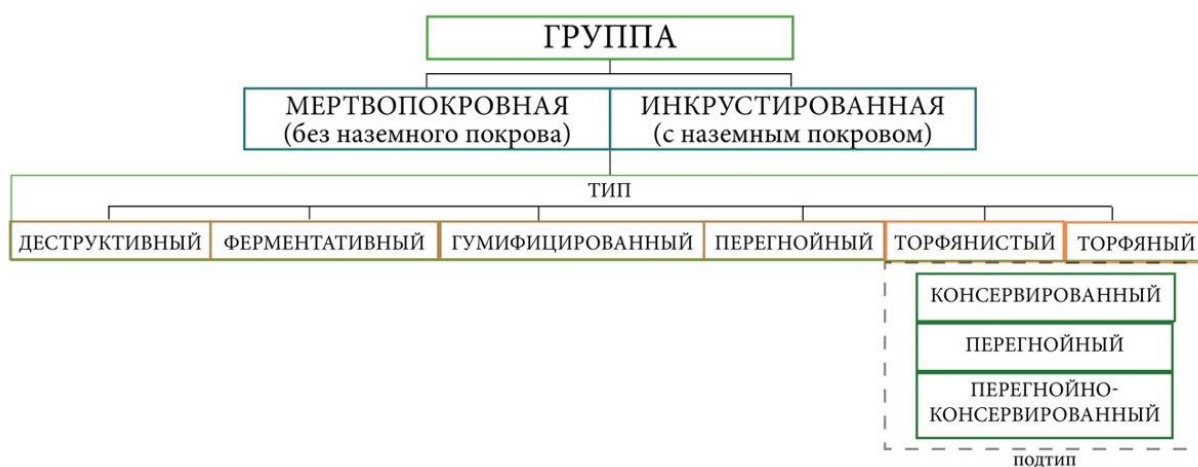


Рис. Детальная группировка детритопрофилей

Детальный анализ строения детритопрофилей проведен для территории Европейского Севера, описания которых охватывает Архангельскую область,

Вологодскую область, Костромскую область и Мурманскую область; Дальневосточный регион (Амурская область, Каларский район в Забайкальском крае, Хабаровский край, Приморский край); Камчатский край; Полуостров Таймыр; Нерюнгринский район (Республике Саха (Якутия)).

Уточненная классификация позволила выявить особенности формирования подстилок в тундровых и таежных ландшафтах различных областей России.

В собранных данных по Европейскому Северу прослеживается зональная изменчивость от арктической тундры до южной тайги. При этом основным критерием различия северотаежных и среднетаежных экосистем является преобладание гипоарктических видов в северной тайге, таких как багульник и голубика, мхи долгомошники, в то время как в средней тайге эти виды встречаются лишь на болотах. Вологодская и Костромская области в основном составляют южную тайгу.

Установлено, что в арктической тундре, несмотря на широкий диапазон типологии подстилок, отсутствуют гумифицированные типы. В гидроморфных условиях, при маломощной современной зоне деструкции (11,5 см), формируется зона консервации (15 см). На территории типичной тундры деструктивные типы составляют 30% при средней мощности 2 см, ферментативные типы – 10% с мощностью 7 см, а гумифицированные и перегнойные типы составляют 20% при мощностях 9 см и 19,5 см соответственно.

Особенности подстилкообразования в лесотундровых экосистемах в условиях хорошего дренажа включают формирование деструктивных и ферментативных типов детритопрофилей, тогда как в полугидроморфных и гидроморфных условиях формируются перегнойные или торфяные типы, где мощность современной зоны деструкции может достигать 28 см, а мощность всего детритопрофиля – около 80 см.

В отличие от более северных экосистем, в северотаежных экосистемах широко распространены ферментативные типы подстилок (28%). По распространенности близки гумифицированный (16%), деструктивный (16%) и перегнойный типы (17%). Торфяно-консервированные типы с средней мощностью детритопрофиля 70 см составляют 10% от общего числа типов в этой подзоне.

Среднетаежные экосистемы, как и предыдущие, преимущественно представлены ферментативными (29%), гумифицированными (24%) и деструктивными (20%) типами подстилок, что обусловлено изменением биоклиматических условий. На территории южной тайги встречаются четыре основные группы подстилок: деструктивные (23%), ферментативные (23%), гумифицированные (21%) и перегнойные (12%).

Анализ встречаемости типов детритопрофилей в разных экосистемах Европейского Севера показывает, что доля участия подстилок зависит от репрезентативности объектов исследования, однако при интегральном рассмотрении эта доля отражает существующую реальность. Подстилкообразование, независимо от типа фитоценоза, всегда следует за изменением гидро-

морфизма в широком диапазоне гидротермических условий, от тундры до тайги.

Более сложный характер носит генезис и распространение подстилок в условиях горных экосистем.

Так, на территории Приохотья почвообразующие породы представляют собой сложное чередование горных пород различных возрастов и генезиса. Растительный покров довольно разнообразен и включает как элементы тундровой растительности, так и темнохвойные и светлохвойные типы. Кроме того, эта территория характеризуется распространением многолетнемерзлых пород.

На основании анализа этих территорий ранее нами были выделены и детализированы типы детритопрофилей, в части касающейся описания торфянистых и торфяных типов. С помощью новой структурной единицы – детритопрофиль – удалось значительно улучшить анализ и проследить особенности превращения органического вещества в условиях различных факторов его образования.

Для Нерюнгринского района, расположенного в среднетаежных лесах на горном рельефе, детритопрофили представлены в основном деструктивным (34%), торфянистым (16%) и торфяным (32%) типами. Более мощные торфяно-консервированные типы также представлены в значительной мере, составляя 9%, и приурочены к различным гидроморфным типам почв под листовенничными лесами, расположенными на западинах холмов между ручьями и старицами рек.

На примере Камчатки, где торфянистые типы преобладают, был выявлен характерный для региона детритопрофиль, включающий опад, слой пепла и торфяной горизонт. Анализ других регионов, таких как Ямало-Ненецкий автономный округ и полуостров Таймыр, показал различия в распространении гидроморфных и полугидроморфных типов, а также специфическое влияние мерзлоты на формирование торфянисто-перегнойных и торфяно-консервированных типов.

Детализированная типология подстилок позволила продемонстрировать, что, несмотря на региональные особенности гидротермического режима, существует определенная гармония в соотношениях между различными составляющими детритопрофилей. Это в первую очередь подтверждает правильность предложенной классификационной схемы.

Наша работа также подчеркнула важность учёта биологических факторов в классификации подстилок, что особенно актуально для разделения экосистем северной и средней тайги. На основании полученных данных мы предлагаем модификацию классификации [1], поднимая тип опада на более высокий таксономический уровень.

Так, состав опада, являясь одним из важных характеристик, которая отражает тип леса и особенности устойчивости растительного опада к разложению представляется в ранге «подтип». В свою очередь, мощность гумусового горизонта в меньшей степени характеризует морфологическое строение

лесных подстилок, хотя и отражает направленность гумусообразования. Таким образом, в предлагаемом нами варианте на уровне типа остаются преобладающие процессы, связанные с развитием объекта, а на уровне подтипа – состав опада, отражающий происхождение объекта. Мощность самой подстилки и мощность гумусового горизонта отражаются на низшем таксономическом ранге.

Таким образом, подстилки представляют собой единое экологическое пространство, обеспечивающее оптимальное функционирование наземных экосистем в рамках биогеохимических циклов.

Уточненная классификация в большей степени отражает процессы подстилкообразования в различных экосистемах России.

Библиографический список

1. Шумаков В. С. Принципы классификации, номенклатуры и картирования лесных подстилок // Сб. работ по лесному хозяйству. М., 1958. С. 199–216.
2. Ремезов Н. П. Разложение лесной подстилки и круговорот элементов в дубовом лесу // Почвоведение. 1961. № 7. С. 1–12.
3. Кошельков С. П. Лесные подстилки еловых и сосновых лесов южной тайги и принципы их классификации : спец. 06.00.00 : дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1964. 236 с.
4. Сукачев В. Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л. : Наука. Ленингр. отделение, 1972. 418 с.
5. Сапожников П. М. Лесная подстилка – номенклатура, классификация и индексация // Почвоведение. 1984. № 5. С. 96–105.
6. Богатырёв Л. Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. № 3. С. 118–127.
7. Особенности морфогенеза детритопрофилей малоизученных экосистем Приохотья / Л. Г. Богатырев, М. С. Малинина, В. П. Самсонова и др. // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2014. № 1. С. 3–8.
8. Почвенные исследования на Европейском Севере России : (Арханг. обл. Нен. авт. округ) : Библиогр. указ. лит., 1763 – 2001 / Сост. Л. А. Варфоломеев. Архангельск : Изд-во СГМУ, 2002. 232 с.

МОНИТОРИНГ РАЗВИТИЯ ЛУГОВЫХ АССОЦИАЦИЙ ПОЙМЫ р. БЕСЕДЬ ВЕТКОВСКОГО РАЙОНА ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев

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

В статье представлены результаты мониторинга динамики луговых ассоциаций поймы р. Беседь. Выявлены основные динамические тренды, сформировавшиеся в процессе ксерофитизации поймы на фоне антропогенного воздействия на растительность. Проведенные эколого-флористические исследования травяной растительности поймы р. Беседь позволили разработать классификацию и выявить ее динамику.

Ключевые слова: мониторинг, луговые ассоциации, пойма, р. Беседь, ксерофитизация.

Глобальное потепление климата, которое наблюдается в последнее десятилетие, затрагивает процессы, происходящие на пойменных луга. Пойменные луга характеризуются выраженным динамизмом как временных, так и пространственных параметров, в зависимости от времени и продолжительности паводков, почвенных условий, уровня грунтовых вод, интенсивности хозяйственного использования [1].

Цель работы – оценить динамику состояния пойменных экосистем в условиях изменения гидрологического режима и ксерофитизации пойменных лугов.

Объектом исследования являлись луговые ассоциации поймы р. Беседь Ветковского района Гомельской области.

Флористический состав изучали по методу А. А. Корчагина одновременно с геоботаническим описанием травостоев луговых экосистем [2]. На основе эколого-флористической классификации луговых экосистем определена их синтаксономия системы Браун-Бланке [3]. Фитоиндикация проведена по эколого-гическим шкалам Элленберга [4].

В 2024 г. продолжились исследования динамики луговых ассоциаций поймы р. Беседь Ветковского района. Падение уровня весенних паводковых вод привело к изменению флористического состава и структуры растительных сообществ. Данные о фитоценоотическом разнообразии поймы р. Беседь, собранные с 1975 г., позволили провести его сравнительный анализ в синтаксономическом пространстве с выявлением основных динамических трендов, сформировавшихся в процессе ксерофитизации поймы на фоне антропогенного воздействия на растительность. Проведенные флористико-геоботанические обследования травяной растительности поймы реки Беседь позволили разработать классификацию и выявить динамику пойменных лугов в условиях ксерофитизации поймы. Анализ флористического состава изучаемых сообществ показал, что при изменении влажности субстрата изменяются обилие-покрытие, жизненность характерных видов ассоциаций, состав ценофлор. Процесс ксерофитизации приводит к формированию вариантов ассоциаций, которые представляют собой стадии сукцессионных изменений.

Сравнивая ассоциацию *Deschampsio-Poetum palustris* в пойме р. Беседь Ветковского района в 1981 г. и проведенный анализ в 2024 г., выявили, что ассоциация 1981 г. подверглась изменению и стала ассоциацией *Deschampsietum cespitosae* (табл. 1, 2).

Таблица 1

Ассоциация *Deschampsio-Poetum palustris* в пойме р. Беседь, 1981 г.

Номера описаний	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Класс по- стоян- ства
Проективное покрытие, %	85	85	80	80	85	85	80	80	85	85	
Количество видов на 100 м ²	15	5	18	17	16	17	18	18	14	17	
Диагностические виды ассоциации											
<i>Poa palustris</i> *	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	V
<i>Deschampsia cespitosa</i> *	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	V
<i>Ranunculus repens</i> *	•	1	2	2	2	1	1	2	1	1	V
Д. в. <i>Agropyro-Rumicion crispi</i>											
<i>Potentilla anserine</i>	2	2	1	1	1	1	•	1	•	•	IV
<i>Leontodon autumnalis</i>	1	1	1	•	•	•	1	1	•	•	III
<i>Agrostis gigantea</i>	1	1	•	•	•	•	•	1	•	•	II
Д. в. <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>											
<i>Rhinanthus vernalis</i>	•	•	1	1	1	1	2	1	1	1	IV
<i>Phleum pratense</i>	1	1	•	•	•	1	1	1	•	•	III
<i>Ranunculus acris</i>	1	1	•	•	•	•	1	•	•	•	II
<i>Poa trivialis</i>	•	•	1	1	1	•	•	•	•	•	II
<i>Trifolium pratense</i>	•	•	•	•	•	•	1	•	1	1	II
Д. в. <i>Molinietalia</i>											
<i>Filipendula ulmaria</i>	•	•	•	•	1	1	•	1	•	•	II
Д.в. <i>Arrhenatherion elatioris</i>											
<i>Campanula patula</i>	•	•	•	•	•	1	1	•	1	1	II
Д.в. <i>Cynosurion</i>											
<i>Trifolium repens</i>	1	1	•	•	•	1	1	1	1	1	IV
<i>Phragmitetea, Phragmitetalia</i>											
Д. в. <i>Magnocaricion</i>											
<i>Galium palustre</i>	1	1	1	1	1	1	•	•	•	•	III
<i>Carex acuta</i>	•	•	1	1	1	•	1	1	•	•	III
Прочие виды											
<i>Alopecurus geniculatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	•	1	V
<i>Rumex thyrsiflorus</i>	1	1	•	•	•	1	1	1	1	1	IV
<i>Stellaria palustris</i>	1	1	1	1	1	•	•	1	•	•	III
<i>Equisetum arvense</i>	•	•	1	1	1	•	•	•	1	1	III
<i>Prunella vulgaris</i>	•	•	1	1	•	1	1	•	1	1	III
<i>Agrostis tenuis</i>	•	•	1	1	•	1	1	•	•	•	II
<i>Thalictrum lucidum</i>	•	•	•	•	1	1	1	•	•	•	II
<i>Lysimachia nummularia</i>	•	•	•	•	•	•	1	•	1	1	II

Примечание: здесь и далее в табл. 2–4: класс постоянства для каждого вида: I – до 20%; II – 21–40; III – 41–60; IV – 61–80; V – 81–100%. Проективное покрытие отдельных видов растений в баллах: + – меньше 1%; 1 – менее 5%; 2 – 6–15; 3 – 16–25; 4 – 26–50; 5 – более – 50%. Сноской * отмечены диагностические виды, • – отсутствие вида.

Кроме того, единично встречены: *Agrostis canina* (10), *Agrostis stolonifera* (8), *Anthoxanthum odoratum* (7), *Beckmannia eruciformis* (3, 4), *Galium uliginosum* (9, 10), *Lysimachia vulgaris* (3, 4), *Phragmites australis* (10), *Plantago lanceolata* (8), *Poa pratensis* (8), *Polygonum hydropiper* (3, 4), *Polygonum persi-*

caria (5), *Ranunculus flammula* (5, 6), *Rhinanthus minor* (9, 10), *Rorippa palustris* (1, 2), *Rumex crispus* (1), *Vicia cracca* (6, 8).

Таблица 2

Ассоциация *Deschampsietum cespitosae* в пойме р. Беседь, 2024 г.

Номера описаний	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Класс постоян- ства
Проективное покрытие, %	80	80	80	85	85	85	80	80	85	85	
Количество видов на 100 м ²	10	9	11	7	11	10	11	8	9	8	
Диагностический вид ассоциации											
<i>Deschampsia cespitosa</i> *	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	V
X. в. класса <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>											
<i>Vicia cracca</i>	•	+	•	+	+	•	+	+	•	•	III
<i>Rhinanthus minor</i>	+	•	+	•	•	+	•	•	+	+	III
<i>Festuca pratensis</i>	•	+	•	+	+	•	+	+	•	•	III
<i>Poa pratensis</i>	+	•	+	•	•	+	•	•	+	+	III
<i>Achillea millefolium</i>	•	+	•	+	+	•	+	+	•	•	III
<i>Centaurea jacea</i>	+	•	+	•	•	+	•	•	+	+	III
<i>Elytrigia repens</i>	•	+		+	+		+	+	•	•	III
<i>Geranium pratense</i>	•	•	+	+	•	+	+	•	•	+	III
<i>Plantago lanceolata</i>	+	+	•	•	+	•	•	+	+	•	III
<i>Taraxacum officinale</i>	•	•	+		+	+	+	•	•	•	III
<i>Ptarmica cartilaginea</i>	+	•	+	•	+	•	+	•	+	•	III
Прочие виды											
<i>Rumex thyrsiflorus</i>	1	•	1	•	•	1	•	1	•	1	III
<i>Ranunculus auricomus</i>	+	+	•	•	+	•	+	•	+	•	
<i>Lythrum virgatum</i>	•	+	+	•	+	•	+	•	+	•	III

Кроме того единично встречены: *Rumex crispus* (3), *Dianthus deltoides* (5), *Potentilla erecta* (6).

Так, проводя сравнительный анализ ассоциации *Caricetum gracilis*, вариант *Glyceria maxima-Glyceria fluitans*, субвариант *Oenanthe aquatica* в пойме р.Беседь, описанную в 1981 г. на плоском понижении правобережной центральной поймы в 3 км юго-восточнее д. Казацкие Болсуны на дерново-глеевой, суглинистой почве (табл. 3) и повторно описанную в июне 2024 г. выявили, что эта ассоциация уже имела вариант *Cirsium arvense* (табл. 4), свидетельствующий об изменении гидрологического режима.

Сорно-рудеральный вид бодяк полевой формирует основу травостоя с участием *Carex acuta* и *Achillea salicifolia*. *Cirsium arvense* – вегетативно-подвижный вид; «индифферентно» относится к влажности почвы, но предпочитает субстраты, богатые минеральным азотом. Такие условия бодяк полевой находит на участках деградирующих остроосокых лугов, заполняя промежутки между кочками или поселяясь на разложившихся кочках осоки острой. Наряду с характерными видами сырых лугов в ценофлоре возрастает численность и обилие видов влажных лугов порядка *Molinietalia*. Обилие *Carex acuta* в таких сообществах постепенно снижается. Флористическая насыщенность 8–14 видов на 100 м².

Таблица 3

**Ассоциация *Caricetum gracilis*, вариант *Glyceria maxima*,
субвариант *Rorippa amphibia* в пойме р. Беседь, 1981**

Номера описаний	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Класс постоянства
Проективное покрытие, %	80	80	75	80	80	75	75	70	70	
Количество видов на 100 м ²	11	14	13	13	10	13	9	9	7	
Характеристика почвы										
Влажность	7,6	7,5	7,6	7,7	7,8	7,7	7,8	7,8	7,7	
Кислотность	6,1	6,3	6,3	5,9	6,5	6,7	6,9	6,5	6,7	
Обеспеченность мине- ральным азотом	6,0	5,8	6,1	5,5	5,6	5,9	5,8	5,8	6,0	
Диагностический вид (д.в.) ассоциации <i>Caricetum gracilis</i>										
<i>Carex acuta</i> *	4	3	3	2	2	3	2	2	2	V
<i>Glyceria maxima</i> *	4	3	4	5	5	4	4	4	4	V
Д. в. субварианта										
<i>Rorippa amphibia</i> *	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
Прочие виды										
<i>Agrostis stolonifera</i>	1	1	•	2	2	1	1	1	1	IV
<i>Glyceria fluitans</i>	1	1	•	1	1	1	1	•	•	III
<i>Ranunculus flammula</i>	1	1	•	1	1	•	1	•	•	III
<i>Stellaria palustris</i>	•	1	1	1	1	•	•	1	1	III
<i>Oenanthe aquatic</i>	•	1	•	1	2	2	1	•	•	III
<i>Galium palustre</i>	•	•	•	1	1	•	•	1	1	III
<i>Alisma plantago – aquat- ica</i>	•	•	•	1	1	1	1	1	1	III
<i>Sium latifolium</i>	•	•	•	1	1	1	1	1	1	III
<i>Phalaroides arundinacea</i>	•	•	•	1	1	1	•	•	•	II
<i>Iris pseudacorus</i>	•	1	1	•	•	•	1	•	•	II

Примечание: здесь и в табл. 4: шкала влажности почв (F) – 7,5–7,8: влажные местообитания. Шкала кислотности почв (R) – 5,9–6,9: от умеренно кислых до слабо кислых почв. Шкала азотного богатства почв (N) – 5,5–6,1: от умеренно обеспеченных до богатых азотом.

Таблица 4

**Ассоциация *Caricetum gracilis*, вар. *Cirsium arvense*,
р. Беседь, 2024 г.**

Номера описаний	1	2	3	4	5	6	7	Класс постоянства
Проективное покрытие, %	75	75	80	80	75	75	75	
Количество видов на 100 м ²	11	14	15	16	12	14	15	
Характеристика почвы								
Влажность	7,5	7,7	7,6	7,5	7,5	7,6	7,5	
Кислотность	6,2	6,5	5,8	6,0	5,9	6,5	6,7	
Обеспеченность минеральным азотом	6,0	6,2	5,9	5,8	5,7	6,2	6,0	
Характерный вид (х.в.) ассоциации <i>Caricetum gracilis</i>								
<i>Carex acuta</i> *	3	3	3	2	2	3	2	V
Дифференцирующие виды вар. <i>Cirsium arvense</i>								
<i>Cirsium arvense</i> *	3	2	2	3	2	3	3	V
<i>Stachys palustris</i> *	1	1	2	1	1	+	+	V
<i>Achillea salicifolia</i> *	+	+	1	+	1	+	+	V
X. в. класса <i>Phragmito – Magnocaricetea</i>								
<i>Lythrum salicaria</i>	+	+	r	•	•	•	•	III
<i>Scutellaria galericulata</i>	•	•	+	+	•	+	•	III
<i>Stachys palustris</i>	•	+	+	•	•	+	•	III
<i>Stellaria palustris</i>	+	•	•	+	+	•	•	III
<i>Iris pseudacorus</i>	•	+	+	•	•	•	+	III
X.в. класса <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>								
<i>Ranunculus repens</i>	•	1	•	1	+	+	•	IV
<i>Poa palustris</i>	+	•	+	+	•	•	+	III
<i>Deschampsia cespitosa</i>	•	+	•	+	•	+	+	III
<i>Potentilla anserina</i>	•	+	+	•	+	•	•	III
<i>Veronica longifolia</i>	+	•	+	+	•	+	+	III
<i>Galium uliginosum</i>	•	r	•	•	+	•	•	III
<i>Vicia cracca</i>	+	•	r	•	+	+	•	III
<i>Equisetum palustre</i>	•	+	•	+	•	•	+	III
Прочие виды								
<i>Echinocystis lobata</i>	•	•	+	+	+	+	+	IV
<i>Rumex crispus</i>	•	•	+	+	•	r	r	IV
<i>Bidens frondosa</i>	•	•	+	+	+	+	+	IV
<i>Kadenia dubia</i>	+	•	•		r	•	+	III
<i>Galium palustre</i>	•	+	•	r	•	+	•	III
<i>Elytrigia repens</i>	+	r	•	•	•	r	+	III

Таким образом, падение уровня грунтовых вод, приводит к изменению флористического состава и структуры растительных сообществ. Поэтому необходимо изучать реакцию видов, популяций, луговых сообществ на эти климатические изменения.

Библиографический список

1. Сапегин Л. М., Дайнеко Н. М. Хозяйственная типология пойменных лугов Белорусского Полесья // Изучение и сохранение пойменных лугов : материалы междунар. совещания (Калуга, 26–28 июня 2013 г.). Калуга : ООО «Ноосфера», 2013. С. 53–58.
2. Корчагин А. А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника. Т. 3. М.; Л. : Наука, 1964. С. 39–131.
3. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Wien – New York : Springer-Verlag, 1964. 865 s.
4. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. Gottingen, 1974. 349 p.

СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *FICARIA VERNA* HUDS. В УСЛОВИЯХ УРБАНОСРЕДЫ ДОНБАССА

А. В. Калинина

Донецкий государственный университет,
г. Донецк, Россия, kalinina.angela91@mail.ru

В статье представлены результаты изучения структуры ценопопуляций *Ficaria verna* Huds. в условиях урбанизированной среды г. Макеевки. Определена фитоценотическая характеристика растительных сообществ, в состав которых входит чистяк весенний, а также онтогенетическая структура ценопопуляций *F. verna*.

Ключевые слова: раннецветущие виды, ценопопуляции, антропогенно трансформированные территории, онтогенетическая структура, г. Макеевка.

Чистяк весенний (*Ficaria verna* Huds.) является распространенным весенним эфемероидом на урбанизированной территории Донбасса [1]. Вегетация чистяка весеннего на городских ландшафтах Донецкого региона начинается с середины марта и продолжается до начала мая. *F. verna* – многолетнее почвопокровное растение, которое характеризуется ранним вегетационным периодом и быстрым прохождением онтогенеза.

Чистяк весенний образует моновидовые куртины, которые покрывают почву, снижают запыленность воздуха, препятствуют эрозии почвенного покрова, отмершие части растения обогащают грунт элементами питания и гумусовыми веществами [1, 2]. Кроме этого, *F. verna* привлекают опылителей, являются медоносом, служат пищей для насекомых, которые питаются пыльцой. Вид используется как лекарственное растение, а также употребляется в пищу. Соответственно, чистяк весенний – важный компонент городской экосистемы, обладающий рядом полезных свойств.

Ценопопуляционные исследования раннецветущих видов – актуальное направление в ботанике и экологии, которое позволяет определить устойчивость трансформированных сообществ, установить отклонения в развитии видов, выявить основные механизмы адаптационного генеза видов, а также способы оптимизации нарушенных экосистем [3–5]. Такие исследования важны для

разработки мер по обеспечению экологической безопасности в городской среде.

Цель исследования – определить особенности фитоценотической и онтогенетической структуры популяций *F. verna* в условиях урбанизированной среды г. Макеевки.

Объектом исследования работы является представитель семейства Ranunculaceae чистяк весенний – *F. verna*. Это травянистый корнеклубневой геофит, по требовательности к влажности почв является мезофитом, относительно плодородия почв – мезотроф, по световому режиму – гелиосциофит, по ценотической приуроченности – силвант. Наряду с указанной экологической характеристикой вида следует отметить, что *F. verna* может выступать гемизвритопом, что свидетельствует о его толерантности к широкому диапазону экологических условий [6].

В работе представлены результаты наблюдений за 2023–2024 гг., которые осуществлялись на территории г. Макеевки. Использованы маршрутный, фитоценотический и популяционный методы исследования. Для каждой пробной площадки были составлены геоботанические описания в пределах границ фитоценозов. Особенности онтогенетической структуры определяли с помощью методов и подходов, предложенных советскими и российскими исследователями [7–9].

Изучение онтогенетической структуры было выполнено для трех ценопопуляций (ЦП), сформированных в местообитаниях с разной степенью антропогенной нагрузки: ЦП 1 была выявлена на прилегающей территории к железнодорожному полотну, на расстоянии 5 м от железнодорожного пути; ЦП 2 расположена рядом с образовательным учреждением, где отмечается высокая интенсивность движения пешеходов; ЦП 3 сформирована на внутридомовой территории, на участке среди зарослей древесной и кустарниковой растительности, на котором рекреационная нагрузка минимальна (рис.).

На обследованной территории ценопопуляции *F. verna* выполняют функцию декоративного растения: распространены на окультуренных территориях, таких как цветники, палисадники, приусадебные участки, сады. В составе культурфитоценозов *F. verna* произрастает с первоцветами и раннецветущими видами. Часто встречается в составе спонтанных фитоценозов на газонах, на заброшенных участках, пустырях, территориях, на которых не осуществляется уход.

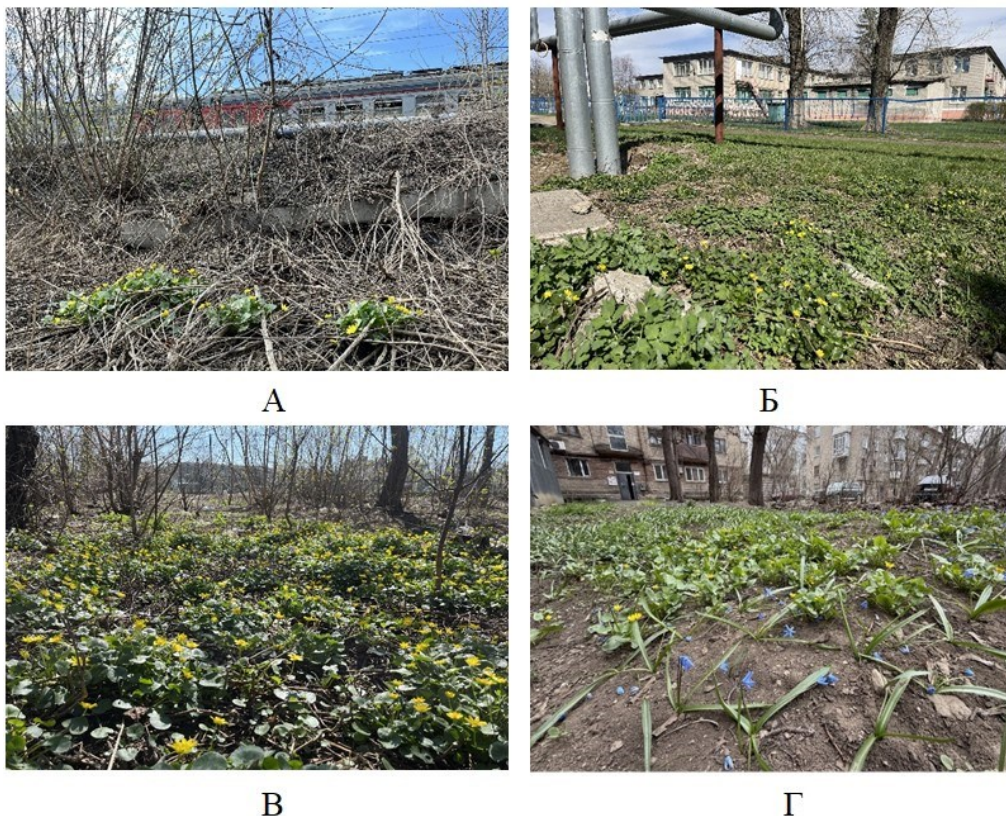


Рис. Ценопопуляции *Ficaria verna* Huds. в антропогенно трансформированных условиях г. Макеевки: А – ЦП 1, сформированная на прилегающей территории к железнодорожному полотну; Б – ЦП 2, расположенная рядом с образовательным учреждением; В – ЦП 3, произрастающая на внутридомовой территории, Г – ЦП в составе культурфитоценоза

Внешний облик и состав сообществ с участием *F. verna* значительно отличаются в зависимости от местообитания, а также типа и уровня антропогенного воздействия. Среди зарослей кустарниковой и древесной растительности в период, когда еще не распустились листья, формируются одновидовые группировки чистяка весеннего. Проективное покрытие вида на таких участках составляет от 30 до 70%. На пробных площадках с техногенной нагрузкой, таких как железнодорожные пути, территории, засоренные бытовым и строительным мусором, часто образуются одновидовые или маловидовые группировки чистяка весеннего, проективное покрытие варьирует от 15 до 60%. На обочинах дорог *F. verna* встречается, но не образует значительные скопления видов, что связано с постоянными агротехническими мероприятиями и воздействием транспорта.

На открытых участках городские спонтанные фитоценозы с участием чистяка весеннего характеризуются значительным фиторазнообразием – до 20 видов сосудистых растений. Наиболее константными видами на обследованных пробных площадках являются *Taraxacum officinale* F.H. Wigg., *Stellaria media* (L.) Vill., *Chelidonium majus* L., *Lamium amplexicaule* L., *Viola suavis* M. Bieb., *Glechoma hederacea* L., *Poa bulbosa* ssp. *vivipara* (Koeler)

Arcang., *Trifolium repens* L., *Senecio vernalis* Waldst. & Kit., *Geum urbanum* L. Общее проективное покрытие таких участков варьирует от 30% до 90%.

Результаты изучения ценопопуляций *F. verna* на нарушенных экотопах г. Макеевки позволили определить плотность особей на учетных площадках, которая изменяется от 12 до 1149 особей на 0,25 м². Наиболее высокие значения плотности отмечены для ЦП 3, произрастающей на территории жилого комплекса среди кустарников и деревьев, наименьшая – для ЦП 1, выявленной на территории, прилегающей к железнодорожному полотну (табл.).

Таблица

Демографические параметры ценопопуляций *Ficaria verna* Huds., сформированных на антропогенно преобразованных территориях г. Макеевки

ЦП	Онтогенетическая структура, %			Средняя плотность, особей на 0,25 м ²
	доля прегенеративных особей, %	доля генеративных особей, %	доля постгенеративных особей, %	
ЦП 1	87,6	12,4	–	162
ЦП 2	75,3	16,1	8,6	209
ЦП 3	92,5	4,6	3,9	753

Примечание: прочерк означает, что особей постгенеративного состояния не выявлено в изученной ценопопуляции.

В онтогенетической структуре ценопопуляций чистяка весеннего преобладают особи прегенеративного возрастного состояния, соответственно, онтогенетические спектры определены как левосторонние. ЦП 2, ЦП 3 являются нормальными молодыми полночленными, ЦП 1 – молодая неполночленная, так как отсутствуют сенильные особи. В возрастной структуре ценопопуляций *F. verna* доминируют ювенильные особи, что свидетельствует о высоком самоподдержании ценопопуляций на обследованных участках.

В ходе проведенного исследования установлено, что ценопопуляции *F. verna* в антропогенно трансформированных условиях г. Макеевки обладают эффективным самоподдержанием, о чем свидетельствует преобладание доли прегенеративных особей в онтогенетической структуре. Это связано с оптимальными условиями существования, которые способствуют поддержанию численности особей как за счет вегетативного, так и семенного размножения.

Отмечено, что техногенное воздействие и рекреационная нагрузка негативно влияют на ценопопуляции *F. verna*, которые отражаются на численности и плотности особей, а также особенностях онтогенетической структуры, что наиболее выражено в случае с ЦП 1.

Для дальнейшей диагностики состояния ценопопуляций в антропогенно нарушенных условиях требуются дополнительные фитомониторинговые исследования.

Библиографический список

1. Захарова М. С., Калинина А. В. Ценопопуляция *Ficaria verna* Huds. в урбанизированной среде г. Тореза // Охрана окружающей среды и рациональное использование

природных ресурсов : материалы Всерос. науч. конф. (с междунар. участием) аспирантов и обучающихся. Донецк : Донецкий национальный технический университет, 2024. С. 228–229.

2. Тетерюк Л. В., Валуйских О. Е., Кирсанова О. Ф. Распространение, состояние популяций и охрана редких эфемероидов в Республике Коми. DOI: 10.17223/19988591/53/5 // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2021. № 53. С. 89–108.

3. Сафонов А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. Донецк : Издательский дом «ЭДИТ», 2024. 289 с.

4. Glukhov A. Z., Safonov A. I. Adaptive mechanisms in plants under conditions of anthropogenic transformation of the environment. DOI: 10.34660/INF.2024.63.35.069 // Science. Education. Practice : Proceedings of the International Science Conference. Delhi : Scientific Publishing House Infinity, 2024. P. 108–115.

5. Калинина А. В. Таксономический и эколого-ценотический анализ раннецветущих растений некоторых трансформированных экотопов Донецко-Макеевской агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 1–2. С. 23–28.

6. Екофлора України. Т. 2. Я. П. Дідух, Р. І. Бурда, С. М. Зиман та ін. / Відпов. ред. Я. П. Дідух. К. : Фітосоціоцентр, 2004. 480 с.

7. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 21. С. 3–7.

8. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / Л. А. Жукова, Л. Б. Заугольнова, О. В. Смирнова и др. М. : Наука, 1976. 217 с.

9. Уранов А. А. Онтогенез и возрастной состав популяций // Онтогенез и возрастной состав популяций цветковых растений. М. : Наука, 1967. С. 3–8.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРКАПТАНОВ И ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ г. КИРОВА

М. Х. Хето¹, В. В. Рутман¹, Т. Я. Ашихмина^{1,2}

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

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия, ecolab2@gmail.com

В статье рассматривается содержание загрязняющих веществ, в том числе меркаптанов (метил-, этилмеркаптаны), как показателей запахового загрязнения в атмосферном воздухе г. Кирова. Данные были собраны в марте 2025 г. в различных участках г. Кирова. Результаты показали, что концентрация меркаптанов не превышает допустимых пределов. Обсуждено влияние высоких концентраций меркаптанов на окружающую среду и здоровье.

Ключевые слова: меркаптаны, общепромышленные запахообразующие загрязняющие вещества, качество атмосферного воздуха, городская среда.

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из наиболее серьезных экологических проблем, с которыми сталкиваются города по всему миру, поскольку оно негативно влияет на здоровье человека, связано с респираторными и сердечно-сосудистыми заболеваниями и приводит к увеличению

преждевременной смертности. Загрязнение атмосферного воздуха оказывает негативное воздействие на водные, почвенные экосистемы, и изменение климата, а также влияет на экономику за счёт снижения производительности труда, проявления сопутствующих заболеваний и увеличения расходов на здравоохранение [1].

Меркаптаны – это химические соединения, относящиеся к группе тиолов, характеризующиеся наличием сульфгидрильной ($-SH$) группы, присоединенной к атому углерода. Низшие алифатические меркаптаны, за исключением газообразного метилмеркаптана CH_3SH , – жидкости, имеют очень сильный неприятный запах, напоминающий запах тухлых яиц, даже при очень низких концентрациях. Меркаптаны иногда намеренно используются в качестве соединения, указывающего на утечку газа (например, природного) из-за его характерного запаха.

Меркаптаны получают из природных и промышленных источников в нефтехимической промышленности при переработке нефти и газа. Кроме того, меркаптаны образуются при длительном хранении навоза на сельскохозяйственных предприятиях. В природных условиях они образуются при разложении органического вещества в анаэробных условиях, например, на свалках или очистных сооружениях сточных вод. Некоторые микроорганизмы в рамках биогеохимических циклов серы в почве и воде выделяют газообразный меркаптаны [2, 3].

Меркаптаны и их производные используются как ускорители вулканизации натурального и синтетического каучуков, растворители, в синтезе некоторых лекарственных препаратов и инсектицидов [4].

Меркаптаны легко обнаруживаются даже при очень низких концентрациях, что делает их эффективным индикатором загрязнения атмосферного воздуха, вызванного промышленной деятельностью или разложением отходов. Хотя концентрация меркаптанов в воздухе обычно невелика, длительное воздействие или в высоких концентрациях может вызвать проблемы со здоровьем, такие как головные боли, тошнота и раздражение дыхательных путей. Меркаптаны также входят в группу соединений серы, которые способствуют образованию кислотных дождей, в результате чего происходит попадание их в почву и водные объекты [5].

Целью исследования является определение содержания меркаптанов и других общепромышленных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на различных участках г. Кирова и выявление наиболее загрязненных территорий городской среды.

Наряду с определением содержания меркаптанов в атмосферном воздухе были исследованы содержание четырёх общепромышленных загрязняющих веществ: монооксида углерода (CO), сероводорода (H_2S), аммиака (NH_3), метана (CH_4), а также углекислого газа (CO_2), составной части парниковых газов. Измерение проводилось с помощью портативного газоанализатора ГАНК-4. Было выбрано 10 основных участков вдоль улицы Ленина в районах, близких к крупным перекрёсткам, и ещё три в центре города. Это

места, где ландшафт понижается и повышается. Именно в этих участках транспортные потоки в городе распределяются неравномерно в течение дня, наибольшая активность которых наблюдается с 8 до 10 утра и с 16 до 19 час вечера. На рисунке 1 показаны площадки в г. Кирове, на которых проводилось измерение содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Номера участков отмечены по направлению с юга на север.



Рис. 1. Карта-схема размещения участков измерения содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе
Результаты исследования представлены в таблице 1 и 2.

Таблица 1

Результаты количественных измерений содержания газов (мг/м^3) в атмосферном воздухе г. Кирова в утренние часы в марте 2025 г.

№	CH_4	CO	NH_3	H_2S	CO_2	Меркаптаны
1	0	0,5	0	0	558,8	0
2	0	0,5	0	0	569	0
3	0	0,5	0	0,001	589,6	0
4	0	0,6	0	0,001	582,8	0
5	0	1,2	0	0,001	606,4	0
6	0	1,1	0	0,002	630,8	0
7	0	0,3	0	0,001	614,1	0
8	0	0,2	0	0,002	605,3	0
9	0	0,6	0	0,001	607	0
10	0	0,7	0	0,001	614	0,001
11	0	0,9	0	0	629,2	0,001
12	0	1,4	0	0,002	624,8	0
13	0	0,6	0	0,001	609,3	0
ПДК	50	5	0,2	0,008	3900	0,006

Таблица 2

**Результаты количественных измерений содержания газов (мг/м³)
в атмосферном воздухе г. Кирова в вечерние часы в марте 2025 г.**

№	CH ₄	CO	NH ₃	H ₂ S	CO ₂	Меркаптаны
1	0	1	0	0,001	576,3	0
2	0	0,9	0	0,001	584,5	0
3	0	0,8	0	0,001	594,1	0
4	0	0,8	0	0,001	603,2	0
5	0	0,6	0	0,001	581,7	0
6	0	1,2	0	0,002	628,4	0
7	0	0,7	0	0,002	617,2	0
8	0	1	0	0,002	627	0
9	0	0,8	0	0,001	643,5	0
10	0	0,5	0	0,001	659,2	0,005
11	0	1	0	0,001	641,4	0,001
12	0	1,3	0	0,002	649,6	0
13	0	0,6	0	0,001	626,1	0
ПДК	50	5	0,2	0,008	3900	0,006

Результаты, показывающие изменение содержания газов в утренние и вечерние часы на территории городской среды представлены на рисунке 2.

По данным (табл. 1 и 2, рис. 2) следует отметить, что содержание общепромышленных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе не превышает среднесуточных значений ПДК. Содержание оксида углерода существенно не меняется. Наибольшая концентрация оксида углерода выявлена на участке № 12 возле автовокзала в утренние часы, её значение составляет 1,4 мг/м³. В пробах атмосферного воздуха не обнаружено содержание метана и аммиака. Практически на всех обследованных участках утром и вечером был обнаружен сероводород. За исключением участков № 1, 2 и 11 в утренний период, однако его значение не превышает 0,002 мг/м³ (ПДК 0,008 мг/м³).

Содержание углекислого газа в атмосферном воздухе исследуемой территории колеблется от 559 мг/м³ на участке 1 до 659 мг/м³ на участке № 10, что значительно ниже среднесуточной ПДК (3900 мг/м³).

Участки № 1–4 (по ул. Ленина) и № 13 (на территории парка им. С. М. Кирова) в городе Кирове являются наименее загрязненными по сравнению с остальными участками исследования. Наиболее загрязненным по содержанию оксида углерода, сероводорода и диоксида углерода является участок № 12 (в районе автовокзала).

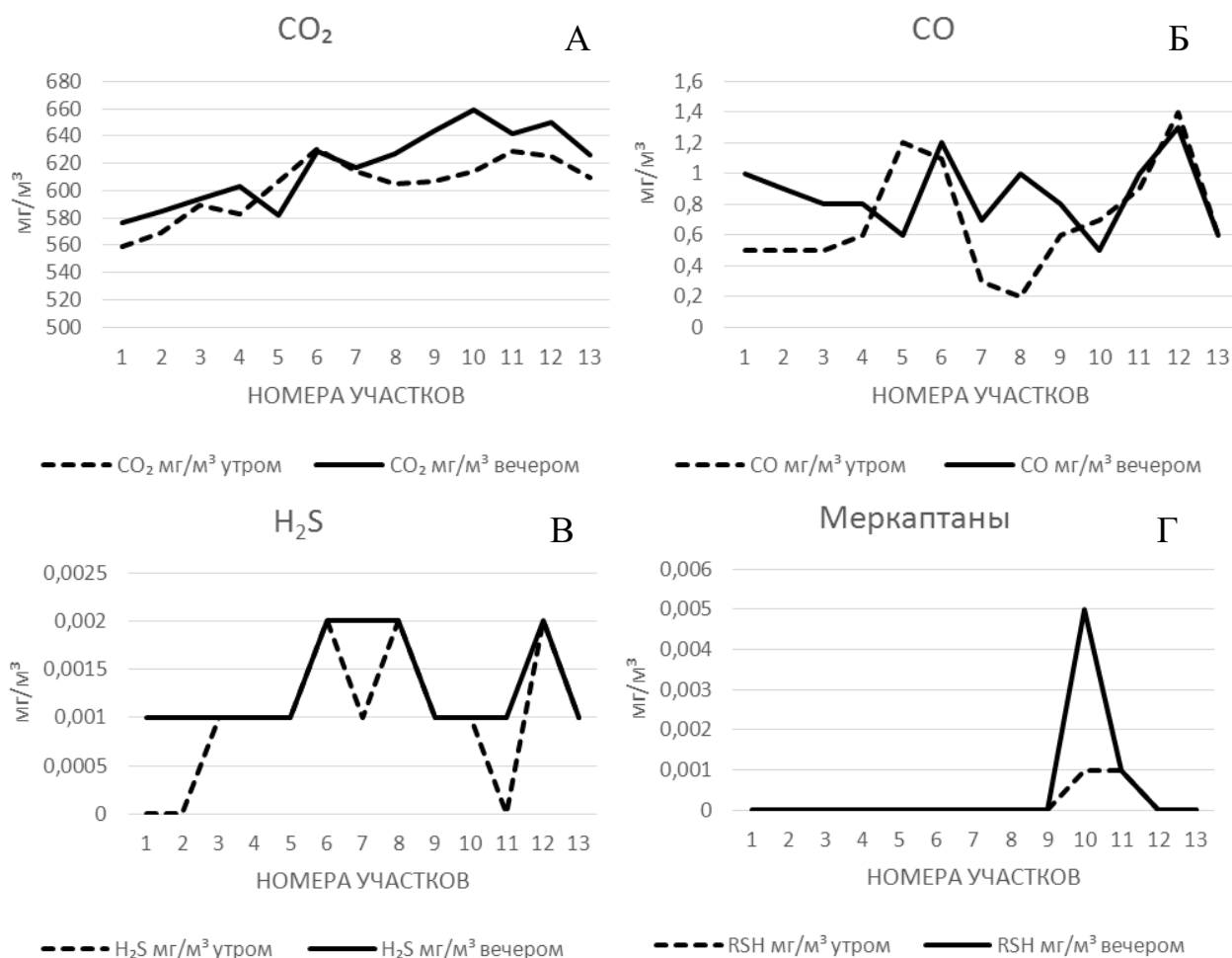


Рис. 2. Изменение концентрации газов (мг/м^3) в атмосферном воздухе в утренние и вечерние часы на территории городской среды:

А – CO_2 , Б – CO , В – H_2S , Г – меркаптанов.

Номера участков – см. в тексте и на рисунке 1

Меркаптаны были обнаружены в двух местах проведения исследований в утреннее и вечернее время, эти участки находятся на пересечении улиц Ленина с Профсоюзной и на участке рядом с железнодорожным вокзалом. Вероятность появления меркаптанов в атмосферном воздухе на территории в районе пересечения улиц Ленина и Профсоюзной может быть объяснена наличием интенсивной промышленной деятельности в данном микрорайоне предприятия ОАО «Искож» по вулканизации натурального и синтетического каучуков, а также Кировского шинного завода. Даже при очень низких концентрациях ($0,001\text{--}0,005 \text{ мг/м}^3$) меркаптаны вызывает неприятный запах, похожий на запах тухлых яиц [6]. Меркаптаны могут взаимодействовать с другими соединениями в атмосфере, приводя к образованию вторичных соединений, которые могут быть более токсичными или способствовать ухудшению загрязнения воздуха, например меркаптаны быстро вступают в реакцию с гидроксильными радикалами ($\text{OH}\cdot$) в атмосфере, образуя диоксид серы (SO_2) и другие окисленные виды серы, которые способствуют образованию вторичных аэрозолей и кислотных дождей [7]. В научной литературе иссле-

дования, проведённые в различных промышленных городах по всему миру, свидетельствуют, что концентрация меркаптанов достигает высоких значений в районах вблизи нефтеперерабатывающих заводов и свалок [8, 9]. Следует отметить, что погодные условия, такие как отсутствие ветра, могут привести к накоплению меркаптанов в определённой местности, а высокие температуры ускоряют разложение и выделение меркаптанов.

В соответствии с этим на предприятиях кожевенной и резиновой промышленности рекомендуется совершенствовать технологии переработки органических отходов, вводить строгие ограничения на выбросы загрязняющих веществ и применять современные технологии очистки атмосферного воздуха, проводить периодические проверки на соответствие экологическим стандартам и постоянно контролировать концентрацию меркаптанов в воздухе.

Библиографический список

1. Air quality and health impacts from the updated industrial emission standards in China / H. Yang, W. Tao, Y. Wang, et. al. DOI: 10.1088/1748-9326/ab54fa // Environ. Res. Lett. 2019. No. 14. Article No. 124058.
2. Самакаева Т. О. Меркаптаны – источник сырья для газохимии / Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 4. С. 10–16.
3. Оаз С. Химия органических соединений серы. М. : Химия, 1975. С. 512.
4. Органическая химия. История и взаимная связь университетов России / И. С. Антипин, М. А. Казымова, М. А. Кузнецов и др. // Журнал органической химии. 2017. Т. 53. № 9. С. 1257–1408.
5. Андрейчиков М. В., Свириденко М. А., Ясько М. В. Определение содержания меркаптанов в атмосферном воздухе на промышленных объектах Республики Беларусь. Гомель : Белорусский государственный университет транспорта, 2018.
6. Nagata Y. Measurement of odor threshold by triangle odor bag method // Japan Environmental Sanitation Center. 2003. P. 118–127.
7. Hjorth J., Barnes I., Mihalopoulos N. Dimethyl sulfide and dimethyl sulfoxide and their oxidation in the atmosphere // Chem. Rev. 2006. Vol. 106. No. 3. P. 940–975.
8. Emission characteristics and health risks of volatile organic compounds (VOCs) measured in a typical recycled rubber plant in China / S. Wang, Y. Yan, X. Gao, et al. DOI: 10.3390/ijerph19148753 // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2022. Vol. 19. No. 14. Article No. 8753.
9. Watson S. B., Jüttner F. Malodorous volatile organic sulfur compounds: Sources, sinks and significance in inland waters. DOI: 10.1080/1040841X.2016.1198306 // Critical Reviews in Microbiology. Vol. 43. No. 2. P. 210–237.

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕГОВОГО ПОКРОВА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

В. В. Рутман, М. Х. Хето

*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, rutman.slavik@yandex.ru*

В статье представлены сравнительные результаты исследований снежного покрова в г. Кирове в 2024 и 2025 гг., проведённых в марте. Изучено изменение антропогенного воздействия на снеговой покров в городе, в зависимости от времени и места.

Ключевые слова: изучение состояния атмосферы, снег, ионы, ионная жидкостная хроматография, мониторинг.

Экологическое состояние снежного покрова также важно изучать наряду с другими факторами городской окружающей среды. Снег не только используется как индикатор чистоты воздуха. При таянии снега накопленные в нём загрязняющие вещества попадают в почву, воду и воздух, вызывая негативное влияние на здоровье человека, животных и растений.

Четвёртый год ведётся мониторинг атмосферного воздуха в г. Кирове. Он включает в себя замеры примесей при помощи газоанализатора, а с 2024 г. также проводится отбор и химический анализ снега [1].

Отбор проб снега производили в середине марта 2025 г. на 13 участках мониторинга атмосферного воздуха: участки № 1–10 расположены вдоль ул. Ленина в г. Кирове. Точка № 1 находится на пересечении с ул. Героя Николая Рожнева, а точка № 10 – на пересечении с ул. Профсоюзная. Участок № 11 – ж/д вокзал, № 12 – автовокзал и точка № 13 – парк имени С. М. Кирова. Расположение участков отбора проб показано на рисунке 1 [1].



Рис. 1. Карта-схема участков отбора проб снега в г. Кирове

Выбросы транспортных средств – основной источник загрязнения снега в городе. Выхлопные газы автотранспорта содержат сажу, тяжёлые металлы (свинец, кадмий, ртуть), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и другие вредные вещества, которые оседают в снеговой покров. Промышленные выбросы: заводов и фабрик вносят в атмосферу различные загрязняющие вещества, оседающие в снежном покрове, состав которых зависит от типа производства. Строительство и ремонт зданий и сооружений, что активно происходит в Кирове, также являются значимым источником загрязнения. Это пыль, содержащая частицы цемента, песка, асбеста и других материалов. Также выбросы из труб котельных и частных домов, особенно использующих уголь или некачественное топливо, значительно загрязняют снег. Сток с дорог также приносит загрязняющие вещества. Растворённые в воде соли, нефтепродукты, резиновая крошка от шин, а также противогололёдные реагенты. Бытовой мусор, разносимый ветром и птицами, также оседает на снегу [2, 3].

Целью исследования является сравнение результатов изменения концентрации примесей в снеге в 2024 и 2025 гг.

Толщина снегового покрова также влияет на концентрацию в нём веществ. В 2025 г. она, в среднем, составила 25 см на момент отбора проб, в то время как в 2024 г. она не превысила 50 см.

Анализ талой снеговой воды проводится методом ионной хроматографии по показателям: анионы: NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , катионы: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Также измеряется pH, масса твёрдых частиц и исследования содержания общего железа визуальным колориметрическим методом с орто-фенантролином [4].

По сравнению с прошлым годом, в 2025 г. повысился средний уровень pH по всем пробам с 5,8 до 6,3. Сравнительные результаты 2024 и 2025 гг. представлены на рисунке 2.

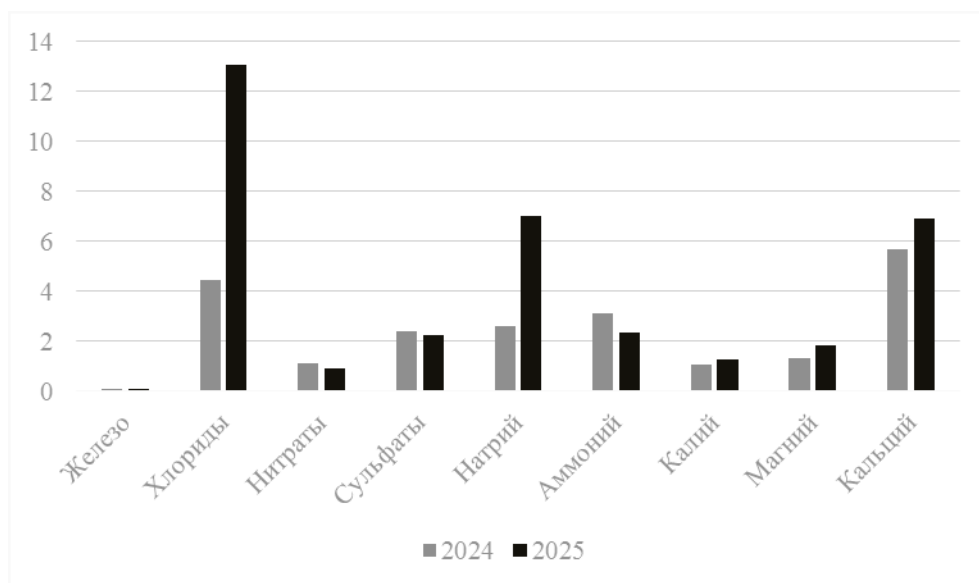


Рис. 2. Содержание ионов в снеге в 2024 и 2025 гг., мг/л

Заметен значительный рост концентрации хлорид-ионов, а также ионов натрия. Также отмечается небольшой рост ионов кальция и спад ионов аммония. По остальным показателям значительных изменений не наблюдается. Диаграммы концентрации хлоридов и натрия по объектам измерения представлены на рисунках 3 и 4.

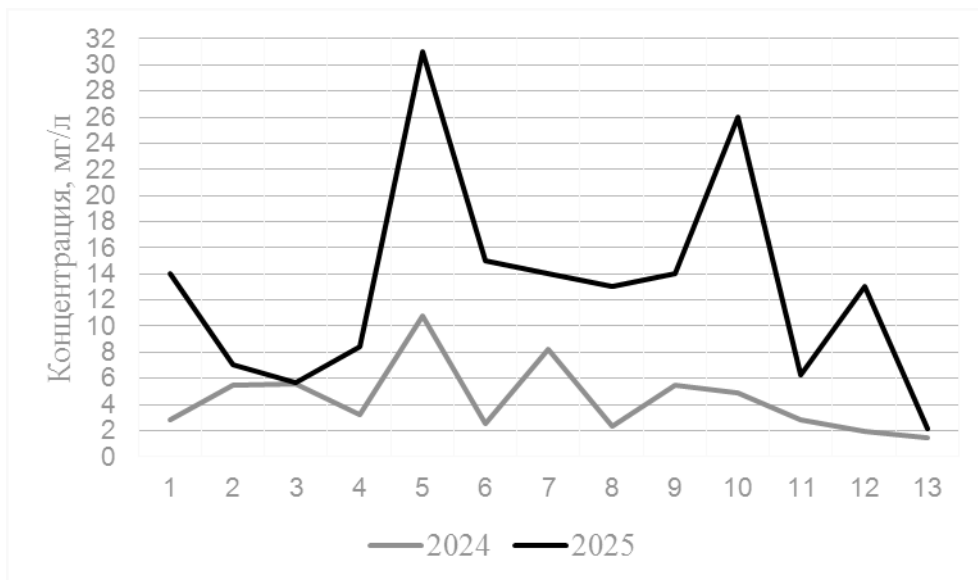


Рис. 3. Содержание хлорид-ионов (мг/л) в снеге в различных точках отбора проб в г. Кирове в 2024 и 2025 гг.

Наибольшее значение показатель хлоридов имеет в понижении рельефа вблизи моста через р. Хлыновку, как в 2024 (10,8 мг/л), так и в 2025 (31 мг/л) гг. А наименьшее значение – в парке им. С. М. Кирова, в 2024 г. – 1,5 мг/л, а в 2025 г. – 2,1 мг/л. Также в 2025 г. высокая концентрация хлоридов в снеге обнаружена в районе ул. Профсоюзной – 25 мг/л, эта точка является низкой точкой ландшафта.

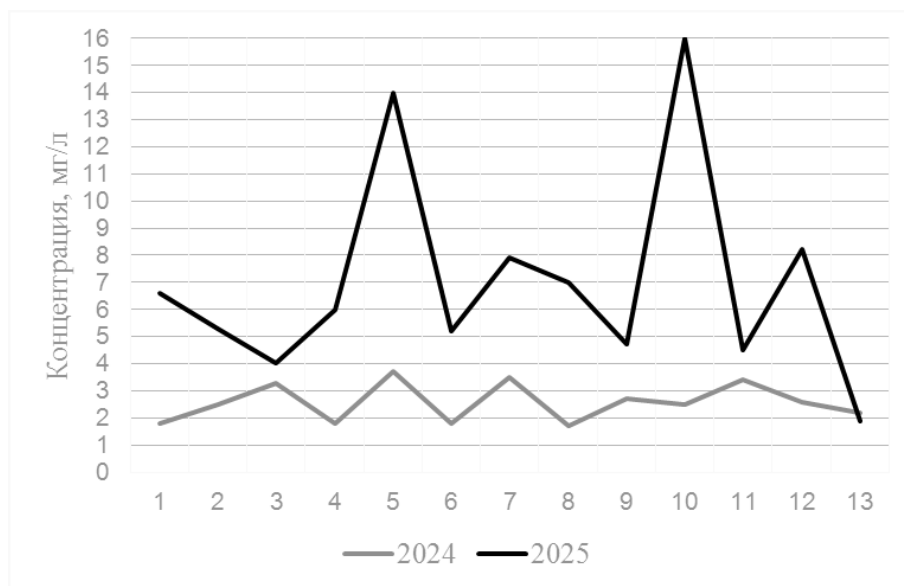


Рис. 4. Содержание ионов натрия (мг/л) в снеге в различных точках отбора проб в г. Кирове в 2024 и 2025 гг.

Динамика концентрации натрия практически соответствует динамике концентрации хлорид-ионов. Поэтому, основным загрязнителем снега можно считать хлорид натрия, используемый в качестве антиобледенителя и смываемый с талыми водами в низины.

На рисунке 5 представлена диаграмма по суммарному загрязнению на объектах исследования за 2 года измерений.

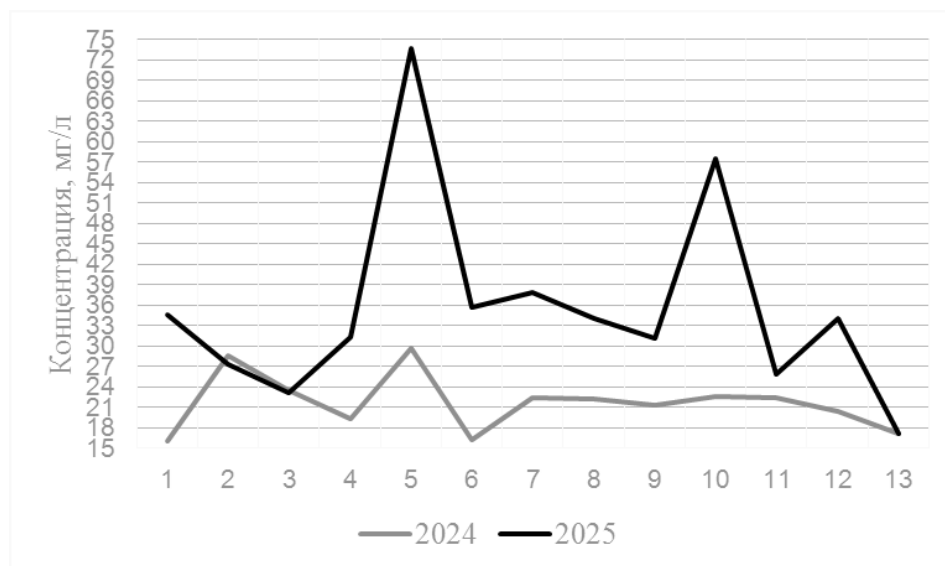


Рис. 5. Сумма концентраций загрязняющих веществ (мг/л) в снеге в различных точках отбора проб в г. Кирове в 2024 и 2025 гг.

Как и в 2024 г., так и в 2025 г. участки с наиболее загрязнённым снеговым покровом – это мост через р. Хлыновку и перекрёсток с ул. Профсоюзная, также высокий уровень загрязнения в овраге на ул. Горбачёва. Наименее подвержен загрязнению, как и предполагалось, снег в парке имени Кирова. Также относительно чистый снег на перекрёстке с ул. Тимирязева и в районе ж/д вокзала. Вероятно, это связано с различным по количеству и качеству применением химических веществ для борьбы с гололёдом в разных частях города. Общее значительное повышение загрязняющих веществ в снеге в 2025 г., по сравнению с 2024 г., скорее всего, связано со снижением количества осадков, что привело к уменьшению высоты снежного покрова. Распределение уровня загрязнения снега по объектам исследования осталось практически неизменным, кроме перекрёстка с ул. Героя Николая Рожнева. В остальных точках изменения незначительные.

Библиографический список

1. Рутман В. В., Хето М. Х. Оценка уровня загрязнения снега в городе Кирове // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 186–191.
2. Маркина Е. О., Григорьев В. В., Сырчина Н. В. Влияние различных добавок на подвижность тяжелых металлов в почвах // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 2. Киров : ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 87–90.

3. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Промышленные свиногомпликсы как источники загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Известия Коми научного центра УрО РАН. Серия «Экспериментальная биология и экология». 2021. № 5 (51). С. 88–91.

4. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки / под ред. А. Г. Муравьева. СПб. : Крисмас+, 2011. С. 96–101.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГОРОДОВ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ХОЛОДНОЕ ВРЕМЯ ГОДА (ПРИМЕРЫ: АЛАПАЕВСК, СЕРОВ, КАЧКАНАР)

Н. В. Иванчукова^{1,2}, А. А. Селезнев^{1,2}, А. С. Шевченко^{1,2}, В. С. Глухов^{1,2}

*¹ Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия,*

*² Институт промышленной экологии УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия,
ivanchukova.natali@gmail.com, sandrian@rambler.ru,
av.shev98@gmail.com, glukhov.v.s.work@gmail.com*

Цель исследования – разработка методологии экологического мониторинга жилых районов малых городов. Для определения степени загрязнения использовались инновационные среды (снег и снеготрязевая пульпа). Анализ включал определение концентрации металлов, рН, Eh. Рассчитан общий индекс загрязнения, что позволяет оценивать экологическое состояние города.

Ключевые слова: урбанизированная среда, малые города, снег, снеготрязевая пульпа, тяжелые металлы, экологическое состояние, суммарный индекс загрязнения.

Треть населения России проживает в малых и средних городах, где сосредоточены основные отрасли промышленности. Эти города имеют один или несколько известных стационарных источников загрязнения, развитую дорожную сеть, и не имеют комплексного государственного экологического мониторинга [1]. Цель исследования – разработать методику экологического мониторинга жилых территорий малых городов в холодное время года. Предлагается использовать высокоэффективную инновационную технологию экологического мониторинга, основанную на отборе проб снега и снеготрязевой пульпы (СГП) на городской территории. Эта методика является быстрой и экономически эффективной [2]. Объектом исследования являлось экологическое состояние малых городов Свердловской области. В рамках исследования использовались полевые, аналитические и лабораторные методы.

Особенности снега и СГП:

– снег аккумулирует загрязнения из атмосферы в холодное время года;

– снег и СГП являются накопителями загрязняющих веществ в городской среде в холодное время года;

– СГП образуется в результате смешивания снега и отложений на поверхности земли транспортными средствами и пешеходами.

В зимний период образование СГП на дорогах, проезжей части и тротуарах сохраняет поверхностный сток, который является основным фактором переноса поверхностных осадков [3, 4].

В рамках проведенного исследования оценивались три города Свердловской области: Алапаевск, Качканар, Серов. Алапаевск расположен в восточной части Среднего Урала, в месте слияния рек Алапах и Нейва. Качканар расположен в восточной части Среднего Урала у горы Качканар в междуречье рек Иса и Выя. Серов расположен на севере области, на границе Северного и Среднего Урала, на восточном склоне Уральских гор.

Города различаются по своей промышленной специализации. В Алапаевске основными отраслями промышленности являются машиностроение, деревообработка и сельское хозяйство. Metallургический завод в Алапаевске закрылся в 2018 г. В Качканаре расположен действующий горно-обогатительный комбинат ЕВРАЗ КГОК, одна из крупнейших горнодобывающих компаний России и основной поставщик ванадийсодержащего сырья в России [5]. В Серове основной отраслью промышленности является металлургия, на долю которой приходится 56% промышленного производства города.

По индексу загрязнения почв Алапаевск относится к категории опасных. В Качканаре на отдельных участках суммарная концентрация загрязняющих веществ 1–3 классов экологической опасности, рассчитанная по суммарному индексу загрязнения почв, достигает 19 единиц, что соответствует допустимому уровню загрязнения. В Серове суммарный индекс загрязнения почвы равен 10 единицам (допустимый уровень).

Метод экологического мониторинга включал в себя следующие этапы:

- 1) подготовительный этап: создание пробоотборной сети;
- 2) полевой этап: отбор, хранение и транспортировка проб;
- 3) этап подготовки проб для последующих химических анализов: плавление проб, измерение физических и химических параметров, фильтрование, с последующим выделением фильтрата для дальнейших анализов;
- 4) химические анализы по стандартным методикам, получение данных о концентрациях тяжелых металлов в пробах;
- 5) обработка полученных данных о концентрациях веществ в пробах, оценка результатов, получение итоговых значений состояния окружающей среды исследуемых городов, сравнение полученных значений с ПДК, определение суммарного индекса загрязнения почв исследуемого города, на основании которого делался вывод об экологическом состоянии города.

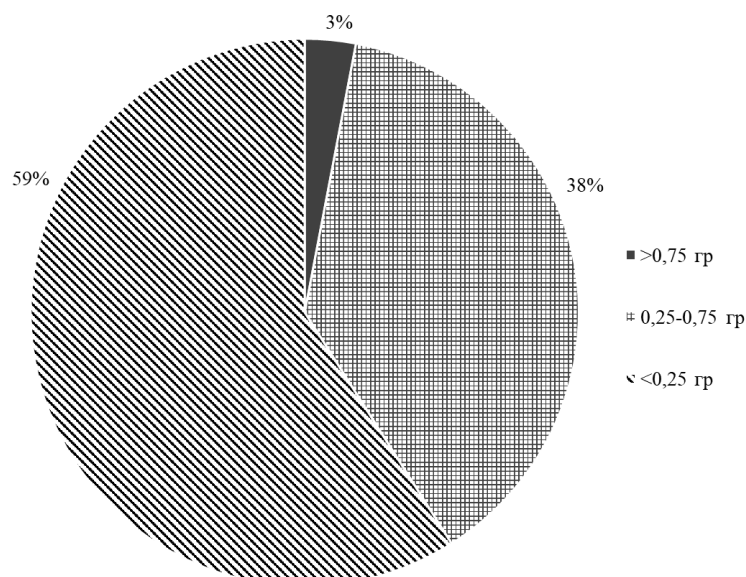


Рис. 1. Распределение массы взвешенных веществ, оставшихся на фильтре

Пробы фильтровали через фильтр синяя лента, размер пор 2 мкм, на рисунке 1 показано массовое распределение взвешенных веществ.

Полученные значения уровня кислотности (рН) и окислительно-восстановительного потенциала (Еh) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Средние значения Еh и рН в отобранных образцах

Город	Тип пробы	Показатель рН	Показатель Еh, мВ
Алапаевск	Снег	7,4	137,9
	СГП	8,5	80,7
Качканар	Снег	7,7	181,5
	СГП	7,7	162
Серов	Снег	8,4	105,6
	СГП	8,2	102,6

В Алапаевске пять образцов снега имели нейтральную среду, 10 – слабощелочную (пять образцов снега и пять образцов СГП) и пять образцов СГП – щелочную. В Качканаре восемь образцов имели нейтральную среду (пять СГП и три снега), 11 слабощелочных образцов (четыре СГП и семь снега), и один щелочной образец СГП. В Серове все образцы имеют слабощелочную и щелочную среду. На рисунке 2 показано сравнение показателя кислотности в пробах снега и СГП.

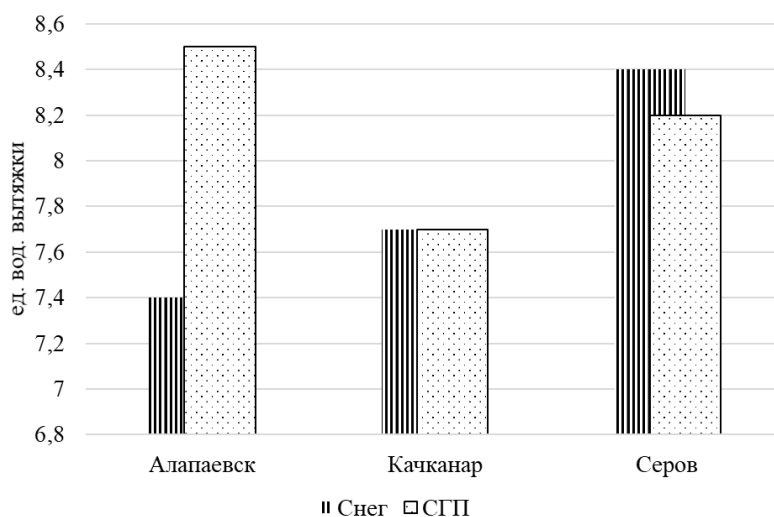


Рис. 2. Кислотность проб снега и СПП

Сравнительный анализ содержания отдельных потенциальных загрязнителей в снеге и СПП с нормативными значениями в выборке городов показал превышения по:

- Pb в 27 пробах снега и 29 СПП,
- Mn в 26 пробах снега и 29 СПП,
- Ni в 16 пробах снега и 28 СПП,
- Cu в 26 пробах снега и 28 СПП,
- Zn в 27 пробах снега и 28 СПП,
- Co в 4 пробах снега и 23 СПП,
- Fe в 7 пробах снега и 26 СПП.

Был рассчитан суммарный индекс загрязнения (Z_c), результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Распределение категории загрязнения в отобранных пробах

Город	Тип проб	Допустимая	Умеренно опасная	Опасная
Алапаевск	Снег	100%	0%	0%
	СПП	70%	30%	0%
Качканар	Снег	100%	0%	0%
	СПП	60%	30%	10%
Серов	Снег	90%	10%	0%
	СПП	30%	60%	10%

Алапаевск – самый чистый из исследованных городов. Исследование подтверждает тот факт, что в городе наименьшее количество предприятий, влияющих на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Несмотря на наличие в Качканаре действующего горно-обогатительного комбината, более половины проб имеют допустимый уровень загрязнения. Однако, Качканар имеет самую маленькую площадь из исследованных городов, поэтому все выпадения остаются в жилой зоне. В Серове всего три точки отбора проб с допустимым уровнем загрязнения, более половины точек с умеренно опасной

категорией. Одна точка отбора проб попала в категорию опасных, что может быть связано с тем, что в городе в настоящее время работает несколько крупных предприятий, также этот город является самым крупным по численности населения из исследованных городов, что также немаловажно.

В результате получен уникальный полевой материал и данные по экологическому состоянию малых городов Свердловской области. Разработанный подход к оценке экологического состояния селитебной территории малого города позволяет:

- оценивать, анализировать и прогнозировать экологическое состояние селитебной зоны;
- выявлять ассоциации элементов природного и антропогенного происхождения;
- характеризовать физико-химические свойства объектов окружающей среды малых городов.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-17-20036).

Библиографический список

1. Кричкер Д. Р., Шимова Е. В. Современная экологическая ситуация и проблемы экологической безопасности Свердловской области // Молодежь и наука. 2018. № 1. С. 54–54.
2. Moscow megacity pollution: monitoring of chemical composition of microparticles in the atmosphere–snow–road dust–soil–surface water system / N. S. Kasimov, N. E. Kosheleva, O. B. Popovicheva, et al. DOI: 10.3103 S1068373923050011 // Russian Meteorology and Hydrology. 2023. Vol. 48. No. 5. P. 391–401.
3. Оценка запасов современных пылегрязевых отложений на урбанизированной территории (на примере г. Екатеринбурга) / А. А. Селезнев, И. В. Ярмошенко, Г. П. Малиновский, Е. М. Баглаева // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2018. № 3 (23). С. 74–85.
4. Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment / A. Seleznev, I. Yarmoshenko, G. Malinovsky, et al. DOI: 10.1038/s41598-019-53793-z // Sci. Rep. 2019. Vol. 9. Article No. 17241.
5. Мельчаков Ю. Л., Янцер О. В., Абраменко А. В. Анализ природной среды г. Качканара и окрестностей на основе использования двух методик геоэкологических исследований // Образование, экология, практика : материалы Междунар. молодежного форума. Воронеж : Воронежский государственный университет, 2018. С. 106–108.

СЕКЦИЯ 9 ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ПОЧВАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

Е. М. Лаптева, Ю. А. Виноградова, В. А. Ковалева, Е. М. Перминова
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия, lapteva@ib.komisc.ru

Приведены данные о содержании и профильном распределении бактерий и микроскопических грибов в зональном ряду бугристых торфяников Большеземельской тундры. Показано, что влияние зональных и ландшафтных факторов наиболее четко прослеживается при исследовании микромицетных комплексов – распределении мицелия грибов в системе сезонно-талого слоя (СТС) – многолетнемерзлой (ММП) толще торфяной залежи, соотношения и длины функционально активных и неактивных гиф грибов, видового разнообразия культивируемых видов микромицетов. Показатели численности клеток бактерий и спор грибов, а также параметры их биомассы более стабильны во всех зонах и подзонах. Методами мультисубстратного тестирования подтверждена высокая функциональная активность микробных сообществ, функционирующих в многолетнемерзлой толще торфяной залежи бугристых болот Европейского Северо-Востока.

Ключевые слова: Арктика, Субарктика, почвы, мерзлота, микробные сообщества, микробная биомассы, микроскопические грибы.

На значительной части Российской Федерации (порядка 30,45% суши, включая острова арктических морей) наземные экосистемы формируются и функционируют в экстремальных условиях, обусловленных близким залеганием мерзлоты, низкими температурами воздуха, коротким вегетационным периодом [1]. Спецификой Европейского Северо-Востока России (ЕСВР) в арктическом регионе является широкое распространение относительно теплой и нестабильной вечной мерзлоты ($-2 \dots -0$ °C), которая, по мнению многих исследователей, быстро реагирует на малейшие глобальные и региональные изменения климата [2]. Мониторинг температуры почв на территории ЕСВР свидетельствует о возрастании за последние 20 лет мощности сезонно-талого слоя (СТС) тундровых почв (от 0,3 до 3,0 см в год) и снижение кровли вечной мерзлоты [3]. Это будет оказывать соответствующее влияние на изменение почв и растительные сообщества Арктического региона, а также на функционирование почвенных микробных сообществ. Учитывая слож-

ность проведения исследований в Арктической зоне Российской Федерации (АЗ РФ), вследствие труднодоступности многих ее регионов, до настоящего времени многие аспекты формирования и функционирования компонентов наземных экосистем этого обширного региона, в т.ч. и ЕСВР, остаются слабо исследованными.

Цель данной работы заключалась в оценке влияния зональных и ландшафтных факторов на состав и структуру микробных сообществ почв бугристых торфяников Арктической зоны Европейского Северо-Востока России (на примере Большеземельской тундры).

Объектами исследований послужили почвы бугристых мерзлых болот, расположенных в различных зонах/подзонах на территории Большеземельской тундры: три ключевых участка приурочены к подзоне лесотундры, два – к подзоне южной тундры и два – к подзоне северной тундры (табл.). Отбор проб проводили из СТС и многолетнемерзлой (ММП) толщи торфяной залежи торфяных бугров и мочажин (топей) в пределах каждого болотного массива. На торфяных буграх пробы отбирали в разных экотопах – на оголенных торфяных пятнах (без растительности), в их краевой зоне, зарастающей лишайниками и мхами, на участках бугров с хорошо выраженным растительным покровом – в кустарничково-моховых и мохово-лишайниковых сообществах.

Таблица

Краткая характеристика объектов исследования

№ объекта	Условное обозначение объекта	Год отбора проб	Биоклиматическая зона/подзона, местоположение объекта	Координаты	Мощность торфяной залежи, см	Глубина сезонного протаивания, см
1	2	3	4	5	6	7
1	ЛТ1	2016	Лесотундра, НАО, низовья р. Печоры, приречный увал водораздела	67°40' с. ш. 53°25' в. д.	238	50
2	ЛТ2	2015	Лесотундра, НАО, низовья р. Печоры, надпойменная терраса	67°39' с. ш. 53°23' в. д.	нет данных	55
7	ЛТ3	2016	Лесотундра, Республика Коми, бассейн р. Уса	67°03' с. ш. 62°56' в. д.	200	40
3	ЮТ	2019	Южная тундра, Воркутинский р-н РК	67°45' с. ш. 63°17' в. д.	236	26
4	ЮТ/ТТ	2017	Экотонная полоса южная тундра – северная тундра, бассейн верхнего течения р. Коротаиха	68°02' с. ш. 62°43' в. д.	265	32

1	2	3	4	5	6	7
5	ТТ	2021	Северная тундра, НАО, левобережье низовьев р. Коротаихи, район оз. Пунтоты	68°17'с.ш. 62°24' в.д.	246	30
6	ТТ/ПБм	2018	Северная тундра, НАО, побережье Баренцева моря, приморская терраса, полигональная тундра	68°35'с.ш. 55°56' в.д.	131	28

В образцах торфа определяли численность бактерий, спор грибов и длину их мицелия методом прямого микроскопирования с использованием флуорохромных красителей с последующим расчетом величины биомассы микроорганизмов [4]. Функциональное состояние микробных сообществ оценивали методом мультисубстратного тестирования (МСТ) с использованием 47 источников органического углерода [5].

Выделение и учет микромицетов осуществляли на подкисленной среде Чапека, среде Гетчинсона, Сабуро и сусло-агаре при разных температурах оттаивания замороженных образцов торфа (+25, +35, +52 °С) и культивирования посевов (+4, +25 °С) [6]. Названия и положения таксонов унифицировали с помощью базы данных CBS (www.indexfungarum.org) и MycoBank (<http://www.mycobank.org>).

Обобщение значительного массива данных о составе и структуре микробных сообществ СТС и ММП торфяников Большеземельской тундры свидетельствует о том, что влияние зональных факторов наиболее четко прослеживается при анализе распределения микроскопических грибов в почвах торфяных бугров. В направлении с юга на север отмечаются следующие закономерности:

- снижение глубины распространения грибного мицелия вниз по профилю торфяной залежи (в лесотундре грибной мицелий с ненарушенной клеточной мембраной встречается до глубины 100–115 см ММП, с нарушенной – до глубины 160 см; в северной тундре глубина распространения мицелия ограничена верхним 20 см слоем СТС);

- в направлении от лесотундры к северной тундре на порядок снижается длина мицелия (в торфяниках лесотундры максимальная длина мицелия характеризуется величинами порядка до 5400±1900 м/г а.с.п., в почвах северной тундры – 210–420 м/г а.с.п.);

- в торфяниках лесотундры и южной тундры встречается мицелий разной размерности (4–6 мкм), в северной тундре – преимущественно мицелий с толщиной гиф 4 мкм;

– в торфяниках лесотундры отмечено присутствие и функционально активных (живой мицелий), и функционально неактивных (мертвый мицелий) гиф, в торфяниках тундры зафиксировано присутствие только функционально активного мицелия.

Бактериальный комплекс во всех торфяниках, вне зависимости от биоклиматической зоны и подзоны, характеризуется близкими чертами. Общей закономерностью для торфяников криолитозоны ЕСВР является неравномерность распределения микроорганизмов в системе СТС – ММП торфяной залежи. Как правило, в СТС численность бактерий и спор грибов ниже по сравнению с ММП. В целом, в СТС всех рассмотренных торфяников численность бактерий находится примерно на одном уровне (не выше 4–5 млрд кл./г а.с.п.). Отмеченные более высокие значения численности бактерий в СТС почв ЮТ/ТТ (4,2–8,7 млрд кл./г а.с.п.) и ЛТ1 (4,9–6,2 млрд кл./г а.с.п.) могут быть обусловлены особенностями погодных условий в год отбора проб (аномально теплой погодой с достаточным количеством влаги). Во всех рассмотренных торфяниках отмечено превалирование в СТС клеток бактерий с нарушенной клеточной мембраной (мертвые клетки), что свидетельствует о преимущественном нахождении клеток прокариот в торфяных почвах бугристых болот в летний период в функционально неактивном состоянии. В ММП численность бактерий и спор грибов, как правило в 2–5 раз выше по сравнению с СТС с численным преобладанием функционально неактивных клеток, за исключением одного из торфяников лесотундры (ЛТ2), в ММП которого зафиксировано преобладание живых клеток бактерий.

В совокупности из торфяников Большеземельской тундры выделено 114 видов культивируемых микромицетов, относящихся к двум отделам и 23 родам, включая 2 формы стерильного мицелия. Максимальной видовой насыщенностью отличается род *Penicillium* (40 видов), что характерно для почв Арктической зоны. Роды *Trichoderma* и *Mortierella* насчитывают по 10 видов, *Oidiodendron* и *Talaromyces* – по 8 видов, *Aspergillus*, *Umbelopsis*, *Mucor* и *Chaetomium* – от 3 до 5 видов. Остальные 14 родов – маловидовые, включают по 1–2 видам.

Максимальным разнообразием микромицетов (63 вида) отличаются почвы болотных бугристых торфяников лесотундры, в торфяниках тундры число видов ниже – в южной тундре идентифицирован 61 вид, в северной тундре – 50 видов. Видовое разнообразие микроскопических грибов в ММП существенно ниже (в 2–5 раз) по сравнению с СТС. При этом СТС и ММП отличаются по доминирующим видам. Например, в торфяниках северной тундры в СТС в десятку доминирующих по обилию видов входят представители рода *Penicillium*, *Umbelopsis vinacea*, *Pseudogymnoascus pannorum* и стерильный мицелий. В ММП на первое место, наряду со стерильным мицелием, выходит *Pseudogymnoascus pannorum*, являющийся характерным представителем торфяных и Арктических почв [7, 8].

В торфяниках южной тундры в СТС доминируют *Talaromyces funiculosus*, *Umbelopsis vinacea*, *Pseudogymnoascus pannorum*, *Mortierella*

alpine и некоторые виды пенициллов. В ММП торфа ведущие позиции, как и в северной тундре, занимают *Pseudogymnoascus pannorum*, стерильный мицелий как светло-, так и темноокрашенный, и *Mortierella alpine*. В торфяниках лесотундры наблюдается смена доминантов в ММП – здесь ведущие позиции занимают *Talaromyces funiculosus* и такие виды пенициллов, как *Penicillium spinulesum*, *P. simplicissimum*, *P. thomii* и вид *Umbeleipsis vinacea*. Эти же виды входят в десятку доминантов сезонно-талого слоя торфа. Доминирование стерильного мицелия рассматривается в качестве адаптации микроскопических грибов к холодовому стрессу.

Влияние ландшафтных факторов на микробные сообщества рассмотрено на примере почв различных экотопов, выделенных в пределах одного бугристого болота, где можно встретить и бугры и мочажины, и склоновые поверхности бугров и участки с разными типами растительности – от оголенных пятен торфа до участков с хорошо развитой кустарничково-моховой растительностью. Как видно (рис.), наиболее благоприятные условия для функционирования микроскопических грибов складываются в почвах торфяных пятен – в них длина и биомасса мицелия максимальны. При этом в СТС торфяного бугра, в отличие от мочажины, присутствуют преимущественно потенциально жизнеспособные гифы грибов. Для бактериального комплекса отмечен тренд снижения суммарной биомассы в направлении от торфяного пятна к мочажине, повышение вклада живых бактерий в суммарную биомассу на участках торфяных бугров с хорошо развитой растительностью и в мочажинах по сравнению с оголенными торфяными пятнами.

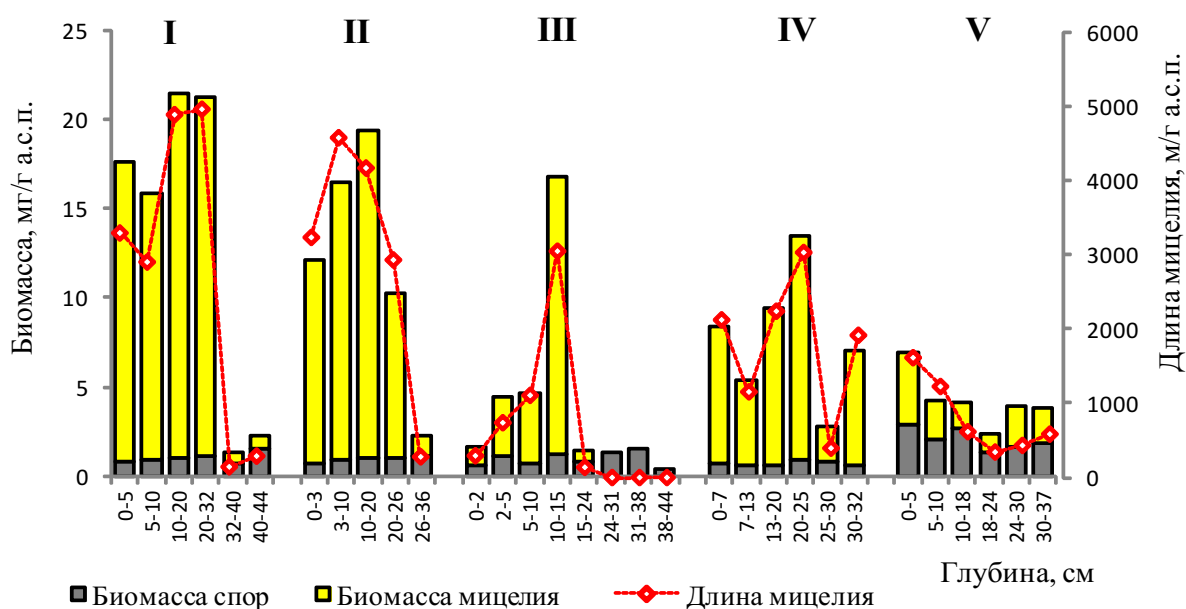


Рис. Распределение биомассы грибов и длины мицелия в сезонно-талых слоях торфяной залежи плоскобугристого болотного комплекса (на примере ключевого участка ЮТ/ТТ): I – оголенное торфяное пятно; II – краевая зона торфяного пятна, зарастающая мхами и лишайниками; III – микропонижение с лишайниковым сообществом; IV – микробугорок с мохово-кустарничковой растительностью; V – мочажина

Результаты мультисубстратного тестирования свидетельствуют о достаточно высокой функциональной активности микробных сообществ СТС и ММП. Функциональное разнообразие микробных комплексов и их метаболическая активность в целом несколько выше в торфяной залежи бугристых болот южной тундры, особенно в их мерзлой толще, по сравнению с аналогичными экосистемами лесотундры и северной тундры. Метаболический профиль рассмотренных торфяников свидетельствует о специфичности их почвенных микробных комплексов, что прослеживается в отсутствии потребления лимонной, малеиновой, уксусной и азотсодержащей (креатин) низкомолекулярных органических кислот, а из спектра аминокислот – глицина, валина, аргенина и треонина. Бактериальные комплексы ММП, в отличие от СТС, отличаются более равномерным потреблением всех групп органических соединений. Однако, в торфяниках северной тундры по сравнению с южной отмечена меньшая активность потребления в спектре углеводов ди- и трисахаридов, спиртов – инозита и сорбита. Это может быть обусловлено как спецификой формирования торфяников и различиями в ботаническом составе, так и более жесткими условиями, в которых функционируют в почвах болотных экосистем северной тундры микробные сообщества. Расчет параметра дестабилизации d подтверждает относительно благополучное состояние микробных сообществ в СТС и ММП торфяников лесотундры (d в основном равен 0,1–0,2) и южной тундры ($d = 0,1–0,4$), и неблагоприятное – в торфяниках северной тундры ($d = 1,2–2,2$).

Таким образом, впервые для криолитозоны Европейского северо-востока России получены данные о бактериальных и микромицетных комплексах сезонно-талых и многолетнемерзлых слоев торфа в бугристых торфяниках лесотундры, южной и северной тундр. Установлен таксономический состав микроскопических грибов, выявлены закономерности распределения грибного мицелия и спор грибов в системе СТС-ММП торфяной залежи. Показано, что зональные закономерности и ландшафтные особенности наиболее четко прослеживаются при исследовании длины мицелия, соотношения живых и мертвых гифов грибов и их видового разнообразия. Методами мультисубстратного тестирования подтверждена высокая функциональная активность микробных комплексов многолетнемерзлых слоев торфяной залежи бугристых болот и установлены их специфические черты.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Микробные сообщества экосистем Севера, их биотехнологический потенциал и технологии его реализации» (Рег. № 125021201993-3).

Библиографический список

1. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: арктическая зона, мерзлотные почвы – будущему России (сельское и лесное хозяйство)» / под ред. Р. С.-Х. Эдельгериева и А. Л. Иванова. Т. 4. М. : ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», 2024. 672 с.
2. Малкова Г. В., Павлов А. В., Скачков Ю. Б. Оценка устойчивости мерзлых толщ при современных изменениях климата // Криосфера Земли. 2011. Т. 15. № 4. С. 29–32.

3. Long-term active layer monitoring at CALM sites in the Russian European North / D. Kaverin, G. Malkova, D. Zamolodchikov, et al. DOI: 10.1080/1088937X.2021.1981476 // Polar Geography. 2021. Vol. 44. No. 18. P. 203–216.

4. Определение физиологического состояния бактерий в почве с помощью люминесцентного красителя L 7012 / Л. В. Лысак, Е. В. Лапыгина, И. А. Конова, Д. Г. Звягинцев // Изв. РАН. Сер. биол. 2009. Т. 36. № 6. С. 750–754.

5. Методика выполнения измерений интенсивности потребления тест-субстратов микробными сообществами почв и почвоподобных объектов фотометрическим методом: ФР.1.37.2010.08619., ПНД Ф Т 16.1.17-10. М., 2010. 13 с.

6. Структура комплексов микромицетов в многолетнемерзлых грунтах и криопэгах Арктики / С. М. Озерская, Г. А. Кочкина, Н. Е. Иванушкина и др. DOI: 10.1134/S0026261708040152 // Микробиология. 2008. Т. 77. № 4. С. 542–550.

7. Grum-Grzhymaylo O. A., Debets A. J. M., Bilanenko E. N. Mosaic structure of the fungal community in the Kislo-Sladkoe Lake that is detaching from the White Sea. DOI: 10.1007/s00300-018-2347-9 // Polar Biology. 2018. Vol. 41. P. 2075–2089.

8. Zonal patterns of changes in the taxonomic composition of culturable microfungi isolated from permafrost peatlands of the European Northeast / Y. A. Vinogradova, V. A. Kovaleva, E. M. Perminova, et al. DOI: 10.3390/d15050639 // Diversity. 2023. Vol. 15. No. 5. P. 639–650.

ХЕМОЛИТОТРОФНЫЙ АЦИДОФИЛЬНЫЙ ШТАММ *ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS* ВКМ В-3609 КАК ОСНОВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУЛЬФАТА ЖЕЛЕЗА

Т. Н. Кувичкина, А. А. Ячкула, М. Б. Вайнштейн, А. Н. Решетилов
ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»
(Институт биохимии и физиологии микроорганизмов
имени Г. К. Скрыбина РАН), г. Пушкино, Россия, kuv@ibpm.pushchino.ru

Предложена лабораторная модель мембранного амперометрического биосенсора на основе хемолитотрофных ацидофильных бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* для определения сульфата железа.

Ключевые слова: хемолитотрофные ацидофильные бактерии *Acidithiobacillus ferrooxidans*, иммобилизация, кислородный электрод Кларка.

Acidithiobacillus ferrooxidans – хемолитотрофные бактерии, получающие энергию за счет окисления двухвалентного железа и серных соединений в кислой среде. Эти бактерии вносят важный вклад в биогеохимический цикл окружающей среды и широко применяются для биовыщелачивания металлов. Возрастающие потребности в добыче ценных цветных и редкоземельных металлов обуславливают важность биовыщелачивания металлов из бедных руд, к которым неприменимы классические методы добычи (пирометаллургия). Содержание металлов в бедных рудах мало, но в виду значительных залежей отходов горной промышленности на территориях добычи их извлечение альтернативными методами (биовыщелачивание) актуально [1, 2].

Известно, что одним из ключевых микроорганизмов в процессе биовыщелачивания являются хемолитотрофные ацидофильные бактерии

Acidithiobacillus ferrooxidans, которые обуславливают интенсивное окисление ионов двухвалентного железа в трехвалентное.

Целью работы являлось применение хемолитотрофного ацидофильного штамма *Acidithiobacillus ferrooxidans* ВКМ В-3609 как основы для определения сульфата железа.

В работе применяли хемолитотрофный ацидофильный штамм *A. ferrooxidans* ВКМ В-3609, выделенный нами из силикатной железоникелевой руды (Оренбургская область, Россия) [3]. В качестве преобразователя использовали кислородный электрод типа Кларка. С помощью его измеряли концентрацию кислорода в растворе, преобразующем химический сигнал (концентрацию кислорода) в электрический сигнал (электродный ток). Выращенные клетки *A. ferrooxidans* ВКМ В-3609 иммобилизовали методом физической адсорбции на хроматографической стеклобумаге («Whatman GF/A», Великобритания). Регистрируемым параметром являлась максимальная скорость изменения выходного сигнала dI/dt (мкА/с), связанная пропорциональной зависимостью со скоростью изменения концентрации потребленного кислорода (отклик). Объем пробы субстрата составлял 100 мкл. Максимальную скорость изменения тока электрода рассчитывали как первую производную изменения тока электрода в ответ на введение субстрата. Измерительную ячейку с микробным электродом промывали для удаления введенного субстрата, затем заполняли свежим буферным раствором и проводили следующее измерение. Для определения реакции культуры-рецептора на субстрат в измерительный раствор вводили раствор вещества. Изменение дыхания рецепторных клеток в ответ на субстрат (изменение концентрации кислорода) было пропорционально изменению электрического сигнала электрода. Дыхание микробных клеток активировалось в ответ на введение субстрата.

Реакция биорецептора на субстрат была пропорциональна начальной максимальной скорости изменения электродного тока в ответ на введение субстрата. С учетом времени, необходимого для отмывания и стабилизации основного (эндогенного) дыхания культуры-рецептора, в среднем одно измерение занимало около 15 мин при минимальном расходе микробной биомассы (5 мг сырого веса). Это время определяет длительность единичного измерения.

По иммобилизации хемолитотрофных микроорганизмов, принимающих участие в биовыщелачивании и использованию иммобилизованной биомассы клеток в окислении двухвалентного железа, в обзоре данных представлены сведения. Применение иммобилизованной биомассы клеток значительно увеличивает продуктивность окисления железа. В исследованиях применяли различные типы носителей: активированный уголь, песок, полистирол, полиуретан и др. [4]. Учитывая это обстоятельство, нами также использовались иммобилизованные клетки.

Таким образом можно заключить, что лабораторная модель микробного амперометрического биосенсора является адекватным инструментом для

определения сульфата железа и исследования свойств биорецептора на основе хемолитотрофных ацидофильных бактерий *A. ferrooxidans* ВКМ В-3609.

Библиографический список

1. Шаихова Д. Р. Перспективы использования *Acidithiobacillus ferrooxidans* в биовыщелачивании металлов из отходов производства. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-90-97 // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 6. С. 90–97.
2. Чачина С. Б., Маковец А. Е., Денисова Е. П. Разработка биопрепаратов для технологии биовыщелачивания меди, железа и марганца // Вестник ПНИПУ. Химическая технология. 2024. № 3. С. 30–53.
3. Physiological properties of *Acidithiobacillus ferrooxidans* strains isolated from sulfide ore deposits in Kazakhstan / Z. K. Kanaev, A. G. Bulaev, A. T. Kanaev, T. F. Kondrat'eva. DOI: 10.1134/S002621715030091 // Microbiology. 2015. Vol. 84. P. 370–376.
4. Хайнасова Т. С., Левенец О. О., Трухин Ю. П. Применение иммобилизации микроорганизмов в биовыщелачивании // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № S31. С. 235–246.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПОЧВЕННОГО МИКРОБИОМА ПО ДАННЫМ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ БИБЛИОТЕК ГЕНОВ 16S РРНК

И. Г. Широких^{1,2}, Н. А. Боков²

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

Проведена оценка филогенетического и функционального разнообразия прокариот дерново-подзолистой почвы индустриально насыщенного региона в южно-таежной подзоне европейской части России. Выполнен сравнительный анализ возможных функциональных генов и метаболических путей в прокариотном компоненте почвенного микробиома с помощью программных комплексов MicFunPred и FAPROTAX.

Ключевые слова: прокариоты, филогения, 16S рРНК, ампликонное секвенирование, метаболическое профилирование сообществ.

Метагеномные методы исследования позволяют на основе таксономических профилей микробных сообществ прогнозировать функциональные гены, метаболические и другие экологические функции почвенного микробиома [1]. В экологическом мониторинге почв такой подход позволяет составить представление о вероятной модели функционирования микробных сообществ как в почвах природных, так и антропогенно преобразованных ландшафтов. Для решения конкретных задач важно правильно выбрать ин-

струмент прогнозной оценки, разнообразие которых в настоящее время значительно расширилось [2, 3].

Цель исследования – с использованием двух различных программных комплексов оценить функциональное разнообразие прокариот в дерново-подзолистой почве.

В работе использовали пять образцов дерново-подзолистых почв (слой 0–10 см), типизирующих импактные условия (комплекс промышленных выбросов производственных предприятий) в южно-таежной подзоне европейской части России. Выборка почв включала условно фоновый участок ПП5-В, техногенные объекты ПП1 и ПП1-3, вторичные фитоценозы: лесной ПП4-В и луговой ПП1-В.

Подготовку проб, выделение и очистку ДНК, ампликонное секвенирование 16S рРНК на приборе Illumina MiSeq (Illumina, США) осуществляли в Центре коллективного пользования «Геномные технологии, метагеномика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ (Санкт-Петербург, г. Пушкин).

Биоинформатическую обработку полученных сиквенсов производили с использованием программных комплексов MicFunPred и FAPROTAX. В первом случае первичную обработку данных секвенирования проводили с использованием автоматизированного алгоритма QIIME 2 [4]. Классификацию репрезентативных последовательностей с восстановлением исходных фило-типов (ASV, Amplicon sequence variant) выполняли с помощью плагина dada2. Дальнейшую таксономическую классификацию полученных ASV проводили с помощью программного комплекса MicFunPred [2], использовали базу данных BLAST (Basic Local Alignment Search Tool), последовательности атрибутировали с таксонами на уровне рода. Далее с помощью MicFunPred был спрогнозирован метаболический профиль метагенома на основе семейств ор-тологических генов KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes).

Во втором случае первичную обработку исходных сиквенсов производили также с помощью автоматизированного алгоритма QIIME 2, используя для атрибутирования ASV базу данных GreenGenes, версия 13_8. Далее был использован программный комплекс FAPROTAX, который представляет собой инструмент для прогнозирования экологических функций бактериальных и архейных таксонов [3].

Для анализа и визуализации полученных данных использовали пакет программ Microsoft Excel, веб-сервис MicrobiomeAnalyst 2.0 [5] и платформу SRplot [6].

Полученные в процессе ампликонного секвенирования последовательности были ассоциированы с помощью программного комплекса MicFunPred с определенными функциональными генами. Сравнение полученных последовательностей с базой данных KEGG дало 10386779 совпадений. Из них в среднем 19,0% относились к метаболизму аминокислот, а 18,2% – к углеводному обмену (рис. 1).

На долю путей энергетического метаболизма приходилось 11,8%, метаболизма кофакторов и витаминов – 14,1%, нуклеотидного обмена – 6,7%,

липидного обмена – 6,4%. Относительное обилие выявленных совпадений, связанных с процессами биodeградации ксенобиотиков составило в среднем 5,9%, с метаболизмом терпеноидов и поликетидов – 3,2%, с биосинтезом других вторичных метаболитов – 4,4%, с биосинтезом и метаболизмом гликанов – 4,6%.

Полученные метаболические профили прокариотного сообщества характеризовались высокой однородностью: коэффициенты вариации (V , %) относительного содержания различных функциональных генов в большинстве случаев не превышали 2,13–3,6%. И только значения относительной доли генов, задействованных в метаболизме и биodeградации ксенобиотиков, характеризовались более высоким варьированием – $V = 14,3\%$ в ряду исследованных почвенных образцов. Минимальным их содержанием отличалась почва условно фонового участка ПП5-В (5,3%), максимальным – почва из лесного биома ПП4-В (7,1%).

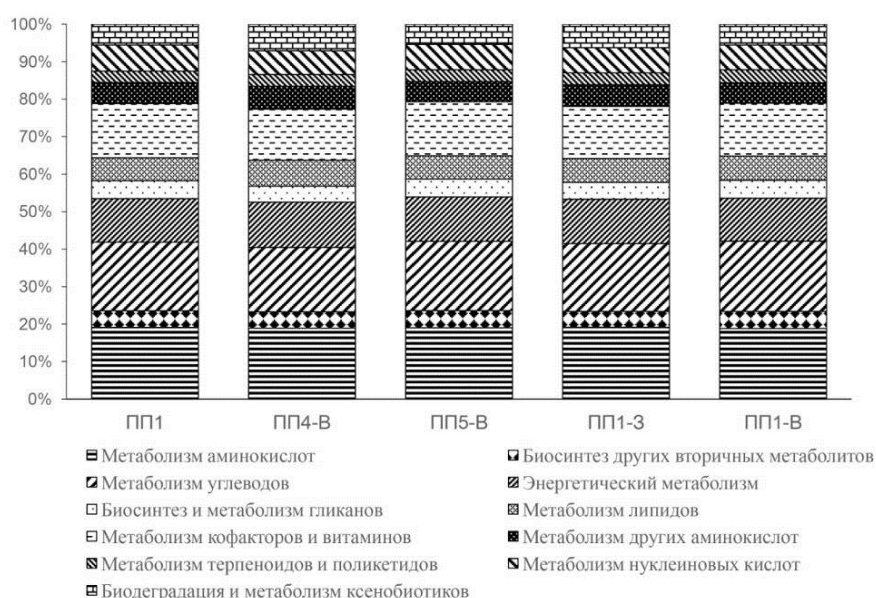


Рис. 1. Относительное содержание семейств ортологичных генов KEGG, распределенных MicFunPred по метаболическим путям, в прокариотном сообществе дерново-подзолистой почвы

В результате преобразования таксономических профилей микробного сообщества в предполагаемые функциональные профили с помощью программного комплекса FAPROTAX, были определены метаболические и другие экологические функции бактериальных и архейных таксонов, полученных в работе для исследуемых почвенных образцов. Каждому из микробиомов соответствовал индивидуальный спектр экологических функций (рис. 2).

Наиболее близкими между собой оказались функциональные профили прокариотных сообществ вторичных фитоценозов: лесного ПП4-В и лугового ПП1-В. К ним примыкали прокариотные сообщества образцов почв техногенных объектов ПП1-3 и ПП1. Усложнение метаболического профиля микробиома по сравнению с почвой условно фонового участка ПП5-В происхо-

дит в процессе восстановительной сукцессии техногенного объекта ПП1, где среди присвоенных таксонов найдены ассоциированные с такими путями микробного метаболизма, как сульфатное, фумаратное, марганцевое и «железное» дыхание, сульфатредукция, восстановление нитратов и нитритов, денитрификация, фотосинтез и разложение мочевины, не выявленными или выявленными в меньшем количестве в метагеномах других микробных сообществ.

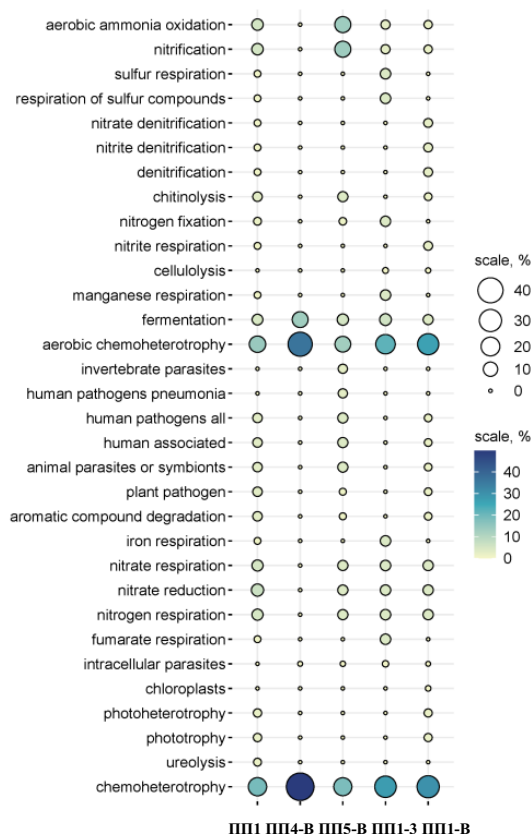


Рис. 2. Относительное количество таксонов, распределенных FAPROTAX между экологическими функциями в прокариотном сообществе дерново-подзолистой почвы

Таким образом, на основе результатов высокопроизводительного секвенирования библиотек гена 16S рРНК было получено, с использованием программных комплексов MicFunPred и FAPROTAX, представление о возможных метаболических путях и экологических функциях прокариотного компонента дерново-подзолистой почвы с высокой техногенной нагрузкой.

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 государственного задания «Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» № FNWE-2025-0005.

Библиографический список

1. Specialized metabolic functions of keystone taxa sustain soil microbiome stability / W. Xun, Y. Liu, W. Li, et al. DOI: 10.1186/S40168-020-00985-9 // Microbiome. 2021. Vol. 9. P. 35.
2. 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.
3. Louca S., Parfrey L. W., Doebeli M. Decoupling function and taxonomy in the global ocean microbiome. DOI: 10.1126/science.aaf4507 // Science. 2016. Vol. 353. P. 1272–1277.
4. 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. P. 852–857.
5. 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. (W1):W310–W318.
6. SRplot: A free online platform for data visualization and graphing / D. Tang, M. Chen, X. Huang, et al. DOI: 10.1371/journal.pone.0294236 // PLoS One. 2023. Vol. 18. No. 11. Article No. e0294236.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОСТА И ЦЕЛЛЮЛАЗНОЙ АКТИВНОСТИ СТРЕПТОМИЦЕТОВ НА СОЛОМЕ И РЖАНЫХ ОТРУБЯХ

Н. А. Боков^{1,2}, И. Г. Широких²

¹ Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,

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

Изучали способность четырех штаммов *Streptomyces* spp. колонизировать и гидролизовать ржаные отруби и солому. Все культуры демонстрировали более высокую скорость роста (до $86,8 \pm 3,2$ мкм/ч у *S. thermocarboxydus* T1-3) на соломе, чем на ржаных отрубях, в качестве единственного источника углерода. На ржаных отрубях наибольшая скорость роста зафиксирована у *S. griseoaurantiacus* Mb4-2 ($30,8 \pm 2,1$ мкм/ч). Целлюлазная активность, напротив, у большинства штаммов была выше (до $362,8 \pm 93,5$ Ед/мл у *S. thermocarboxydus* T1-3) при ферментативном гидролизе ржаных отрубей, чем соломы.

Ключевые слова: стрептомицеты, солома, ржаные отруби, скорость роста, целлюлазная активность.

Озимая рожь (*Secale cereale* L.) является одной из важнейших зерновых культур. Основными странами, выращивающими озимую рожь, являются Россия, Польша, Германия, Финляндия, Украина и Дания, производящие около 90% ржи в мире [1, 2]. Как культура сельскохозяйственного производства, рожь характеризуется минимальными потребностями в питании и более продуктивна, чем другие зерновые, при выращивании на почвах низкого

плодородия [3], устойчива к суровым климатическим условиям и способна расти в климатических зонах с относительно низкой среднегодовой температурой [4].

Большая часть возделываемой ржи идет на производство хлеба. Ржаные отруби являются побочным продуктом, который образуется при производстве очищенной ржаной муки. Мировое производство ржаных отрубей за последнее десятилетие составило приблизительно 30 млн тонн [5]. В составе ржаных отрубей содержится 33,4% целлюлозы, 5,3% гемицеллюлозы и 3,3% лигнина [6]. Ржаные отруби, помимо использования в качестве пищевой добавки, используется при производстве биотоплива [7], субстрата для роста отдельных штаммов микроорганизмов, производства микробных ферментов, таких как целлюлаза, амилаза, ксиланаза и пектиназа. Хотя гидролиз лигноцеллюлозных отходов является очень медленным процессом, он более экономичен, поскольку не требует дополнительных химических веществ [8].

Способностью продуцировать различные ферменты (целлюлазы, ксиланазы, амилазы, хитиназы) выделяются представители рода *Streptomyces* [9].

Цель работы – оценка способности четырех почвенных изолятов стрептомицетов расти и продуцировать целлюлазы, используя в качестве питательного субстрата, ржаные отруби.

Объектами исследования служили *S. griseoaurantiacus* Mb4-2, *S. thermocarboxydus* T1-3, *S. hygrosopicus* N27-25, *S. ryensis* H13-3, ранее продемонстрировавшие способность расти на соломе, березовом и дубовом опиле [10]. Для оценки способности колонизировать ржаные отруби измеряли радиальную скорость роста (Kr) каждой из четырех культур. Для этого штаммы засеивали на агаризованную среду Гетчинсона с добавлением ржаных отрубей (10 г/л) в качестве единственного источника углерода. Для сравнения использовали ту же среду, но с заменой отрубей в том же количестве (10 г/л) соломой. Микроорганизмы засеивали на чашку тремя уколами, в каждом варианте использовали по три чашки, всего 9 повторений. Инкубировали посе-вы при 28 °С в течение 14 сут. За диаметр отдельной колонии принимали среднее арифметическое 9 измерений. Радиальную скорость роста определяли по формуле:

$$Kr = (d_2 - d_1)/(t_2 - t_1),$$

где d1 и d2 – диаметр колоний (мм) в начальный (t1) и конечный (t2) моменты времени измерения соответственно (ч) [11]

Для оценки способности гидролизовать ржаные отруби штаммы предварительно наращивали на жидкой питательной среде Гаузе 1 в течении 5 суток стационарно при 28 °С, после чего по 1 мл жидкой культуры переносили в жидкую минеральную среде следующего состава (г/л): K₂HPO₄ – 2; NH₄Cl – 2, NaCl – 1; MgSO₄ · 7H₂O – 1; MnSO₄ – 0,05; FeSO₄ · 7H₂O – 0,05; CaCl₂ · 2H₂O – 0,1. Титры (количество пропагул в 1 мл жидкой культуры) штаммов *S. griseoaurantiacus* Mb4-2, *S. thermocarboxydus* T1-3, *S. hygrosopicus* N27-25, *S. ryensis* H13-3 составили 2,5 · 10⁷, 2,5 · 10⁸ и 2,5 · 10⁶, 9,5 · 10⁵ соответственно. Культивирование осуществляли в стационарных условиях при 28 °С в те-

чение 3 сут. Об эффективности гидролиза ржаных отрубей и соломы судили по величине целлюлазной активности, определяемой с реактивом ДНС (3,5-динитросалициловая кислота). Активность фермента измеряли в супернатантах при 50 °С и рН = 5 по начальной скорости образования редуцирующих сахаров, концентрацию которых определяли при 540 нм спектрофотометрически [12].

За единицу активности принимали такое количество фермента, при действии которого на субстрат в условиях ферментативной реакции за 1 ч образуется 1 мкмоль редуцирующих сахаров в пересчете на глюкозный эквивалент.

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

Сравнение радиальной скорости роста стрептомицетов на средах с ржаными отрубями и соломой, показало, что все четыре штамма быстрее колонизируют питательную среду с соломой (рис.).

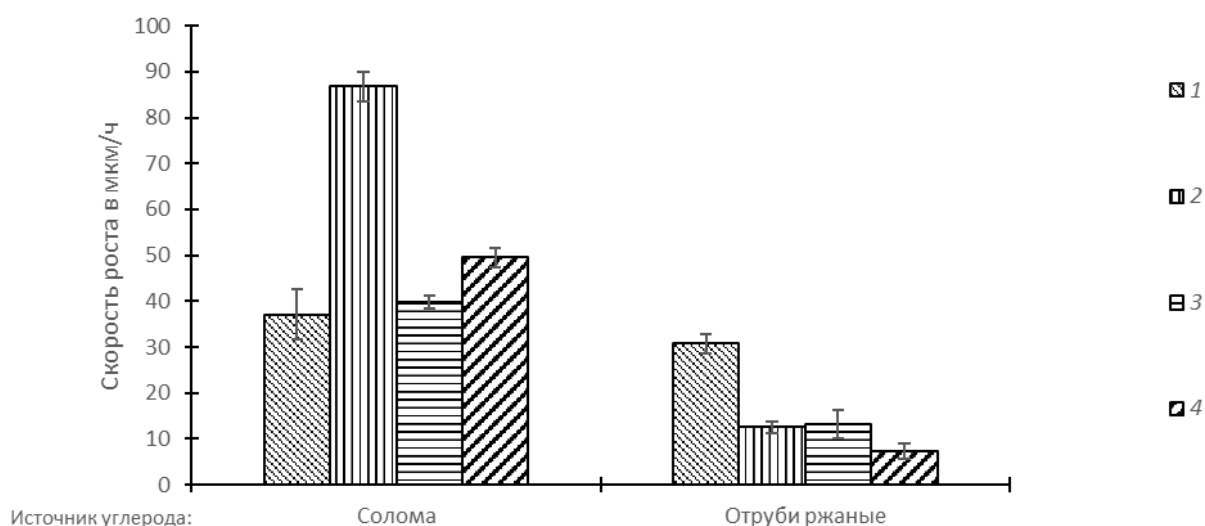


Рис. Сравнение скорости роста стрептомицетов на двух источниках углерода.

1 – *S. griseoaurantiacus* Mb4-2, 2 – *S. thermocarboxydus* T1-3,
3 – *S. hygroscopicus* N27-25, 4 – *S. ryensis* H13-3

Наибольшая скорость роста на плотной питательной среде с ржаными отрубями в качестве единственного источника углерода отмечена у штамма *S. griseoaurantiacus* Mb4-2 – $30,8 \pm 2,1$ мкм/ч, что значимо превосходило остальные штаммы более чем в два раза. Наибольшая разница в скоростях роста на сравниваемых субстратах была установлена у штамма *S. thermocarboxydus* T1-3. Так, на среде с соломой его радиальная скорость роста была $86,8 \pm 3,2$ мкм/ч, а с отрубями – $12,6 \pm 1,3$ мкм/ч. В меньшей степени различались значения Кг у штамма *S. griseoaurantiacus* Mb4-2: $37,0 \pm 3,9$ и $30,8 \pm 2,1$ мкм/ч соответственно.

Максимальная целлюлазная активность была достигнута на среде с отрубями штаммом *S. thermocarboxydus* T1-3 и составила $362,8 \pm 93,5$ Ед/мл, что на 38% превысило целлюлазную активность у штамма *S. griseoaurantiacus*

Mb4-2 ($263,5 \pm 118,5$ Ед/мл), однако разница между ними оценивалась как статистически не достоверная. Значимо меньшую активность показали штаммы *S. ryensis* H13-3 и *S. hygrosopicus* N 27-25 (табл.). Три из четырех штаммов, показали при ферментации ржаных отрубей большую активность, чем при ферментации соломы. Более высокая целлюлазная активность стрептомицетов при ферментации ржаных отрубей может быть связана с их химическим составом, в котором значимую долю (18,6%) имеет крахмал, легко-гидролизуемый стрептомицетами, до простых углеводов, повышение концентрации которых и было отмечено в тесте с реактивом ДНС.

Таблица

Сравнение целлюлазной активности при культивировании стрептомицетов на питательных средах с источником углерода в виде ржаных отрубей и соломы

Штамм	Целлюлазная активность при ферментации, Ед/мл	
	ржаных отрубей	соломы
<i>S. griseoaurantiacus</i> Mb4-2	$263,5 \pm 118,5$	$124,4 \pm 18,7$
<i>S. thermocarboxydus</i> T1-3	$362,8 \pm 93,5$	$171,3 \pm 8,1$
<i>S. ryensis</i> H13-3	$72,1 \pm 18,3$	$149,4 \pm 10,5$
<i>S. hygrosopicus</i> N27-25	$164,2 \pm 30,5$	$63,0 \pm 9,5$

Таким образом, в результате проведенного исследования у трех из четырех штаммов стрептомицетов выявлен значительный потенциал к ферментации ржаных отрубей, показана возможность их использования в качестве субстрата для культивирования стрептомицетов-целлюлозолитиков. Штаммы *S. thermocarboxydus* T1-3 и *S. griseoaurantiacus* Mb4-2, продемонстрировавшие в эксперименте наиболее высокую активность, в дальнейшем могут быть использованы для переработки ржаных отрубей в продукты с добавленной стоимостью.

Работа выполнена в рамках государственного задания FNWE-2025-0005 Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.).

Библиографический список

1. Генералов И. Г., Сулов С. А. Производство зерна в России и в мире // Вестник НГИЭИ. 2014. Т. 9. № 40. С. 3–11.
2. Мелешкина Е. П., Бундина О. И. Производство, переработка и потребление зерна ржи в России: направления развития. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10144 // Пищевая промышленность. 2020. № 12. С. 55–59.
3. Уткина Е. И., Кедрова Л. И. Зимостойкость озимой ржи: проблемы и решения // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 62. № 1. С. 11–18.
4. Жученко А. А. Потенциальная продуктивность и экологическая устойчивость ржи // Агропродовольственная политика России. 2012. № 2. С. 19–24.
5. Demirel F., Germec M., Turhan I. Fermentable sugars production from wheat bran and rye bran: Response surface model optimization of dilute sulfuric acid hydrolysis. DOI: 10.1080/09593330.2021.1934563 // Environ. Technol. 2022. Vol. 43. No. 24. P. 3779–3800.

6. Highly-efficient release of ferulic acid from agro-industrial by-products via enzymatic hydrolysis with cellulose-degrading enzymes: Part I – The superiority of hydrolytic enzymes versus conventional hydrolysis / K. Juhnveica-Radenkova, J. Kviesis, D. A. Moreno, et. al. DOI: 10.3390/foods10040782 // Foods. 2021. Vol. 10. Article No. 782.
7. Dziki D. Rye flour and rye bran: new perspectives for use. DOI: 10.3390/pr10020293 // Processes. 2022. Vol. 10. No. 2. Article No. 293.
8. Potential applications of extracellular enzymes from *Streptomyces* spp. in various industries / M. Kumar, P. Kumar, P. Das, et al. DOI: 10.1007/s00203-020-01898-9 // Archives of Microbiology. 2020. Vol. 202. P. 1597–1615.
9. From agricultural waste to biofuel: enzymatic potential of a bacterial isolate *Streptomyces fulvissimus* CKS7 for bioethanol production / K. Mihajlovski, A. Buntić, M. Milić, M. Rajilić-Stojanović. DOI: 10.1007/s12649-020-00960-3 // Waste Biomass Valor. 2021. Vol. 12. P. 165–174.
10. Целлюлолитический потенциал новых штаммов почвенных стрептомицетов / Н. А. Боков, А. В. Бакулина, Е. А. Бессолицына и др. DOI: 10.31857/S0026365624050111 // Микробиология. 2024. Т. 93. № 5. С. 635–644.
11. Билай В. И. Методы экспериментальной микологии. М. : Рипол Классик, 1973. 240 с.
12. Ghose T. K. Measurement of cellulase activities // Pure and Applied Chemistry. 1987. Vol. 59. P. 257–268.

ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ СТРЕПТОМИЦЕТОВ В ТКАНЯХ И ВЛИЯНИЕ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАРТОФЕЛЯ IN VITRO

С. Э. Мокрушина, И. Г. Широких
*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, sveta.flouni@gmail.com*

В работе изучали влияние штаммов *Streptomyces althioticus* КР-10 и *Streptomyces* sp. ПС-9 на растения картофеля первого вегетативного поколения *in vitro*. КР-10 увеличил высоту побега на 15,6%, длину корня на 21,7%, сухую биомассу на 20,6% и коэффициент размножения на 16%, но не сохранился в тканях картофеля. Штамм ПС-9, напротив, сохранился в тканях при последующем черенковании растений, однако при этом снизил морфометрические показатели картофеля первого после инокуляции поколения.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., клональное микроразмножение, стрептомицеты, бактеризация, ризосфера.

Микроклональное размножение картофеля (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* является ключевым методом в современной биотехнологии, обеспечивающим получение генетически однородного, безвирусного посадочного материала и ускорение селекционного процесса. Этот подход позволяет сохранять и оздоравливать ценные сорта, однако его эффективность может снижаться при длительном культивировании из-за снижения коэффициента размножения. В связи с этим актуальным направлением является поиск биотех-

нологических приёмов, направленных на повышение коэффициента размножения оздоровленных микрорастений [1, 2].

Одним из перспективных инструментов в оптимизации клонального микроразмножения выступает использование бактерий-симбионтов, в частности бактерий рода *Streptomyces* [3]. Стрептомицеты известны способностью синтезировать вторичные метаболиты, такие как фитогормоны и антибиотики. Вследствие этого они могут стимулировать рост растений и повышать их устойчивость к патогенам [4, 5].

Однако вопросы долгосрочности колонизации тканей растений стрептомицетами остаются малоизученными. Сохранение бактериальной активности в течение нескольких циклов микроразмножения важно для практического применения, так как при последующих циклах черенкования снижение колонизационной способности может нивелировать положительные эффекты на морфометрические показатели последующих поколений растений.

Цель работы – изучить продолжительность колонизации тканей картофеля (*Solanum tuberosum* L.) двумя штаммами стрептомицетов при повторном черенковании *in vitro*, а также оценить их влияние на морфометрические показатели первого поколения вегетативного потомства бактериализованного картофеля.

Объектом исследований служили растения сортообразца картофеля 172-13. Для инокуляции были использованы штаммы *Streptomyces althioticus* КР-10, выделенный из ризосферы крапивы (*Urtica dioica* L.), и штамм *Streptomyces* sp. ПС-9, выделенный из ризосферы пастушьей сумки (*Capsella bursa-pastoris* L.). Стрептомицеты культивировали в жидкой питательной среде Гаузе 1 при 24 °С в течение 5 сут. на качалке (120 об./мин.). Для инокуляции использовали бактериальные суспензии с титром 10⁵ кл./мл. Микро-растения картофеля выращивали на среде Мурасиге и Скуга (1962) без гормонов, с добавлением 20 г/л сахарозы. Инокуляцию проводили путём погружения микрочеренков в жидкую суспензию бактерий. Инкубацию растений осуществляли в пробирках при фотопериоде 16 ч, освещенности 4 тыс. лк и температуре воздуха 23±1 °С/16±1 °С (день/ночь). В возрасте 50 сут. бактериализованные растения картофеля черенковали повторно (первое вегетативное поколение).

Для оценки способности штамма колонизировать ткани и органы картофеля при повторном черенковании проводили определение численности пропагул стрептомицетов в различных частях растений. С этой целью выполняли посев из разведений тканевых гомогенатов, на агаризованную среду Гаузе 1. Для приготовления гомогенатов корней, листьев, нижней и верхней части побегов использовали растения из каждого варианта эксперимента (объединенная проба). Посев проводили в трёхкратной повторности. Количество колониеобразующих единиц (КОЕ) в 1 г сухой массы растительной ткани рассчитывали с учётом навески, взятой для посева.

Через 6 и 9 недель роста оценивали следующие морфометрические показатели картофеля: высоту побега, длину корней, количество листьев и ко-

эффицент размножения (выход микрочеренков из одного растения), сухую биомассу растений.

Оценка колонизации тканей стрептомицетами при повторном черенковании показала, что штамм *S. althioticus* КР-10 не сохраняется в тканях картофеля первого вегетативного поколения. Причинами этого могут быть неподходящие условия культивирования для данного штамма, а также недостаточное количество пропагул в частях растений, используемых для черенкования. В отличие от КР-10, штамм ПС-9 продемонстрировал высокую выживаемость в тканях картофеля: максимальная численность бактерий зафиксирована в корнях – $(8,5 \pm 2,1) \times 10^7$ КОЕ/г, а также в нижней части побега – $(9,5 \pm 1,3) \times 10^6$ КОЕ/г. В листьях и верхней части побега значения составили $(9,3 \pm 0,9) \times 10^5$ и $(4,1 \pm 0,5) \times 10^5$ КОЕ/г соответственно. Это может быть связано с большей адаптацией штамма ПС-9 к эндогенным метаболитам картофеля, что позволяет эффективно использовать ресурсы растения, и длительное время сохранять жизнеспособность в тканях.

Анализ морфометрических показателей микрорастений картофеля выявил значительные различия между вариантами инокуляции. Через 6 недель после микрочеренкования растений, инокулированных штаммом *Streptomyces althioticus* КР-10, наблюдалось увеличение высоты побега на 3,4%, количества листьев на 13,7% и коэффициента размножения на 16% к контролю (табл.).

Таблица

Морфометрические показатели и коэффициент размножения вегетативного потомства бактеризированного картофеля

Показатель	Вариант		
	контроль без инокуляции	<i>Streptomyces althioticus</i> КР-10	<i>Streptomyces</i> sp. ПС-9
6 недель			
Высота побега, мм	64,3±20,9	66,5±18,3	38,4±21,4
Количество листьев, шт.	10,2±2,6	11,6±3,2	6,4±2,9
Коэффициент размножения, шт.	7,5±2,8	8,7±2,4	4,4±2,8
9 недель			
Высота побега, мм	85,6±24,2	99,0±26,1	70,4±8,8
Длина корня, мм	124,3±35,6	151,3±33,9	114,5±24,7
Количество листьев, шт.	10,6±1,4	12,4±2,8	7,5±2,7
Коэффициент размножения, шт.	8,0±2,3	10,2±2,6	5,5±2,0
Сухая биомасса, г	0,7476	0,9020	0,7107

В тех же условиях инокуляция штаммом *Streptomyces* sp. ПС-9 привела через 6 недель к снижению всех параметров: высота побега уменьшилась на 40,3%, количество листьев – на 37,3%, а коэффициент размножения – на 41,3% по сравнению с контролем.

К 9-й неделе эксперимента влияние бактеризации на растения стало более выраженным. У растений, обработанных ранее штаммом КР-10, за-

фиксирован рост высоты побега на 15,6%, длины корня на 21,7% и сухой биомассы на 20,6%. Обработка штаммом ПС-9, несмотря на сохранение длины корня близкой к контролю ($114,5 \pm 24,7$ мм), показала снижение коэффициента размножения и биомассы растений. Это может говорить о несбалансированности процессов синтеза фитогормонов у этого штамма.

Таким образом, в работе выявили значительные различия в механизмах взаимодействия штаммов стрептомицетов с тканями картофеля *in vitro*. Штамм КР-10 не способен длительное время сохраняться в тканях растений и требует повторной инокуляции на каждом этапе микроразмножения. Штамм ПС-9, благодаря высокой колонизирующей способности и выживаемости, может сохраняться в тканях длительное время, но его функциональная активность может, в то же время, негативно влиять на рост растений. Штамм *Streptomyces althioticus* КР-10 продемонстрировал выраженную ростстимулирующую способность. В отличие от него, обработка картофеля штаммом *Streptomyces* sp. ПС-9 не привела к положительному эффекту. Учитывая установленную в эксперименте продолжительную жизнеспособность штамма ПС-9 в растительных тканях, в дальнейшем необходимо выявить факторы, определяющие его фиторегуляторную способность, для решения вопроса о его биотехнологической перспективности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2025-0005).

Библиографический список

1. Mohapatra P. P., Batra V. K. Tissue culture of potato (*Solanum tuberosum* L.): a review. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.604.058 // Int. J. Current Microbiol. Appl. Sci. 2017. Vol. 6. No. 4. P. 489–495.
2. Cassells A. C. Pathogen and biological contamination management in plant tissue culture: phytopathogens, vitro pathogens, and vitro pests. DOI: 10.1007/978-1-61779-818-4_6 // Methods Mol. Biol. 2012. Vol. 877. P. 57–80.
3. 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. Бурыгин и др. DOI: 10.18699/VJGB-22-52 // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26. № 5. С. 422–430.
4. Plant growth-promoting activities of *Streptomyces* spp. in sorghum and rice / S. Gopalakrishnan, V. Srinivas, M. S. Vidya, A. Rathore. DOI:10.1186/2193-1801-2-574 // Springerplus. 2013. Vol. 2. Article No. 574.
5. Доолоткелдиева Т., Сандра Т. К. Биоинокулянты на основе ризосферных *Streptomyces* для устойчивого сельского хозяйства // Актуальная биотехнология. 2020. № 3. С. 262–265.

СТРЕПТОМИЦЕТЫ-АНТАГОНИСТЫ ИЗ АРИДНЫХ ПОЧВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «ДАГЕСТАНСКИЙ»

А. С. Махлачева¹, А. А. Широких², И. Г. Широких²

¹ Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,

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

В статье представлена сравнительная характеристика комплексов стрептомицетов, изолированных из двух аридных почв заповедного участка «Сарыкумские барханы» на границе низменности и горных хребтов Дагестана. Показано, что в исследуемых почвах частота выделения изолятов с бактерицидной активностью выше, чем изолятов с антифунгальным действием. Выявлены штаммы, одновременно ингибирующие рост грибных и бактериальных тест-культур.

Ключевые слова: *Streptomyces*, антагонизм, антифунгальная активность, бактерицидное действие.

Актиномицеты – спорообразующие, грамположительные бактерии, способные к формированию ветвящегося мицелия, типичные представители почвенной микробиоты. В группу актиномицетов включено свыше 60 родов. В почвах среди культивируемых актиномицетов доминируют актиномицеты рода *Streptomyces* [1]. Актиномицеты в основном являются аэробами, но некоторые роды представлены факультативными или облигатными анаэробами. Представители актиномицетов используют разнообразные источники питания и энергии, обычно труднодоступные для других бактерий. В большинстве случаев стрептомицеты встречаются как свободноживущие в разнообразных местообитаниях, но чаще в почве и реже – в пресной воде [2]. Актиномицеты играют ключевую роль в поддержании почвенного гомеостаза. Благодаря своей способности продуцировать гидролитические ферменты (протеазы, целлюлазы, ксиланазы, лигноцеллюлазы и хитиназы) актиномицеты активно участвуют в утилизации растительных полимеров и минерализуют мономеры, тем самым создавая растениям благоприятные условия для существования в почвах [3].

Актиномицеты широко представлены в почвах всех типов: целинных и окультуренных, плодородных и неплодородных, некоторых кислых торфяниках и т. д. Особенно много их в почвах, где происходит активная трансформация органических веществ. В песчаных почвах актиномицеты встречаются в меньшем количестве [4]. Актиномицеты обнаружены во всех типах почв, за исключением рухляка выветривания и примитивных почв сухих пустынь Центральной Антарктики [5]. Изучение актинобиоты в почвах различных

природно-климатических зон позволяет оценить региональный потенциал актиномицетов для использования в современных биотехнологиях.

Разнообразие почв, их свойств и особенностей распространения в Дагестане отличается своеобразием и самобытностью от других регионов [6]. Особенности разнообразия объясняются многими причинами, среди которых наиболее важными являются сочетание условий вертикальной и горизонтальной зональности, уровневых перепадов, сочетаний местных факторов. Изучение актинобиоты аридных почв также интересно потому, что в этих зонах резко выражен дефицит доступной влаги, это дает исследуемым актиномицетам значительные преимущества перед немикелиальными бактериями [7].

Цель работы – изучение противомикробного действия природных изолятов актиномицетов из аридных почв двух различных биотопов для оценки их биотехнологического потенциала.

В работе использовали образцы почв, отобранные в осенний период на участке «Сарыкумские барханы» Государственного природного заповедника «Дагестанский». Участок расположен в Кумторкалинском районе, в 18 км к северо-западу от г. Махачкалы, у основания северных склонов хребта Нарат-Тюбе, на левом берегу реки Шура-Озень. Открытые пески Сарыкума на отдельных участках интенсивно зарастают. Заповедный участок и прилегающие территории представляют собой аридные пространства на границе низменности и горных хребтов Дагестана, уникальную открытую песчаную пустыню. Здесь, благодаря физико-географическим особенностям, сформировались самые разнообразные биотопы. Образцы почв были отобраны 1) в древесно-кустарниковых зарослях (тополиная роща) и 2) в долине реки с луговой растительностью и разреженными полосами пойменной древесно-кустарниковой растительности (пойма р. Шура-Озень). Перед посевом образцы почвы прогревали при 70 °С в течение 4 ч для ограничения роста немикелиальных бактерий. Посев проводили из разведений почвенных суспензий на казеин-глицериновый агар (КГА). Чашки с посевами инкубировали при 28 °С в течение двух недель. Из колоний с признаками, характерными для рода *Streptomyces*, выделяли чистые культуры и хранили их на скошенном овсяном агаре при 4 °С. В общей сложности было выделено 20 культур стрептомицетов (по 10 из каждого биотопа), у которых в дальнейшем определяли антагонистическую активность в отношении фитопатогенных грибов и бактерий.

Антагонистическую активность актиномицетов исследовали методом агаровых блочков. В качестве тест-культур использовали по три штамма фитопатогенных грибов (*Fusarium culmorum*, *F. oxysporum*, *Alternaria* sp.) и бактерий (*Pseudomonas cepacia*, *P. marginata*, *Erwinia rhapontici*) из рабочей коллекции ФАНЦ Северо-Востока. Для получения блочков стрептомицеты выращивали в газонной культуре на овсяном агаре при 28 °С в течение 7 сут. Затем стерильным пробочным сверлом вырезали блочки с бактериальным мицелием (диаметром 5 мм) и помещали их на поверхность, предварительно

засеянную тест-культурой. Для тест-культур грибов использовали картофельный агар, для бактерий – плотную среду РНМ. Через 3 сут. совместного культивирования измеряли диаметры зон ингибирования роста фитопатогенных грибов и бактерий. По диаметру зоны подавления роста тест-культур судили о степени антагонистической активности исследуемых штаммов.

Численность актиномицетов составила более двух миллионов колониеобразующих единиц (КОЕ) в 1 г каждой из исследуемых почв (табл. 1).

Таблица 1

**Количественные показатели актиномицетных комплексов
в почвах разных биотопов на среде КГА**

Биотоп	Количество прокариот, $\times 10^6$ КОЕ/г		Доля актиномицетов в прокариотном комплексе, %
	всего	в т. ч. актиномицетов	
Тополиная роща	13,5 $\pm$ 8,7	2,78 $\pm$ 0,34	20,6
Пойма р. Шура-Озень	8,2 $\pm$ 2,4	2,29 $\pm$ 0,26	27,9

Эти показатели на 1–2 порядка выше по сравнению с почвами гумидной зоны (дерново-подзолистыми) [4]. Относительное обилие мицелиальных прокариот в почвах исследуемых биотопов практически не отличалось от показателей в дерново-подзолистых почвах и оказалось выше в пойменном биотопе (27,9%), чем в почве тополиной рощи (20,6%).

Таблица 2

**Антагонизм к фитопатогенным грибам и бактериям
природных изолятов стрептомицетов из двух биотопов**

Биотоп	Встречаемость антагонистов, %					
	<i>F. cul-</i> <i>morum</i>	<i>F. oxyspo-</i> <i>rum</i>	<i>Alternaria</i> sp.	<i>P. ceracia</i>	<i>P. margi-</i> <i>nata</i>	<i>E. rha-</i> <i>pontici</i>
Тополиная роща	33	33	33	66	55	33
Пойма р. Шура-Озень	70	50	60	100	80	70

Анализ данных, полученных при определении антагонистической активности, показал, что значительная (50–70%) часть изолятов из почвы пойменного биотопа ингибирует рост фитопатогенных грибов-возбудителей таких заболеваний, как фузариозные гнили зерновых культур и сухую гниль клубней картофеля – *F. culmorum*, фузариозный вилт – *F. oxysporum*, альтернариозы – *Alternaria* sp. [8]. Антибактериальной активностью в этой выборке характеризовались 70–100% стрептомицетов. Чувствительность к их метаболитам проявили вызывающая гниение лука *P. ceracia*, возбудитель заболеваний ряда клубнеплодных и луковичных растений (георгинов, ирисов, гладиолусов) *P. marginata*, а также *Erwinia rhaipontici* – причина гнили ревеня и гиацинтов, порчи зерна пшеницы [9–11]. Среди изолятов, полученных из почвы тополиной рощи, встречаемость антагонистов к фитопатогенным грибам была гораздо ниже – 33%, чем в пойменном биотопе. Антибактериальную активность в этой выборке культур проявили 33–66% стрептомицетов.

Широким спектром (против трех тест-культур) антифунгального действия обладали изоляты 2Д-6, 2Д-7, 2Д-9 из почвы тополиной рощи и изоляты 3Д-1, 3Д-2, 3Д-3, 3Д-6, 3Д-7, полученные из пойменной почвы. Широким бактерицидным действием характеризовались два изолята (2Д-6, 2Д-10) из тополиной рощи, и пять изолятов (3Д-3, 3Д-4, 3Д-5, 3Д-7, 3Д-9) из пойменной почвы. Сочетание антифунгальной и антибактериальной активности обнаружено у штаммов 2Д-6 (из почвы тополиной рощи) и 3Д-3, 3Д-7 (из поймы реки).

Полученные данные в целом соответствуют имеющимся представлениям об актинобиоте почв аридной зоны [4, 5]. В отличие от стрептомицетных популяций почв, сформированных в условиях гумидного климата, среди изолятов из аридных почв антагонизм к бактериям распространен в большей степени, чем антагонизм к грибам.

Выявленные в процессе скрининга на антимикробную активность культуры стрептомицетов включены в рабочую коллекцию микроорганизмов ФАНЦ Северо-Востока для дальнейшего изучения их свойств и пригодности к использованию в защите растений от фитопатогенов.

Работа выполнена в рамках государственного задания FNWE-2025-0005 Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.).

Библиографический список

1. Euzéby J. P. List of Prokaryotic Names with Standing in Nomenclature [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bacterio.net> (дата обращения: 01.04.2025).
2. Гамзаева Р. С., Байков М. В. Микробиология. СПб. : СПбГАУ, 2023. С. 29.
3. Strohl W. R. Antimicrobials / Ed. A. T. Bull. DOI: 10.1128/9781555817770.ch31 // Microbial Diversity and Bioprospecting. Washington : ASM Press, 2004. P. 336–355.
4. Фарниев А. Т., Козырев А. Х., Сабанова А. А. Почвенная микробиология : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2024. С. 21.
5. Добровольский Г. В., Чернов И. Ю. Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 58.
6. Стасюк Н. В. К некоторым проблемам почвоведения и землепользования в Дагестане // Аридные экосистемы. 2008. Т. 14. № 35–36. С. 83–93.
7. Развитие актиномицетов в бурой полупустынной почве при низком давлении влаги / Д. Г. Звягинцев, Г. М. Зенова, И. И. Судницын и др. // Почвоведение. 2012. № 7. С. 799–806.
8. Пересыпкин В. Ф. Болезни сельскохозяйственных культур. Т. 2. Болезни технических культур и картофеля. Киев : Урожай, 1990. 248 с.
9. Burkholder W. H. Sour skin, a bacterial rot of onion bulbs // Phytopathology. 1950. Vol. 1. P. 115–117.
10. Biodiversity and Incidence of Burkholderia Species / M. Stoyanova, I. Pavlina, P. Moncheva, N. Bogatzevska. DOI: 10.1080/13102818.2007.10817465 // Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2007. Vol. 21. No. 3. P. 306–310.
11. Станчева Й. Атлас болезней сельскохозяйственных культур. София-М. : Пенсофт, 2005. 175 с.

ПОИСК ГЕНОВ, СВЯЗАННЫХ С АНТАГОНИСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ, У СТРЕПТОМИЦЕТОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПОЧВЫ И ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЫ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

А. В. Бакулина¹, Е. А. Бессолицына¹, Е. В. Товстик^{1,2}

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

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

Проведен молекулярно-генетический анализ 13 штаммов бактерий рода *Streptomyces*, выделенных ранее из почвы и прикорневой зоны борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) с целью скрининга потенциальных продуцентов антибиотиков и/или обладающих антифунгальной активностью. Методом ПЦР в геноме бактерий выявлены гены поликетидсинтаз, нерибосомных пептидсинтаз, хитиназ и хитин связывающего белка.

Ключевые слова: *Streptomyces* spp., ПЦР, поликетидсинтазы, нерибосомные пептидсинтазы, хитиназы, хитин связывающий белок.

Инвазии новых видов растений приводят к значительным изменениям экосистем в следствие создания моносообществ и представляют угрозу для экологической целостности местной флоры и фауны [1]. Многие инвазивные виды растений также способны влиять на структуру почвенных микробных ценозов [2]. В частности, такое инвазивное растение как борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) характеризуется высокой метаболической активностью, что способствует накоплению в его биомассе широкого спектра вторичных соединений, обладающих аллелопатической активностью. Эти соединения выделяются в окружающую среду с корневыми экссудатами, путем вымывания из надземной части, а также испарения/разложения растительных остатков [3], а их попадание в почву вызывает изменение микробных сообществ. Установлено, что инвазия *H. sosnowskyi* влияет на структуру почвенных актиномицетных комплексов и способствует увеличению родового и видового разнообразия актинобактерий [4].

Изучение штаммов бактерий, ассоциированных с растением *H. sosnowskyi* и почвами, где он произрастает, представляет интерес с точки зрения поиска потенциальных продуцентов ценных метаболитов.

Целью настоящей работы явился молекулярно-генетический анализ штаммов *Streptomyces* spp., выделенных из почвы и прикорневой зоны борщевика Сосновского, произрастающего на территории Кировской области, для выявления генов, связанных с биосинтезом вторичных метаболитов и антифунгальной активностью.

Объектом исследования служили 13 штаммов бактерий рода *Streptomyces*: *Streptomyces* spp. RSFN5, RSFK2, RPLN5, RPLN12, RPLN23

(прикорневая зона борщевика Сосновского); *Streptomyces* spp. 3N2, 3N3, 1N8, 1K6, 3K9 (почва участков массового роста борщевика Сосновского); *Streptomyces* spp. 2K10, 2K9, 2K1 (почва луговых сообществ, свободных от борщевика Сосновского).

Молекулярно-генетический анализ исследуемых штаммов бактерий проводили методом ПЦР с использованием специфических пар праймеров. Для выявления биосинтетических генных кластеров поликетидсинтаз (PKSI, PKSII) и нерибосомных пептидсинтаз (NRPSs) использовали соответственно пары праймеров K1F/M6R [5], KSαF/KSαR [6] и A3F/A7R [5]. Для выявления у стрептомицетов генов, которые могут быть связаны с антифунгальной активностью, использовали праймеры, разработанные нами ранее [7]. Для детекции генов хитиназ применяли праймеры Chit_1F/Chit_1R и ChitCF2/ChitCR2, для обнаружения гена хитин связывающего белка – ChitBPF/ChitBPR. Используемые в работе олигонуклеотиды синтезированы ООО «Синтол» (г. Москва, Россия).

Культуры стрептомицетов выращивали в жидкой среде Гаузе 1, суммарные нуклеиновые кислоты выделяли согласно [8]. ПЦР проводили на программируемом термостате ТП4-ПЦР-01 «Терцик» («НПО ДНК-Технология», Россия). Реакционная смесь (10 мкл) содержала 10 нг ДНК, 200 мкМ dNTPs, 10 рМ каждого праймера, 1,5 мМ MgCl₂ 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 (для ChitCF2/ChitCR2 и ChitBPF/ChitBPR) и 67 °С (для Chit_1F/Chit_1R) – 30 сек, 72 °С – 1 мин 30 сек, 1 цикл 72 °С – 8 мин. Условия реакции для праймеров K1F/M6R, A3F/A7R и KSαF/KSαR приведены в работах [5, 6]. ПЦР-продукты разделяли методом гель-электрофореза в агарозном и полиакриламидном гелях [7], для визуализации результатов использовали трансиллюминатор «Квант-312» («Helicon», Россия).

Важным направлением практического использования стрептомицетов является разработка на их основе биопрепаратов для защиты сельскохозяйственных растений от фитопатогенов. Антагонистическое действие стрептомицетов чаще всего основано на продукции антибиотиков, а также синтезе гидролитических ферментов, например хитиназ.

В качестве мишеней для ПЦР-анализа стрептомицетов с целью выявления потенциальных штаммов-продуцентов антибиотических веществ использовали гены PKSs, связанные с синтезом поликетид, а также гены NRPSs, участвующих в синтезе пептидных антибиотиков. Продуцируемые этими ферментными системами разнообразные по структуре метаболиты включают вещества с антибактериальной, противогрибковой, противовирусной и противоопухолевой активностью [5]. В геноме исследуемых штаммов не было выявлено фрагментов генов PKSs типа I (ожидаемый размер ампликона 1200–1400 п.н.), тогда как у пяти штаммов были детектированы фрагменты генов PKSs типа II (размер ампликона 700 п.н.) (табл.).

Фрагмент гена NRPS (700 п.н.) был обнаружен только у почвенного штамма *Streptomyces* sp. 2K9, который также характеризуется наличием в геноме ПЦР-продукта гена PKSII. Часто синтез вторичных метаболитов происходит путем комбинации работы ферментативных систем PKSs и NRPSs, что увеличивает разнообразие продуктов с различной биологической активностью [9]. Поэтому метаболиты, продуцируемые *Streptomyces* sp. 2K9, представляют значительный интерес для дальнейшего изучения.

Таблица

Результаты ПЦР-анализа исследуемых штаммов *Streptomyces* spp.

Штамм <i>Streptomyces</i> sp.	Выявляемые ДНК-мишени					
	PKSI	PKSII	NRPS	<i>ChiA</i>	<i>ChiC</i>	CBP
1K6	–	–	–	+	–	–
2K1	–	+	–	+	+	–
2K9	–	+	+	+	+	–
2K10	–	–	–	+	+	+
3K9	–	–	–	+	–	–
1N8	–	–	–	+	–	–
3N2	–	+	–	–	+	+
3N3	–	–	–	–	+	–
RPLN5	–	–	–	+	+	+
RPLN12	–	–	–	+	+	–
RPLN23	–	+	–	+	–	–
RSF2K	–	+	–	+	+	–
RSFN5	–	–	–	+	+	–

Примечание: «+» означает, что ген обнаружен; «–» – ген не выявлен.

Гены, кодирующие хитиназы, в отличие от биосинтетических генных кластеров PKSs и NRPSs были обнаружены у всех исследуемых штаммов стрептомицетов (табл.). Причем 7 штаммов характеризовались наличием фрагментов обоих выявляемых генов хитиназ (*ChiA* – ампликон 600 п.н., *ChiC* – ампликон 244 п.н.), у 4 штаммов присутствовал только ген *ChiA* и у двух штаммов – ген *ChiC*. Стрептомицеты и родственные им роды, как правило, имеют множество паралогов генов хитиназ, особенно хитиназ семейства гликозил гидролаз 18 (GH18) [10], к которым относятся и гены *ChiA*, *ChiC*. ПЦР-анализ выборки из 49 различных штаммов стрептомицетов, проведенный нами ранее, на наличие этих ДНК-мишеней показал, что только 6% исследуемых штаммов не имели в геноме фрагментов генов *ChiA* и/или *ChiC* [7]. Поэтому для дальнейшего изучения молекулярно-генетического потенциала стрептомицетов в отношении антифунгальной активности планируется проводить выявление генов хитиназ, относящиеся к семейству GH19. Способность стрептомицетов продуцировать помимо хитиназ GH18 также и хитиназы GH19 отличает их от других бактерий [10]. Сочетание в геноме стрептомицета генов, кодирующих различные хитинолитические ферменты, может обеспечивать преимущество таких штаммов как в эффективности разложения хитина, так и в антифунгальной активности.

Помимо хитиназ в разложении хитина участвуют литические полисахарид монооксигеназы (LPMOs), к которым относятся хитин связывающие белки (CBPs). CBPs обеспечивают не только связывание с хитином и клеточной стенкой грибов, но и способны расщеплять хитиновые цепи, используя новый окислительный механизм [10, 11]. Среди исследованных культур стрептомицетов фрагмент гена CBP (300 п.н.) был выявлен у трех штаммов. Причем у штаммов *Streptomyces* spp. 2K10, RPLN5 также детектированы фрагменты двух генов хитиназ (*ChiA* и *ChiC*), а у штамма *Streptomyces* sp. 3N2 – ген *ChiC*. Маркер CBP, таким образом, стоит рассматривать как наиболее перспективный для скрининга штаммов стрептомицетов из трех использованных в данной работе ДНК-мишеней, связанных с хитиназной активностью. В то же время, требуется сопоставление полученных генетических данных с хитиназной активностью исследуемых штаммов *Streptomyces* spp.

В целом, результаты ПЦР-анализа дают дополнительную информацию о молекулярно-генетическом потенциале исследуемых стрептомицетов, позволяя отбирать для более детального изучения штаммы с комбинациями генов, связанных с различными механизмами их антагонистической активности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2025-0001).

Библиографический список

1. Invasive plant ecology (Vol. 12) / Eds. S. Jose, H. P. Singh, D. R. Batish, R. K. Kohli. Boca Raton, FL : CRC Press. USA, 2013.
2. Товстик Е. В., Широких И. Г., Широких А. А. Микробиологическое состояние почв под инвазивными зарослями борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) // Вестник современных исследований. 2018. № 2–2 (17). С. 5–8.
3. Кондратьев М. Н., Бударин С. Н., Ларикова Ю. С. Физиолого-экологические механизмы инвазивного проникновения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) в неиспользуемые агроэкосистемы // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. № 2. С. 36–49.
4. Изменение почвенной актинобиоты под влиянием инвазии борщевика Сосновского / Е. В. Товстик, И. Г. Широких, Е. С. Соловьёва и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-4-114-118 // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 4. С. 114–118.
5. Ayuso-Sacido A., Genilloud O. New PCR primers for the screening of NRPS and PKS-I systems in actinomycetes: detection and distribution of these biosynthetic gene sequences in major taxonomic groups. DOI: 10.1007/s00248-004-0249-6 // Microbial Ecology. 2005. Vol. 49. No. 1. P. 10–24.
6. An efficient approach for screening minimal PKS genes from *Streptomyces* / M. Metsä-Ketelä, V. Salo, L. Halo, et al. DOI: 10.1111/j.1574-6968.1999.tb08770.x // FEMS Microbiol. Lett. 1999. Vol. 180. No. 1. P. 1–6.
7. Бакулина А. В., Бессолицина Е. А., Широких И. Г. ПЦР-скрининг бактерий рода *Streptomyces* для целей агrobiотехнологии / PLAMIC2024 «Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего» : материалы IV Междунар. науч. конф. и «Механизмы адаптации микроорганизмов к различным условиям среды обитания» : III Всерос. конф. с междунар. участием. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2024. С. 94–96.

8. Sambrook J., Fritsch 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.
9. NRPS-PKS: a knowledge-based resource for analysis of NRPS/PKS megasynthases / M. Z. Ansari, G. Yadav, R. S. Gokhale, D. Mohanty. DOI: 10.1093/nar/gkh359 // Nucleic Acids Research. 2004. Vol. 32. P. W405–W413.
10. Lacombe-Harvey M. È., Brzezinski R., Beaulieu C. Chitinolytic functions in actinobacteria: ecology, enzymes, and evolution. DOI: 10.1007/s00253-018-9149-4 // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2018. Vol. 102. No. 17. P. 7219–7230.
11. Agostoni M., Hangasky J. A., Marletta M. A. Physiological and molecular understanding of bacterial polysaccharide monooxygenases. DOI: 10.1128/MMBR.00015-17 // Microbiol. Mol. Biol. Rev. 2017. Vol. 81. No. 3. P. e00015–e00017.

АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ БАКТЕРИЙ РОДА *STREPTOMYCES* ИЗ ПОЧВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

М. А. Бородулина¹, И. Г. Широких^{1,2}

¹ Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия, irgenal@mail.ru

Изучали устойчивость к антибиотикам культур *Streptomyces* spp., изолированных из дерново-подзолистых почв разного хозяйственного назначения (на примере почв Нагорского района Кировской области). Получены антибиотикограммы для почв, используемых в качестве пашни, пастбища и под жилую застройку. Для почвы каждой из функциональных зон выявлены антибиотики, в отношении которых в популяциях стрептомицетов распространена устойчивость.

Ключевые слова: почва, функциональные зоны, стрептомицеты, антибиотики, устойчивость.

Актиномицеты рода *Streptomyces*, как и другие почвенные микроорганизмы, являются источником большинства используемых в настоящее время фармацевтических препаратов [1]. Из 16500 различных антибиотиков, продуцируемых микроорганизмами, синтезируются грибами – 29,7%, актинобактериями – 52,7%, другими бактериями – 17,6% [2].

Устойчивость к антибиотикам является распространённой экологической особенностью почвенных бактерий, как и производство молекул антибиотиков. Штаммы-продуценты имеют механизмы защиты от собственных антибиотиков, что позволяет им избежать самоуничтожения. Это объясняет происхождение генов устойчивости к антибиотикам у почвенных сапрофитных микроорганизмов, в т. ч. рода *Streptomyces* [3]. Экспериментальные наблюдения и эволюционные исследования показывают, что гены устойчивости к антибиотикам (почвенный резистом) являются древними, повсеместными и представляют собой резервуар передаваемого генетического материала. На то, что гены устойчивости к антибиотикам уже существовали в «естественных» резистомах окружающей среды и, благодаря горизонтально-

му переносу, распространяются в популяциях современных микроорганизмов, указывает быстрый рост устойчивости к антибиотикам в клинических условиях. В этом контексте важно отслеживать антибиотикорезистентность в окружающей среде, что значительно повысит способность предотвращать появление устойчивости к антибиотикам в клинических условиях. Ситуацию с резистентностью к антибиотикам необходимо изучать не только в естественной среде, но и в среде, на которую влияет хозяйственная деятельность человека [4, 5].

Целью настоящей работы являлось определение спектров устойчивости к антибиотикам у природных изолятов рода *Streptomyces* из дерново-подзолистых почв разного хозяйственного назначения.

Пробы почвы отбирали в осенний период с участков площадью не менее 100 м², которые представляли собой: 1) пашню, куда были внесены суперфосфат кальция и древесная зола; 2) пастбище крупнорогатого скота (КРС); 3) жилую застройку – селитебный участок. Почву отбирали из верхнего слоя 0–10 см по методу «конверта», объединяя индивидуальные пробы в один смешанный образец.

Культуры актиномицетов выделяли из посевов разведений почвенных суспензий на казеин-глицериновый агар (КГА). Инкубация посевов происходила в течение 1 недели при 28 °С в темноте и 1 недели при комнатной температуре и естественном освещении. Проводили подсчет всех колоний прокариот и дифференцированный учет колоний актиномицетов, после чего производили выделение чистых культур актиномицетов для дальнейшей работы. Из каждого смешанного образца почвы выделяли по 11–13 культур рода *Streptomyces*, суммарный объем выборки составил 37 культур. Изоляты стрептомицетов хранили в пробирках со скошенной овсяной средой при 4 °С.

Для определения чувствительности изолятов к антибиотикам использовали индикаторные диски с антибиотиками ДИ-ПИС-50-01 по ТУ 9398-001-39484474-2000 (НИЦФ, Россия, СПб) в следующих концентрациях: 300 ед. полимиксин (ПОЛ), 30 мкг канамицин (КАН), 15 мг клинкомицин (ЛИН), 30 мкг цефтриаксон (ЦРО), 15 мкг азитромицин (АРН), 20 мкг амоксицилин (АКЦ), 300 мкг стрептомицин (СТР), 30 мкг налидиксовая кислота (НК), 30 мкг тетрациклин (ТЕТ), 1,25/23,75 мкг триметоприм/сульфаметоксазол (ТС). Фиксировали величину зон ингибирования роста изолятов каждым антибиотиком. По результатам измерения зон ингибирования была построена тепловая карта с помощью электронного сервиса <https://pythononlinecompiler.ru/>. Для чувствительных культур рассчитывали средний диаметр зон подавления роста антибиотиком для каждого почвенного образца. В выборках приблизительно равного объема определяли долю устойчивых к каждому антибиотику культур и количество антибиотиков, к которым изоляты проявили устойчивость.

В зависимости от места отбора образца численность актиномицетов варьировала в исследуемых почвах от 376 тыс. (пастбище) до 1500 тыс. (селитебный участок) КОЕ/г (табл. 1).

Таблица 1

Количественная характеристика комплексов актиномицетов в почвах разного хозяйственного использования (на казеин-глицериновом агаре)

Почва	Общая численность прокариот, тыс. КОЕ/г	Численность актиномицетов, тыс. КОЕ/г	Доля актиномицетов в прокариотном комплексе, %
Пашня	3343±469	717	21,5
	6667±321	1300	19,5
Пастбище КРС	1043±301	376	36,0
	1650	950	57,6
Селитебный участок	1396±60	459	32,9
	2750	1500	54,6

Наибольший долевым вклад актиномицетов в прокариотный комплекс отмечен в почве пастбища КРС (до 57,6%), наименьший – в пахотной почве (19,5–21,5%). Селитебный участок отличался высокой вариабельностью показателей численности $(459–1500) \times 10^3$ КОЕ/г и долевого участия (32,9–54,6%) актиномицетов в прокариотном комплексе. Во всех стрептомицетных комплексах преобладали представители секции Imperfectus (от 28,6 до 86,0%), значительную долю занимали виды серии Cinereus Chromogenes. В видовой структуре стрептомицетов пашни значительную долю составили виды серии Cinereus Achromogenus (31,4%). С низкой частотой (не более 2%) встречались представители серии Cinereus Violaceus.

Результаты определения у полученных изолятов чувствительности/резистентности к антибиотикам из разных классов и разных механизмов действия представлены на рисунке 1. Величина зон ингибирования изменялась у разных штаммов от 0 до 50 мм, что показано на карте переходом от голубого к темно-красному цвету. Ни один из изолятов не проявил устойчивость сразу ко всем взятым в работу тест-антибиотикам. Культуры, выделенные из почвы пастбища КРС, были устойчивы, каждая хотя бы к одному виду антибиотика. Среди штаммов, изолированных из почвы селитебного участка, чаще встречались культуры, устойчивые одновременно к двум или трем тест-антибиотикам, множественной устойчивостью к пяти тест-антибиотикам характеризовался изолят из пастбищной почвы – КРС-5.

Для выборок стрептомицетов, изолированных из почв различного хозяйственного назначения, прослеживались характерные особенности. Для культур, полученных из образца пахотной почвы, характерна высокая устойчивость к ЦРО, АКЦ (табл. 2).

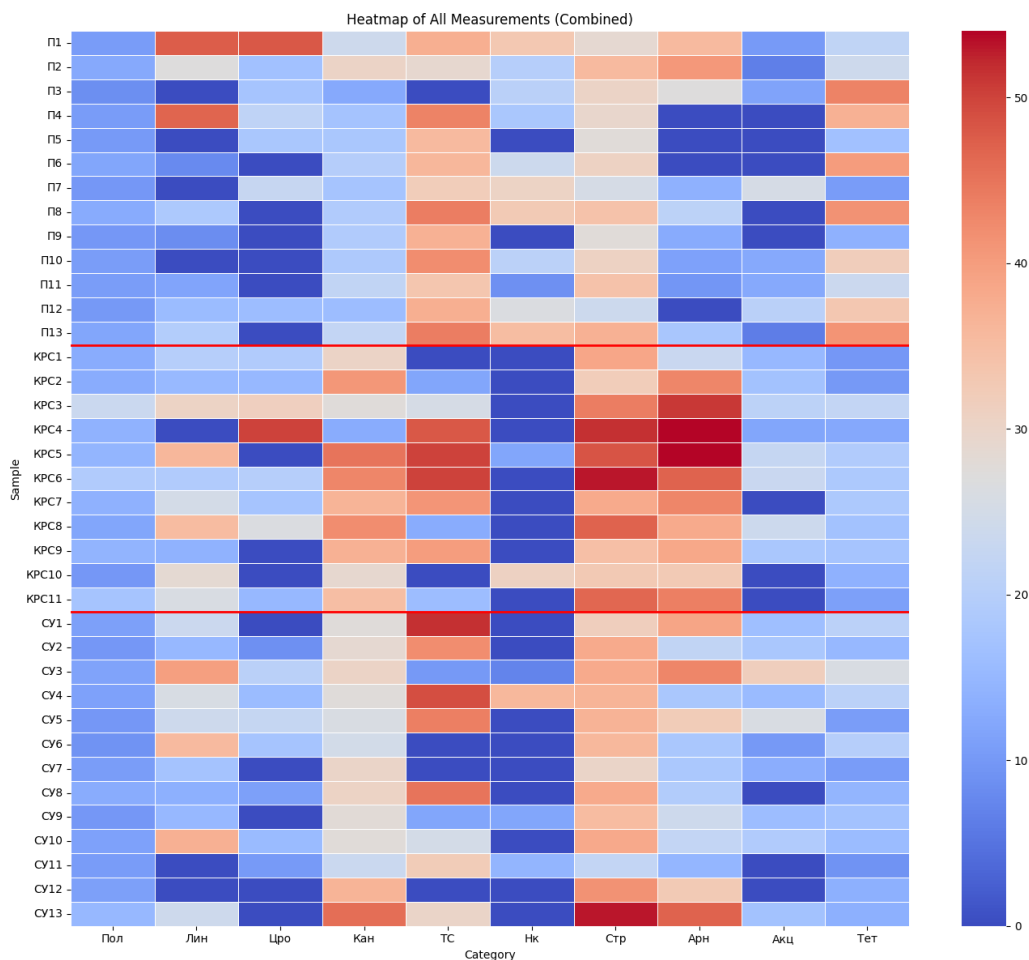


Рис. 1. Тепловая карта, отражающая различия в чувствительности / резистентности к 10 тест-антибиотикам (ПОЛ – полимиксин, ЛИН – линкомицин, ЦРО – цефтриаксон, КАН – канамицин, ТС – триметоприм / сульфаметоксазол, НК – налидиксовая кислота, СТР – стрептомицин, АРН – азитромицин, АКЦ – амоксициллин, ТЕТ – тетрациклин) изолятов из почв различного хозяйственного использования

Таблица 2

Средний диаметр зон ингибирования роста стрептомицетов различными антибиотиками и доля устойчивых к ним штаммов в почвах разного хозяйственного использования

Параметр	ПОЛ	ЛИН	ЦРО	КАН	ТС	НК	СТР	АРН	АКЦ	ТЕТ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пашня										
Диаметр зоны, мм	10,8	14,7	6,1	19,7	33,7	19,9	30,4	14,8	5,0	29,6
Доля устойчивых штаммов, %	0	30,8	38,5	0	7,7	15,4	0	30,8	46,2	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пастбище КРС										
Диаметр зоны, мм	14,9	21,9	14,4	34,5	21,9	3,9	42,4	41,4	13,8	15,4
Доля устойчивых штаммов, %	0	9,1	27,3	0	18,2	81,8	0	0	27,3	0
Селитебный участок										
Диаметр зоны, мм	11,1	20,8	9,4	29,7	25,9	4,8	36,5	26,1	14,0	16,6
Доля устойчивых штаммов, %	0	15,4	30,8	0	23,1	69,2	0	0	23,1	0

Пастбищные изоляты и изоляты из почвы селитебного участка, отличались повышенной резистентностью к НК. Штаммы из всех почвенных образцов проявили чувствительность к ТС, КАН, СТР, ПОЛ и ТЕТ (рис. 2).

Таким образом, актиномицеты, являясь продуцентами антибиотиков, в свою очередь, имеют высокую устойчивость к антибиотикам из разных классов. Это может быть фактором риска распространения генов резистентности, которые могут передаваться в почвах патогенным и условно патогенным микроорганизмам.

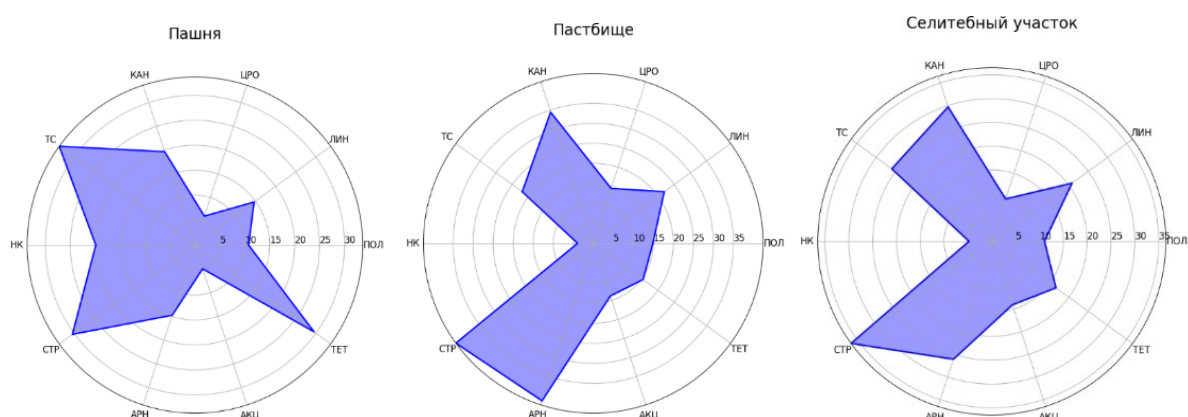


Рис. 2. Спектры устойчивости к антибиотикам природных изолятов стрептомицетов из почв различного хозяйственного использования

Проведенное исследование продемонстрировало влияние способа хозяйственного использования почвы на изменение чувствительности/резистентности актиномицетов к антибиотикам из разных классов и с разными механизмами действия. Так, культуры, выделенные из почв пашни и пастбища КРС, проявили устойчивость к цефтриаксону и амоксицилину. Низкая чувствительность микроорганизмов к некоторым тест-антибиотикам может указывать на формирование потенциальной проблемы с их практическим использованием.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии 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. Lewis K. Platforms for antibiotic discovery. DOI: 10.1038/nrd3975 // Nature Reviews Drug Discovery. 2013. Vol. 12. P. 371–387.
2. Fajardo A., Martínez J. L. Antibiotics as signals that trigger specific bacterial responses. DOI: 10.1016/j.mib.2008.02.006 // Current Opinion in Microbiology. 2008. Vol. 11. P. 161–167.
3. Булгакова В. Г., Орлова Т. И., Полин А. Н. Устойчивость актиномицетов-продуцентов к собственным антибиотикам // Антибиотики и химиотерапия. 2010. Т. 55. № 1–2. С. 42–49.
4. Heuer H., Smalla K. Manure and sulfadiazine synergistically increased bacterial antibiotic resistance in soil over at least two months. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2006.01185.x // Environmental Microbiology. 2007. Vol. 9. P. 657–666.
5. Impacts of anthropogenic activity on the ecology of class 1 integrons and integron-associated genes in the environment / W. H. Gaze., L. Zhang, N. A. Abdousslam, et al. DOI: 10.1038/ismej.2011.15 // The ISME Journal. 2011. Vol. 5. P. 1253–1261.

СПЕЦИФИКА ЭПИФИТНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ И ЭКЗОМЕТАБОЛИТОВ ТРЕХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА КИПАРИСОВЫЕ

***Л. И. Домрачева^{1,2}, А. И. Фокина³, А. Р. Киреева³, С. С. Козачок³,
А. И. Коротких¹, А. Л. Ковина¹, Л. В. Трефилова¹***

*¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, nm-flora@rambler.ru*

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия,

³ Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

Определена численность двух групп микроорганизмов (бактерий-аммонификаторов и микромицетов) на листьях трех видов растений семейства Cupressaceae – можжевельник обыкновенный, микробиота перекрёстнопарная и можжевельник казацкий. Установлено, что максимальная численность эпифитных микроорганизмов существенно различается у данных растений с максимальным показателем ($30,3 \cdot 10^3$ КОЕ/г) у микробиоты. При этом доминирующей группировкой являются бактерии-аммонификаторы, численность которых может достигать до 90% в структуре популяции.

Ключевые слова: эпифитные микроорганизмы, бактерии-аммонификаторы, микромицеты, растения-интродуценты.

Можжевельник обыкновенный является представителем местной флоры. Микробиота перекрёстнопарная и можжевельник казацкий не относятся к аборигенным растениям, но неплохо чувствуют себя при интродукции в условиях Кировской области.

Можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis*) имеет широкий ареал обитания и считается неприхотливым растением, довольно часто встречается в подлеске еловых и сосновых лесов.

Микробиота перекрёстнопарная (*Microbiota decussata*) произрастает на хребтах Сихотэ-Алиня на Дальнем Востоке России. В диком виде встречается все меньше, занесена в Красную книгу России. Тем не менее благодаря невероятной морозостойкости выращивается все чаще на частных территориях садоводов-любителей, из-за того, что очень эффектное и крайне неприхотливое.

Можжевельник казацкий (*Juniperus sabina*) также достаточно неприхотлив имея широкий ареал обитания: южная и центральная Европа, Малая Азия, Турция, Россия (Урал, Сибирь, Приморье), Юго-Восточная Азия. Растёт в лесах или рощах в степной зоне, на скалистых горных склонах и песчаных дюнах.

На листьях (хвое) этих растений, как и всех других хвойных и лиственных пород постоянно живут различные группы микроорганизмов, которые получили название эпифитная микробиота. В настоящее время комплекс растение и его микробный компонент рассматриваются в целом как единый функционирующий организм, в котором каждый партнер выполняет определенные функции [1–3]. В частности, эпифитные микробы представляют первый защитный барьер от проникновения в растение фитопатогенов.

Наиболее подробно изучена эпифитная микробиота сельскохозяйственных культур, в первую очередь, из-за того, что ее численность и групповой состав имеют практическое значение при закладке урожая на хранение [4]. Сведений об эпифитных микроорганизмах хвойных пород сравнительно мало [5–7].

Цель работы – определить численность и групповой состав трех видов хвойных растений можжевельника обыкновенного, микробиоты перекрёстнопарной, можжевельника казацкого с одновременным определением ряда биохимических показателей.

Для исследования в январе 2025 г. в стерильные пакеты были отобраны образцы листьев трех растений семейства Cupressaceae – можжевельник обыкновенный, микробиота перекрёстнопарная и можжевельник казацкий.

Количественный учет микроорганизмов проводили методом предельных разведений с последующим посевом на среду ГРМ-агар для аммонификаторов и Чапека – для микромицетов. Кроме того, в листьях растений определяли концентрацию хлорофилла а, б [8] и полифенолов (стандарт – галловая кислота) [9] методом спектрофотометрии. Для определения суммы антиоксидантов применяли метод инверсионной вольтамперометрии, где в качестве окислителя использовали пероксид водорода (стандарт – галловая кислота).

Аскорбиновая кислота определена методом кулонометрического титрования [10].

Определение численности эпифитных микроорганизмов на листьях хвойных пород показало существенное различие (в 2 раза) между микробиотой перекрёстнопарной и обоими видами можжевельника. Такая же тенденция прослеживается в количественной характеристике микромицетов – преобладание более чем в 2 раза этой группы микробов у микробиоты по сравнению с можжевельниками. Естественно, что общая численность прокариотных и эукариотных микроорганизмов у микробиоты рекордная по сравнению с обоими видами можжевельника (табл. 1).

Таблица 1

**Численность эпифитной микробиоты на листьях
различных хвойных растений (КОЕ/г)**

Вариант	Бактерии	Микромицеты	Общее
Можжевельник обыкновенный	8700±1100	4500±1300	13200±2400
Микробиота перекрёстнопарная	17300±7900	13000±3600	30300±11500
Можжевельник казацкий	6800±1600	600±300	7400±1900

В то же время не только показатели численности микробов у можжевельника, а и микробиоты очень незначительны от 7400 до 30300 (КОЕ/г), в то время как максимальные показатели численности эпифитной микробиоты листьев могут достигать нескольких миллионов КОЕ/г.

Возможные причины маленькой численности эпифитных микробов в данном опыте следующие – это зимний период отбора проб; гладкая, покрытая восковым налетом поверхность листьев, за которую трудно зацепиться микробам, и обильное выделение фитонцидов различной химической природы, что особенно сильно проявилось для аборигенного и интродуцированного можжевельников и в меньшей степени для микробиоты.

Анализ структуры микробных комплексов показывает, что более благоприятные условия на листьях всех изучаемых хвойных создаются для бактерий, численность которых в структуре микробных популяций колеблется от 57,6 (микробиота перекрёстнопарная) до 91,2 (можжевельник казацкий) (табл. 2).

Таблица 2

**Структура эпифитной микробиоты на листьях
различных хвойных растений (%)**

Вариант	Бактерии	Микромицеты
Можжевельник обыкновенный	65,6	34,4
Микробиота перекрёстнопарная	57,6	42,4
Можжевельник казацкий	91,2	8,8

В то время как выявлена довольно значительная разница численности эпифитных микроорганизмов у исследованных хвойных, при определении ряда биохимических показателей такой разницы не отмечается.

Достаточно сложно по результатам биохимического анализа судить о влиянии содержания веществ на количество эпифитной микрофлоры (табл. 3). Отсутствуют корреляционные зависимости между количеством микроорганизмов и содержанием каких-либо веществ. Однако следует отметить, что в целом при самом низком суммарном содержании веществ наблюдается наибольший вклад бактерий (можжевельник казацкий) ($r = -0,8$), соответственно наименьший микромицетов ($r = 0,7$). При этом отмечается увеличение вклада полифенолов в общее количество определяемых веществ (коэффициент корреляции между долей полифенолов в сумме веществ и вкладом бактерий в структуре эпифитной микробиоты равен 0,9).

Таблица 3

**Содержание некоторых веществ в образцах листьев хвойных растений
(мг/г в пересчете на сухое вещество)**

Вариант	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Карати- ноиды	Поли- фенолы	Сумма анти- оксидантов
Можжевельник обыкновенный	1,7	0,7	0,8	38,8	248
Микробиота перекрёстнопарная	0,9	0,6	0,4	45,7	171
Можжевельник казацкий	0,9	0,4	0,5	45,5	116

Примечание: ошибка определения хлорофилла *a* и *b* не превышает 5%, полифенолов – 25%, антиоксидантов – 4%.

Таким образом, даже зимой на листьях изученных хвойных растений обитает определенное количество микроорганизмов, численность которых колеблется от 7,4 до $30,3 \cdot 10^3$ КОЕ/г, при этом среди исследованных растений максимальное обилие эпифитных микробов характерно для интродуцируемой микробиоты. Установлено, что доминантами микробных группировок во всех трех случаях являются бактерии с пониженным процентным содержанием численности микромицетов. Высокая корреляционная зависимость между численностью эпифитных микробов и определяемыми биохимическими показателями в данном опыте не установлена.

Тесных корреляционных зависимостей между количеством микроорганизмов и веществ не установлено, однако, наблюдается увеличение вклада бактерий по сравнению с микромицетами с увеличением вклада полифенолов в сумму веществ.

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

Библиографический список

1. Специфика растительно-микробных комплексов при антропогенном загрязнении почвы (обзор) / Л. И. Домрачева, С. Г. Скугорева, А. Л. Ковина и др.

DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-014-025 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 14–25.

2. Communication in the phytobiome / J. E. Leach, L. R. Triplett, C. T. Argueso, P. Trivedi. DOI: 10.1016/j.cell.2017.04.025 // Cell. 2017. Vol. 169. No. 4. P. 587–596.

3. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants / D. Bulgarelli, K. Schlaeppli, S. Spaepen, et al. // Annu. Rev. Plant Biol. 2013. Vol. 64. P. 807–838.

4. Возняковская Ю. М. Микрофлора растений и урожай. Л. : Колос, 1966. 240 с.

5. Галиева Г. Ш., Галицкая П. Ю., Селивановская С. Ю. Растительный микробиом: происхождение, состав и функции // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2023. Т. 165. № 2. С. 231–262.

6. A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application / S. Compant, A. Samad, H. Faist, A. Sessitsch. DOI: 10.1016/j.jare.2019.03.004 // J. Adv. Res. 2019. Vol. 19. P. 29–37.

7. Шлык А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М. : Наука, 1971. С. 154–171.

8. Определение показателей окислительного стресса в мелisse лекарственной при действии микромицета *Fusarium culmorum* и его антагонистов / А. И. Фокина, С. Г. Скугорева, Л. В. Трефилова, Л. В. Даровских. DOI: 10.25750/1995--4301-2022-2-077-083 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 77–83.

9. Фокина А. И., Фоминых Е. Г., Южанин К. И. Электрохимические методы определения аскорбиновой кислоты в биологически активных добавках. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-034-040 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 34–40.

10. Дымова О. В., Головкин Т. К. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таёжной зоны европейского северо-востока России // Физиология растений. 2019. Т. 66. № 3. С. 198–206.

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОБНОГО ПУЛА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ В ХОДЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

**Т. В. Кузнецова, А. А. Утомбаева, А. М. Петров,
Э. Р. Зайнулгабидинов, А. А. Вершинин, Л. К. Каримуллин,
И. В. Князев**

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

В условиях модельных рекультивационных экспериментов изучено влияние термомеханически обезвоженного осадка городских сточных вод (ТоОСВ) на микробный пул чистой и загрязненной нефтью серой лесной среднесуглинистой почвы. Показано, что при внесении 6% ТоОСВ в чистую и содержащую до 15,9 г/кг нефтепродуктов почву происходит обогащение микробного сообщества, количество микроорганизмов отдельных групп микроорганизмов многократно увеличивается. После полуторамесячных восстановительных работ различия в составе микробных комплексов почв, прошедших техническую и биологическую рекультивацию нивелируются, при этом деструкционная активность нефтезагрязненных почвенных образцов с ТоОСВ на 20% выше.

Ключевые слова: нефтепродукты, осадки сточных вод, серая лесная почва, микроорганизмы.

Поступление нефти и нефтепродуктов в почву нарушает гомеостаз почвенного микробоценоза, приводит к его деградации, что требует проведения мероприятий, направленных на снижение содержания поллютанта, восстановление микробиологического разнообразия, свойств и активности рекультивируемых почв.

Скорость и эффективность регенерации загрязненных нефтью почв, восстановление их свойств, в первую очередь, определяются функциональной активностью почвенного микробного сообщества [1–4], что требует проведения мероприятий, направленных на интенсификацию метаболизма присутствующих в почве поллютантов. Повышение активности, устойчивости микробного сообщества пула почвы достигается за счет внесения органоминеральных и минеральных удобрений, сорбентов и структурирующих материалов, обогащения почвы специально селекционированной активной микрофлорой, иных приемов [5–11], что в большинстве случаев значительно удорожает проведение рекультивационных мероприятий.

Ранее нами было показано, что осадок сточных вод г. Казани после термомеханической обработки (далее ТоОСВ) содержит достаточно широкий спектр характерных для почв микроорганизмов, органические и биогенные вещества в близком к оптимальному для микроорганизмов и растений соотношении [12–13]. Учитывая вышесказанное, представляло интерес оценить, как внесение ТоОСВ при биологической рекультивации загрязненной разными дозами нефти серой лесной почвы повлияет на состав и окислительную активность микробного пула.

Цель исследований – в лабораторных модельных экспериментах по технической и биологической рекультивации изучить влияние ТоОСВ на состав микробоценозов чистой и загрязненной разными дозами сернистой нефти серой лесной почвы, оценить деструкционную активность почв.

В экспериментах использовали серую лесную среднесуглинистую почву Республики Татарстан (горизонт А1) и термомеханически обработанный осадок сточных вод с очистных сооружений г. Казани (ТоОСВ) в виде гранулированного продукта с влажностью 6,3%, содержащего органическое вещество – $60 \pm 3\%$; $N_{\text{общ.}} - 3,0 \pm 0,3\%$; $P_{\text{общ.}} - 1,5 \pm 0,1\%$, класс опасности IV.

Почвенные образцы, в которые были внесены разные дозы парафинистой, сернистой нефти, были предварительно выдержаны в течение 30 сут. при еженедельном перемешивании и увлажнении.

После предварительной инкубации каждый опытный образец был поделен на две части, одна из которых оставалась в исходном виде (опыт А – техническая рекультивация), а во вторую часть добавляли 6% ТоОСВ (опыт С – биологическая рекультивация).

Определенное перед экспериментами содержание нефтепродуктов (НП) в загрязненных образцах составляло: В1 – $1,9 \pm 0,2$ г/кг; вариант В2 –

4,4±0,5 г/кг; вариант В3 – 10,8±0,8 г/кг; вариант В4 – 15,9±1,5 г/кг [14]. В опыте А контролем (К) служила чистая почва, в опыте С чистая почва с ТоОСВ.

Полученные почвенные образцы выдерживались в течение полутора месяцев при температуре 19–25 °С, влажности 20–25% и еженедельном перемешивании. Количество повторностей в каждом варианте – 3.

В начале эксперимента и после полуторамесячной выдержки во всех почвенных образцах определяли численность гетеротрофных (ОМЧ), углеродородокисляющих (УОМ), целлюлозолитических (ЦЛ) микроорганизмов, нитрификаторов (НФ), актиномицетов, микромицетов и бактерий, усваивающих минеральный азот (БУМА) [15]. Численность исследуемых групп выражали в КОЕ/г абсолютно-сухой массы почвы.

Проведенное сравнение состава микробных сообществ чистой почвы (опыт А) с почвой, содержащей ТоОСВ (опыт С) показало, что внесение гранулированного продукта привело к увеличению численности всех исследуемых групп микроорганизмов. Наиболее значительно увеличилось общее количество гетеротрофных и целлюлозолитических микроорганизмов, актиномицетов и микромицетов (табл. 1). Следует отметить, что в нефтезагрязненных образцах с ТоОСВ относительное количество УОМ было в 2,0–3,2 раза выше, чем в контрольных, а ОМЧ в 11–25 раз ниже.

Таблица 1

Изменение численности микроорганизмов в почве после внесения ТоОСВ (кратность отклонения относительно проб без ТоОСВ, раз)

Группы микроорганизмов	Варианты				
	К	В1	В2	В3	В4
ОМЧ	58,1	5,2	3,7	2,7	2,3
УОМ	1,5	4,8	3,3	3,9	3,0
Актиномицеты	63,0	25,0	62,0	11,0	1,0
Микромицеты	53,9	34,7	70,1	24,4	0,02
БУМА	1,2	2,2	3,3	0,9	2,0
ЦЛ	77,3	690,0	110,0	50,0	1,0
НФ	4,4	1,0	31,0	1,0	7,0

После полуторамесячной рекультивации практически во всех вариантах опыта С количество представителей групп исследуемых микроорганизмов было выше, чем почвенных образцах опыта А или было на уровне опыта с почвой без гранулированного продукта (актиномицеты в вариантах В1 и В4, ЦЛ в варианте В1, НФ в вариантах В1–В3). В незагрязненной нефтью почве с ТоОСВ и без него различия в численности актиномицетов, микромицетов, БУМА, ЦЛ, суммарном содержании гетеротрофов нивелировались, количество представителей УОМ и БУМА в образцах с гранулированным продуктом увеличилось (табл. 2). В целом, при продолжительной рекультивации в опытах А и С наблюдалось снижение различий в численности групп микроорганизмов, что указывает на постепенную стабилизацию микробного пула почвы с ТоОСВ, приближению его состава к почве, не содержащей гранулирован-

ный продукт. Несомненно, положительным фактором от использования ТоОСВ является более высокая численность нитрификаторов в варианте В1, целлюлозолитических микроорганизмов в почвенных образцах с высоким содержанием нефтепродуктов (В3 и В4), что указывает на повышение их устойчивости к поллютантам в присутствии ТоОСВ.

Таблица 2

Относительная численность микроорганизмов в чистых и загрязненных нефтью почвенных образцах после полуторамесячной биологической и технической рекультивации (отношение опытов С/А, раз)

Группы микроорганизмов	Варианты				
	К	В1	В2	В3	В4
ОМЧ	18,8	5,8	6,7	7,2	2,2
УОМ	6,2	1,5	3,5	3,5	1,9
Актиномицеты	1,8	1,0	38,0	12,0	1,0
Микромицеты	5,8	21,6	13,3	14,4	4,7
БУМА	2,6	1,6	1,9	1,9	1,2
ЦЛ	3,5	0,8	8,3	180,0	270,0
НФ	43,3	138,9	1,0	1,0	1,0

Анализ содержания нефтепродуктов показал, что в конце эксперимента содержание нефтепродуктов в почвенных образцах с ТоОСВ было на 20 и более процентов ниже, чем в нефтезагрязненных образцах без гранулированного продукта.

Результаты исследований показали, что:

- внесение 6% термомеханически обработанного осадка городских сточных вод в чистую и содержащую до 15,9 г/кг нефтепродуктов серую лесную среднесуглинистую почву приводит к значительному увеличению численности почвенных микроорганизмов, повышает их устойчивость к нефтепродуктам;

- концентрации нефтепродуктов в почве 4,4–15,9 г/кг ингибируют развитие нитрифицирующих микроорганизмов;

- деструктивная активность микроорганизмов в нефтезагрязненной почве в присутствии ТоОСВ увеличивается на 20 и более процентов;

- при продолжительном культивировании различия в численности почвенных микроорганизмов в нефтезагрязненной почве с ТоОСВ и без него нивелируются, что указывает на постепенную стабилизацию микробного пула почвы содержащей гранулированный продукт.

Библиографический список

1. Biogeochemical characteristics of soils in the dzunbayan oil-producing area (Eastern Mongolia) / G. Sambuu, L. A. Garetova, E. L. Imranova, et al. DOI: 10.13187/bgt.2019.1.46 // Biogeosystem technique. 2019. Vol. 6. No. 1. P. 46–58.
2. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв / Т. Г. Добровольская, Д. Г. Звягинцев, И. Ю. Чернов и др. // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1087–1096.
3. 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.

4. Кузнецова Т. В., Петров А. М., Хабибуллин Р. Э. Динамика микробного пула дерново-подзолистых почв при разных начальных уровнях нефтяного загрязнения // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 17. С. 116–120.

5. Рекультивация загрязненных почв с помощью сорбционной биоремедиации / Г. К. Васильева, Е. Р. Стрижакова, А. Е. Филонов, В. А. Мязин // Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине : труды XII Междунар. биогеохимической школы, посвященной 175-летию со дня рождения В. В. Докучаева. Тула : Изд-во ТГПУ имени Л. Н. Толстого, 2021. С. 239–243.

6. Гилязов М. Ю., Гайсин И. А. Агроэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязненных черноземов Республики Татарстан. Казань : Изд-во «Фэн», 2003. 228 с.

7. Эколого-токсикологическая оценка процесса биоремедиации нефтезагрязненной почвы / И. А. Дегтярева, Т. Ю. Мотина, Э. В. Бабынин и др. DOI: 10.25750/1995--4301-2020-3-196-202 // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 196–202.

8. Денежкина А. А. Теоретико-методическое обоснование выбора способа биоремедиации нефтезагрязненных почв. DOI: 10.37882/2223–2966.2022.06–2.09 // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки. 2022. № 6–2. С. 9–13.

9. Ковальская М. В., Тарасова И. А. Современные методы биотехнологического восстановления нефтезагрязненных земель // Электронные средства и системы управления : материалы докладов междунар. науч.-практ. конф. Томск, 2007. № 2. С. 305–308.

10. Созина И. Д., Данилов А. С. Микробиологическая ремедиация нефтезагрязненных почв. DOI: 10.31897/PMI.2023.8 // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 297–312.

11. Хайретдинова В. Р., Нафикова Э. В., Александров Д. В. Совершенствование методов рекультивации нефтезагрязненных почв с применением биоугля и микоризы // Экологический вестник Северного Кавказа. 2024. Т. 20. № 2. С. 69–72.

12. 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. № 3 (63). С. 113–126.

13. 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.

14. 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., 2005. 13 с.

15. Практикум по микробиологии / под ред. проф. Н. С. Егорова М. : Изд-во Московского университета, 1976. 307 с.

РИЗОСФЕРНАЯ МИКРОБИОТА ГОРОДСКИХ ОРХИДЕЙ

К. Е. Гусарова¹, А. И. Коротких¹, Л. И. Домрачева^{1,2}

¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, nm-flora@rambler.ru

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

Впервые определена численность трех групп ризосферных микроорганизмов (аммонификаторов, азотфиксаторов и микромицетов) у двух видов растений семейства орхидных: дремлика болотного (*Epipactis palustris*) и пальчатокоренника (*Dactylorhiza*), произрастающих на техногенной территории, вблизи Биохимического завода г. Кирова. Установлено, что наибольшее количественное значение ризосферной микробиоты оказалось у дремлика болотного ($396 \cdot 10^3$ КОЕ/г). Преобладающей группой микроорганизмов для обоих видов растений являются аммонификаторы. Минимальное процентное соотношение по группировкам микроорганизмов оказалось у микромицетов.

Ключевые слова: ризосферная микробиота, аммонификаторы, семейство *Orchidaceae*, микориза орхидных.

Семейство *Orchidaceae* считается одним из вершин эволюции однодольных растений. Оно характеризуется большим числом признаков высокой специализации, из которых наиболее известными являются уникальные видоизменения генеративных структур цветка (наличие колонки, поллиниев, прилипалец), существование глубоких симбиотических взаимоотношений с почвенными грибами и сложных приспособлений к перекрестному опылению насекомыми, своеобразные пылевидные семена, адаптации к эпифитному образу жизни. Тем не менее орхидные являются древней группой, возраст которой оценивается приблизительно в 80 млн. лет [1, 2].

Флора России насчитывает около 138 видов, подвидов, разновидностей и природных гибридов орхидей с наиболее крупными центрами разнообразия в Приморском крае и на Кавказе. Почти все орхидеи нашей флоры являются редкими видами и большая часть внесена в Красную книгу Российской Федерации [3]. В Красную Книгу Кировской области занесено 20 видов Орхидных. Основными местами их обитания являются еловые, елово-пихтовые и сосново-еловые леса на известняках, заболоченные осиново-еловые леса на торфянистых почвах, сфагновые болота речных террас рек Кама, Кобра, Вятка, а также вторичные послелесные луга [4].

В то же время два вида орхидей были обнаружены на городской территории – дремлик болотный (*Epipactis palustris*) и пальчатокоренник (*Dactylorhiza*).

Дремлик болотный имеет вид травянистых кустов размером 30–65 см. У растения длинное корневище с небольшими отростками главного корня. Сверху стебель немного опущен, как будто от тяжести распустившихся цве-

тов. Листья располагаются поочерёдно, имеют продолговатую овальную форму с заострённым концом.

Высота пальчатокоренника 40–50 см, листья широкие и продолговатые, с заострённой верхушкой, нижние крупнее верхних, по форме напоминают листья тюльпанов. Окраска их зелёная или фиолетовая, с тёмными пятнами на поверхности. Цветки собраны в густые многоцветковые колосовидные соцветия. Окраска их розовая, лиловая, пурпурная. На губе цветков обычно имеются точки, полосы, штрихи [5, 6].

Впервые оба вида растений были замечены в промышленной зоне вблизи Биохимического завода г. Киров при отборе проб воздуха, результат анализов, которого показал превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) сероводорода, формальдегида, фенола и других веществ. Также место произрастания дремлика болотного и пальчатокоренника находится в зоне золоотвала ТЭЦ-4, куда сливается котловая вода с золой. Многолетние наблюдения за этими видами растений показали невероятную выживаемость и распространенность видов на данной территории, несмотря на их принадлежность к третьей категории редкости в Красной Книге Кировской области.

Способность к выживанию в неблагоприятных условиях среды данных видов орхидей во многом зависит от тех микроорганизмов, которые постоянно встречаются в почве и непосредственно поселились в зоне корней – ризосфере. В связи с этим нами были проведены исследования, направленные на изучение ризосферной микробиоты дремлика болотного (*Epipáctis palústris*) и пальчатокоренника (*Dactylorhíza*).

Цель данной работы – определить численность трех групп ризосферных микроорганизмов и сравнить их количественное обилие в ризосфере двух видов орхидей.

Для изучения ризосферной микробиоты отбирали монолиты почвы с двумя видами растений – дремликом болотным и пальчатокореником. В лабораторных условиях аккуратно отделяли прилегающую к корням почву для дальнейшего определения ризосферных групп микроорганизмов методом предельных разведений с последующим посевом на селективные питательные среды ГРМ агар – для аммонификаторов, Эшби – для азотфиксаторов, Чапека – для микромицетов. Посев на каждую питательную среду проведен в 3-х кратной повторности.

Результаты количественного учета показали присутствие всех трех групп микроорганизмов в ризосфере обоих видов орхидей. При чем по общей численности микроорганизмов лидирует дремлик болотный ($396 \cdot 10^3$ КОЕ/г) (табл.).

Преобладающей группой микроорганизмов для обоих видов растений являются аммонификаторы, играющие роль в процессе разложения органических азотсодержащих веществ.

Таблица

Численность ризосферной микробиоты орхидей ($\times 10^3$ КОЕ/г)

№	Растение	Аммонификаторы	Азотфиксаторы	Микромицеты	Общая численность
1	Пальчатокоренник	120 $\pm$ 3	103 $\pm$ 15	63 $\pm$ 15	286 $\pm$ 33
2	Дремлик болотный	232 $\pm$ 47	97 $\pm$ 11	67 $\pm$ 11	396 $\pm$ 69

Несмотря на наименьшую долю микромицетов в структурной популяции (рис.), литературные данные свидетельствуют о том, что выживаемость орхидей связана с образованием симбиоза (экто- и эндомикоризы), поэтому вклад в прорастание, стимулирование роста и развития орхидей принадлежит микоризным грибами [7, 8].

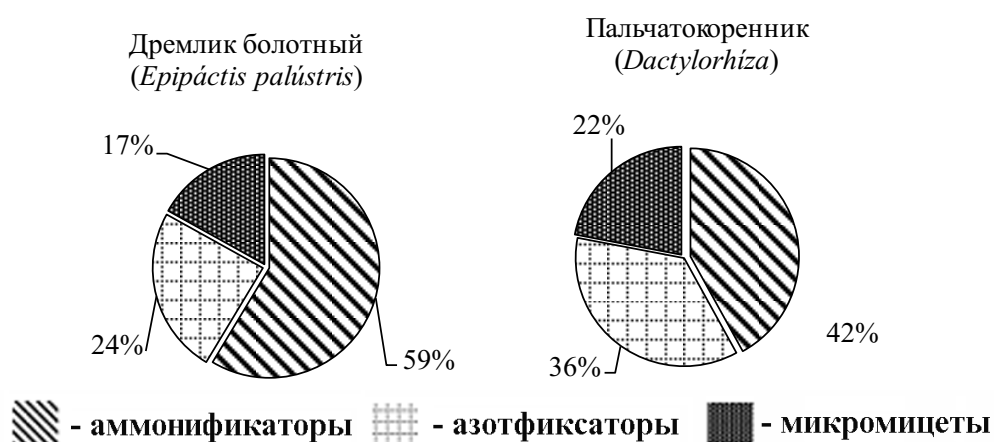


Рис. Структура популяций ризосферной микробиоты орхидей (%)

Таким образом, впервые в условиях загрязнённой городской среды на примере двух видов орхидей, которые не только выживают, но и увеличивают площадь своего заселения, была определена численность основных групп ризосферных микроорганизмов с доминированием в этих ассоциациях бактериального компонента.

Данное исследование показало, что малоплодородные техногенные субстраты не являются препятствием для роста растений семейства орхидных. Более того, такие местообитания могут стать временными убежищами для исчезающих и находящихся под угрозой исчезновения видов, где основную роль защиты и поддержания жизнеобеспечения могут сыграть ризосферные микроорганизмы.

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

Библиографический список

1. Аверьянов Л. В. Орхидные (*Orchidaceae*) средней России // Turczaninowia. 2000. № 3 (1). С. 30–53.

2. Goswami P., Bhattacharjee S., Bhattacharjee S. Global research contributions on orchids: A scientometric review of 20 years // J. Appl. Biol. Biotech. 2024. Vol. 12. No. 3. P. 268–275.
3. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации и др.; ответственный ред. д-р биол. наук Д. В. Гельтман. 2-е офиц. изд. М. : ВНИИ Экология, 2024. 944 с.
4. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы / под ред. О. Г. Барановой, Е. П. Лачохи, В. М. Рябова и др. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.
5. Яковлева Е. Д., Шептуховский М. В. Экологические особенности популяции Дремлика болотного в окрестностях г.о. Шуя // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3–4. С. 21.
6. Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Пальчатокоренник пятнистый *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó (*Orchidaceae*) в Республике Коми: структура ценопопуляций и репродуктивная биология // Известия Коми научного центра УРО РАН. 2017. № 3 (31). С. 5–14.
7. Теллицкая Л. М., Лысякова Н. Ю., Бирюлева Э. Г. Особенности микотрофности некоторых видов орхидей флоры Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2003. Т. 16 (55). № 1. С. 79–86.
8. Dearnaley J. D. W., Martos F., Selosse M. A. Orchid mycorrhizas: molecular ecology, physiology, evolution and conservation aspects. DOI: 10.1007/978-3-642-30826-0_12 // Fungal associations. The Mycota. Vol. 9. / Ed. B. Hock. Berlin, Heidelberg : Springer, 2012. P. 207–230.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОЙ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН НА ПИГМЕНТНЫЙ ФОНД ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

П. А. Стариков¹, С. Ю. Огородникова², Л. И. Домрачева^{1,3}, Е. Л. Трухина¹

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

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

³ Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия

Под действием предпосевной инокуляции семян пшеницы различными группами микроорганизмов вариabельность содержания пигментов фотосинтеза и сухого вещества в листьях растений в вариантах опыта оказалась незначительной.

Ключевые слова: инокуляция, *Trichoderma*, *Fischerella*, *Fusarium*, пигменты.

Микробная инокуляция семян способна оказывать влияние на фонд фотосинтетических пигментов у возделываемых культур, в частности, при возделывании *Trifolium ranponicum* Jacq. [1]. Основные задачи предпосевной инокуляции заключаются как в увеличении продуктивности растений, так и в обеспечении безопасности и сохранности экологического равновесия исходного микробиоценоза [2]. В последние годы в качестве микро-

бов-интродуцентов используют цианобактерии и грибы рода *Trichoderma*, а также их бинарные смеси [3, 4].

Цель исследований – оценить характер влияния предпосевной инокуляции семян яровой пшеницы на образование фотосинтетических пигментов в листьях.

Микроделяночные опыты с яровой пшеницей (*Triticum aestivum* L.) закладывали на полях Федерального аграрного научного центра имени Н. В. Рудницкого совместно с сотрудниками лаборатории иммунитета и защиты растений Шешеговой Т. К. и Щеклеиной Л. М.

В исследованиях использовали микроорганизмы: *Trichoderma atroviride* К-01П и *Fischerella muscicola* (Thur.) Gom штамм 300, характеризующиеся высокими антифунгальными свойствами. Они изолированы из почв Кировской области и хранятся на кафедре агробиотехнологии, ландшафтной архитектуры и пищевых производств Вятского ГАТУ. В качестве фитопатогена использовали штамм Р-3/16 *Fusarium culmorum* из коллекции лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Объектом исследований являлся востребованный в производстве сорт яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Баженка селекции ФАНЦ Северо-Востока. Повторность четырёхкратная, расположение делянок рандомизированное, площадь делянок – 1 м², норма высева – 20 г/м². Посев проводили вручную 6 мая 2022 г. в соответствии со схемой опыта: 1 – контроль (без обработки семян), 2 – *T. atroviride*, 3 – *F. muscicola*, 4 – *F. culmorum*, 5 – *T. atroviride* + *F. muscicola*, 6 – *T. atroviride* + *F. culmorum*, 7 – *F. muscicola* + *F. culmorum*, 8 – *T. atroviride* + *F. muscicola* + *F. culmorum*, 9 – эталон (обработка семян химическим фунгицидом «Максим», КС (концентрат суспензии), действующее вещество флудиоксонил).

Предпосевная инокуляция состояла в 30-минутном инкубировании семян в суспензиях микроорганизмов: *T. atroviride* (титр $7,15 \pm 0,96 \cdot 10^7$ кон./мл), *F. muscicola* (титр $1,15 \pm 0,18 \cdot 10^7$ кл./мл), *F. culmorum* (титр $8,90 \pm 0,34 \cdot 10^5$ макрокон./мл). Культуры микромицетов выращивали на картофельно-глюкозном агаре в течение 7 суток, *F. muscicola* – на жидкой среде Громова № 6 без азота в течение 2-х месяцев. В варианте № 5 семена инкубировали в смеси *T. atroviride* + *F. muscicola* в объёмном соотношении 1:1; в вариантах № 6, 7, 8 – выдерживали в суспензиях антагонистов, после чего подсушивали на воздухе, затем помещали в суспензию *F. culmorum*, имитируя заражение инфекцией. Инокулом *T. atroviride* и *F. culmorum* готовили путем смыва конидий стерильной водой с поверхности плотной питательной среды. Перед микробной обработкой семян культуру *F. muscicola* гомогенизировали на малом гомогенизаторе MPW-302 (Польша) в течение 3-х мин, режим скорости – 9000 об./мин.

Оценку состояния пигментного комплекса флаговых листьев пшеницы осуществляли в фазу цветения – начала молочной спелости растений (дата сбора образцов – 15 июля, 2022 г.). С каждой повторности отбирали по 10 флаговых листьев, в лабораторных условиях в трёхкратной повторности

из каждого образца делали высечки из средней части листьев. Пробы массой 0,15 г подвергались экстрагированию в кипящем ацетоне. Оценка количественного содержания пигментных соединений, включая каротиноиды и хлорофиллы *a* и *b*, проводили посредством фотометрии. С помощью спектрофотометра ПЭ-5300 ВИ (Экротех, Россия) устанавливали концентрацию пигментов фотосинтеза при длинах волн 470 нм (каротиноиды), 662 нм (хлорофилл *a*) и 644 нм (хлорофилл *b*) [5, 6]. Вычисление относительного содержания хлорофиллов в светособирающем комплексе проводили согласно формуле [7]:

$$D_{ХЛ} = (Хл\ b + 1,2\ Хл\ b) / (Хл\ a + Хл\ b)$$

где $D_{ХЛ}$ – доля хлорофилла в ССК; $Хл\ a$ – содержание хлорофилла *a*, мг/г сухой массы; $Хл\ b$ – содержание хлорофилла *b*, мг/г сухой массы.

При расчётах исходили из того, что весь хлорофилл *b* локализован в светособирающем комплексе фотосистемы II, а соотношение хлорофилл *a* / хлорофилл *b* составляет приблизительно 1,2.

Статистическая обработка проведена с использованием пакета программы Microsoft Office Excel.

Согласно результатам исследования, вариабельность содержания пигментов фотосинтеза и сухого вещества в вариантах опыта оказалась незначительной (табл.).

Таблица

Содержание фотосинтетических пигментов и сухого вещества во флаговом листе пшеницы в фазу начала молочной спелости (июль, 2022 г.)

№	Вариант	Содержание пигментов, мг/г сухой массы			Доля хло-рофилла в ССК, %	Содержание сухого вещества, %
		хлорофиллы		каротино-иды		
		<i>a</i>	<i>b</i>			
1	Контроль	8,13±0,17	3,49±0,16	2,44±0,05	66,08	37,82±0,19
2	<i>T. atroviride</i>	8,20±0,07	3,47±0,11	2,47±0,01	65,42	36,48±0,45
3	<i>F. muscicola</i>	9,02*±0,24; +10,9%	3,61±0,15	2,73*±0,00; +11,9%	62,88	35,04±3,75
4	<i>F. culmorum</i>	8,06±0,09	3,34±0,09	2,46±0,03	64,46	38,19±0,06
5	<i>T. atroviride</i> + <i>F. muscicola</i>	8,13±0,30	3,34±0,19	2,48±0,08	64,06	35,84±2,25
6	<i>T. atroviride</i> + <i>F. culmorum</i>	8,14±0,21	3,54±0,03	2,45±0,06	66,68	36,79±1,00
7	<i>F.muscicola</i> + <i>F. culmorum</i>	8,31±0,11	3,36±0,02	2,51±0,02	63,34	36,31±0,07
8	<i>T. atroviride</i> + <i>F. muscicola</i> + <i>F. culmorum</i>	9,23*±0,14; + 13,5%	3,87*±0,2; +10,9%	2,77*±0,02; +13,5%	64,99	34,25±0,25
9	Химический препарат	8,25±0,05	3,35±0,14	2,51±0,00	63,53	35,42±0,35

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

Данный факт может объясняться относительно низким влиянием микробной инокуляции на процессы синтеза фотосинтетических пигментов и накопление сухого вещества. Соотношение хлорофиллов a/b находилось в диапазоне значений 2,30–2,50; сумма хлорофиллов $a+b$ – 11,39–13,10; соотношение хлорофиллы/каротиноиды – 4,62–4,76. Содержание сухого вещества в опыте варьировало незначительно. Результаты значений по содержанию хлорофиллов и каротиноидов в листьях пшеницы согласуются с данными других исследований, проведённых в климатической зоне Европейского Северо-Востока России [8].

Таким образом, микробы-интродуценты не оказывают негативного влияния на показатели содержания фотосинтетических пигментов и сухого вещества в листьях пшеницы.

Библиографический список

1. Зыкова Ю. Н., Огородникова С. Ю., Трефилова Л. В. Влияние предпосевной обработки семян микробными препаратами на всхожесть семян и накопление фотосинтетических пигментов в листьях *Trifolium pannonicum*. DOI: 10.15393/j1.art.2023.13542 // Принципы экологии. 2023. № 2 (48). С. 54–66.
2. Микробная интродукция и состояние почвенной аборигенной микрофлоры / Л. И. Домрачева, Л. В. Трефилова, А. Л. Ковина и др. DOI: 10.25750/1995--4301-2015-2-042-055-059 // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 2. С. 55–59.
3. Evaluating the promise of *Trichoderma* and *Anabaena* based biofilms as multifunctional agents in *Macrophomina phaseolina*-infected cotton crop / S. Triveni, R. Prasanna, A. Kumar, et al. DOI: 10.1080/09583157.2015.1006171 // Biocontrol Science and Technology. 2015. Vol. 25. No. 6. P. 656–670.
4. Cyanobacteria-based bioinoculants influence growth and yields by modulating the microbial communities favourably in the rhizospheres of maize hybrids / R. Prasanna, A. Kanchan, B. Ramakrishnan, et al. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2016.04.001 // European Journal of Soil Biology. 2016. Vol. 75. P. 15–23.
5. Шлык А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М. : Наука, 1971. С. 154–171.
6. Маслова Т. Г., Попова И. А., Попова О. Ф. Критическая оценка спектрофотометрического метода количественного определения каротиноидов // Физиология растений. 1986. Т. 39. № 6. С. 615–619.
7. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1 // Methods in Enzymology. 1987. Vol. 148. P. 350–382.
8. Амунова О. А., Лисицын Е. М. Влияние различных условий увлажнения на пигментный комплекс листьев сортов мягкой яровой пшеницы разных групп спелости. DOI: 10.24411/2309-4370-2019-13102 // Самарский научный вестник. 2019. Т. 8. № 3 (28). С. 19–25.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ КИСЛЫХ АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ФОСФОРИТОВ ВЕРХНЕКАМСКИХ БЕДНЫХ

Л. В. Кондакова^{1, 2}, Н. В. Сырчина²

¹ *Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
г. Сыктывкар, Россия,*

² *Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, ecolab2@gmail.com*

Изучено влияние фосфоритов Верхнекамских бедных (ФВБ) на видовое разнообразие цианобактерий (ЦБ) в кислых агродерново-подзолистых почвах. Установлено, что внесение ФВБ приводит к повышению содержания P_2O_5 и снижению кислотности, в результате чего видовое разнообразие ЦБ увеличивается в 2 раза (с трех до шести видов).

Ключевые слова: почвы, цианобактерии, фосфориты Верхнекамские бедные, глаукониты.

Цианобактерии (ЦБ) являются важнейшим компонентом почвенной микробиоты. Благодаря способности выживать в неблагоприятных условиях окружающей среды, связывать углекислый газ, фиксировать атмосферный азот, принимать участие в круговороте биогенных элементов, подавлять активность фитопатогенных бактерий и грибов, повышать продуктивность высших растений, соответствующие микроорганизмы (МО) становятся ценным биоресурсом, обеспечивающим устойчивое развитие сельского хозяйства. Наличие комплекса уникальных свойств позволяет использовать фотосинтезирующие прокариоты в качестве экологически безопасного и эффективного биотехнологического инструмента для восстановления сильно деградированных и загрязненных почв. В настоящее время ведутся активные исследования, направленные на изучение воздействия различных факторов внешней среды на численность и видовой состав населяющих почву ЦБ [1, 2]. Установлено, что эти МО предпочитают нейтральные или слабощелочные почвы (рН 6,9–9,3) [3]. Кислая среда оказывает угнетающее воздействие на развитие ЦБ. Большое влияние на нормальное протекание фотосинтетических процессов в клетках азотфиксирующих ЦБ оказывает доступность фосфора, серы и ряда микроэлементов, включая Fe, Cu, Mn, Co, Mg, Zn, Mo [4]. Согласно опубликованным данным, внесение минеральных фосфорных удобрений в бедные этим элементом почвы приводит к снижению количества почвенных ЦБ (особенно наиболее многочисленных) и увеличению их видового разнообразия [5]. Азотфиксирующие ЦБ приобретают конкурентные преимущества в условиях избыточного поступления фосфора на фоне относительного дефицита азота [6].

В настоящее время ведутся активные работы по созданию биопрепаратов на основе специальных штаммов ЦБ для улучшения экологических и агрохимических характеристик почв. Результаты использования соответствующих препаратов существенно зависят от свойств почвы, особенностей ее обработки, системы вносимых удобрений и средств защиты растений. В связи с этим выявление факторов, повышающих устойчивость и видовое разнообразие почвенных ЦБ, является весьма актуальным и практически значимым.

Цель работы – изучить влияние фосфоритов Верхнекамских бедных на цианобактериальные сообщества кислых агродерново-подзолистых почв.

Выбор фосфоритов Верхнекамских бедных (ФВБ) в качестве объекта исследования обусловлен их доступностью, низкой стоимостью, ценным агрохимическим составом и пролонгированным периодом действия [7, 8]. В состав ФВБ входит до 60–70% глауконита, около 6% P_2O_5 ; 3–4% K_2O , а также микроэлементы и известковые компоненты (в пересчете на CaO – 9–10%). Внесение ФВБ в почву способствует снижению кислотности, увеличению содержания биодоступных форм фосфора и калия, повышению активности почвенной микробиоты [9, 10].

Для проведения исследований использовали образцы среднесуглинистой агродерново-подзолистой почвы, отобранные вблизи г. Кирова. Содержание P_2O_5 – 68 ± 8 мг/кг; K_2O – 107 ± 11 мг/кг; гумуса – $1,9 \pm 0,4\%$; pH_{KCl} – $4,4 \pm 0,1$ (сильнокислая). Изучение видового состава ЦБ проводили методом постановки чашечных культур со стёклами обрастания. Для идентификации видов использовали серию определителей. Опыты закладывали в трёхкратной повторности. Статистическую обработку результатов выполняли общепринятыми методами на основе встроенного пакета программ Microsoft Excel.

Варианты эксперимента: 1 – почва без добавок (контроль); 2 – почва + ФВБ (опыт). ФВБ вносили в норме 5% от массы воздушно-сухой почвы. Через 3 недели после внесения добавок измеряли pH_{KCl} и содержание подвижного фосфора в почве. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Изменение свойств почвы через 3 недели после внесения ФВБ

Показатель	Значение		Метод анализа
	контроль	опыт	
pH_{KCl}	$4,3 \pm 0,1$	$4,6 \pm 0,1$	Ионометрический по ГОСТ 6483-85
P_2O_5 подвижный, мг/кг	66 ± 7	88 ± 11	Метод Кирсанова в модификации ЦИНАО по ГОСТ 54650-2011

В результате проведенных исследований было установлено, что внесение ФВБ привело к увеличению pH_{KCl} и повышению содержания подвижного фосфора (P_2O_5). Различия между отдельными вариантами статистически значимы.

В таблице 2 приведены данные о видовом составе ЦБ в разных вариантах эксперимента.

Видовой состав цианобактерий

Название вида	Выявленные виды	
	контроль	опыт
<i>Leptolyngbya angustissima</i> (W. et G. S. West) Anagn. et Kom.	+	+
<i>L. boryana</i> (Gom.) Anagn. et Kom.	—	+
<i>L. foveolarum</i> (Rabenh. et Gom.) Anagn. et Kom.	—	+
<i>Nostoc paludosum</i> Kütz	+	+
<i>N. punctiforme</i> (Kütz.) Hariot	+	+
<i>Phormidium boryanum</i> Kütz	—	+
Всего видов	3	6

Примечание: «+» – присутствие вида, «–» – отсутствие вида.

Приведенные в таблице 2 данные свидетельствуют о положительном влиянии ФВБ на видовой состав цианобактериальных сообществ в кислых агродерново-подзолистых почвах. В образцах почвы с добавкой ФВБ полностью сохранились виды, выявленные в контрольном варианте, и появились новые, источником которых, скорее всего, являются ФВБ. В ряде публикаций показано, что *Leptolyngbya foveolarum* успешно конкурирует с другими представителями микрофототрофов в условиях высокого обеспечения фосфором [11]. Для представителей рода *Phormidium* содержание фосфора также является важнейшим лимитирующим фактором [12].

Таким образом, внесение ФВБ в кислые агродерново-подзолистые почвы в качестве фосфорного удобрения оказывает положительное влияние на видовое разнообразие цианобактериальных сообществ. Расширение видового состава ЦБ может способствовать повышению супрессивности почвы и снижению вероятности поражения растений фитопатогенными грибами, а также улучшить азотное питание и структуру обрабатываемой почвы. Преимуществами ФВБ по сравнению с синтетическими фосфорными удобрениями являются натуральный состав, экологическая безопасность, пролонгированный период действия, наличие калия, микроэлементов и природного сорбента – глауконита.

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

Библиографический список

1. Alghanmi H. A., Jawad H. M. Effect of environmental factors on cyanobacteria richness in some agricultural soils. DOI: 10.1080/01490451.2018.1517196 // Geomicrobiology Journal. 2019. Vol. 36. No. 1. P. 75–84.
2. Влияние навозных стоков на почвенные фототрофные микроорганизмы / Л. В. Кондакова, Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, И. А. Кондакова. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-190-197 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 190–197.
3. Prasanna S. N. R. Soil pH and its role in cyanobacterial abundance and diversity in rice field soils // Applied Ecology and Environmental Research. 2007. Vol. 5. No. 2. P. 103–113.

4. Grettenberger C. L., Abou-Shanab R., Hamilton T. L. Limiting factors in the operation of photosystems I and II in cyanobacteria. DOI: 10.1111/1751-7915.14519 // Microbial Biotechnology. 2024. Vol. 17. No. 8. Article No. e14519.
5. Phosphorus rather than nitrogen addition changed soil cyanobacterial community in a tropical secondary forest of South China / X. Zou, X. Jiang, C. Chen, et al. DOI: 10.3390/f14112216 // Forests. 2023. Vol. 14. No. 11. Article No. 2216.
6. N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution / K. E. Havens, R. T. James, T. L. East, et al. DOI: 10.1016/s0269-7491(02)00304-4 // Environ. Pollut. 2003. Vol. 122. No. 3. P. 379–390.
7. Комплексная переработка природных фосфоритов с использованием щелочных отходов нефтехимического синтеза и газовой серы / Р. Х. Хузиахметов, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Иванова. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-102-108 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 102–108.
8. Глаукониты Вятско-Камского фосфоритоносного бассейна / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырева, Г. Я. Кантор. DOI 10.25750/1995-4301-2020-2-117-122 // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 117–122.
9. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Влияние хвостов обогащения фосфоритов, используемых в качестве удобрения, на почвенные альго-цианобактериальные сообщества. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-174-180 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 174–180.
10. 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.
11. Phosphate regime structures species composition in cultured phototrophic biofilms / E. Van der Grinten, M. Janssen, S. G. H. Simis. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2004.01189.x // Freshwater Biology. 2004. Vol. 49. No. 4. P. 369–381.
12. Cyanophage propagation in the freshwater cyanobacterium *Phormidium* is constrained by phosphorus limitation and enhanced by elevated $p\text{CO}_2$ / K. Cheng, T. Frenken, C. P. D. Brussaard, D. B. Van de Waal. DOI: 10.3389/fmicb.2019.00617 // Front. Microbiol. 2019. Vol. 10. Article No. 617.

ПОЧВЕННЫЕ ФОТОТРОФНЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ РИЗОСФЕРЫ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Л. В. Кондакова^{1,2}, И. А. Селезнева¹, А. А. Шубина¹

¹ Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, ecolab2@gmail.com,

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

Изучалось видовое разнообразие почвенных фототрофных микроорганизмов в ризосфере древесных растений. Отмечены представители зеленых, охрофитовых, диатомовых водорослей и цианобактерий. На видовой состав микрфототрофов оказывает влияние тип почвы и древесная порода.

Ключевые слова: древесные растения, фототрофные микроорганизмы, ризосфера.

Водоросли и цианобактерии (ЦБ), как часть почвенной микрофлоры, связаны сложными взаимодействиями с почвой и высшими растениями. Прямое влияние древесного растения на почвенные фототрофные микроорганизмы проявляется в месте их непосредственного контакта – в ризосферной зоне. Между фототрофными микроорганизмами и корнями высших растений существуют взаимодействия, при которых водоросли и ЦБ используют корневые выделения растений в качестве источников гетеротрофного питания [1]. Продуктивность лесных сообществ зависит от взаимодействия корней растений с почвой. Ризосфера древесных растений является одной из наиболее важных и наименее изученных биотических зон взаимодействия микроорганизмов с корнями высшего растения. Видовой состав водорослей и ЦБ ризосферных зон у разных видов древесных растений различается по количеству видов, численности и степени развития отдельных видов микрофототрофов [2]. Почвенные условия оказывают воздействие на численность водорослей, доминирование отдельных видов, на величину ризосферного эффекта. Особенности развития почвенных микрофототрофов в лесных экосистемах являются дополнительной характеристики почвы и всего конкретного биоценоза в целом.

Цель работы – изучить видовое разнообразие почвенных водорослей в ризосфере древесных растений.

Объектом исследования являлась ризосферная почва древесных растений: сосны обыкновенной, ели финской, пихты сибирской, клена остролистного, березы бородавчатой, тополя дрожащего.

Пробы почвы для анализа на наличие водорослей и ЦБ отбирались в пригородной зоне г. Кирова с соблюдением требований к микробиологическим исследованиям [1]. Для изучения ризосферы проводился отбор почвы с корней молодых растений, для каждого варианта отбирали по 5 почвенных образцов, готовилась средняя проба. Контрольная почва отбиралась в удалении от древесных растений.

Видовой состав микрофототрофов определяли постановкой водных культур. Колбы с водными культурами инкубировались при естественном освещении и дополнительном искусственном освещении. Культуры просматривались многократно за период развития с двухнедельного возраста до 6–8 месяцев после посева. Препараты для изучения водорослей и ЦБ готовились из налетов водорослей на поверхности колбы, по урезу среды, на боковых стенках колбы со дна.

В ризосферной почве древесных растений выявлено 27 видов микрофототрофов, в том числе: Cyanobacteria – 3; Chlorophyta – 14; Ochrophyta – 8; Bacillariophyta – 2 (табл). По видовому разнообразию в ризосфере изученных растений преобладают зеленые водоросли. В ризосферной почве хвойных растений выявлено 17 видов микрофототрофов, в ризосфере лиственных древесных пород – 16 видов.

Альгофлора ризосферы древесных растений

№	Названия видов	1	2	3	4	5	6
Cyanobacteria							
1	<i>Leptolyngbya angustissima</i> Anag. et Kom.	+					
2	<i>Nostoc paludosum</i> Kütz.		+	+	+		
3	<i>Nostoc punctiforme</i> (Kütz.) Hariot		+				
Chlorophyta							
4	<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrova	+	+	+		+	
5	<i>Chlamydomonas gloeogama</i> Korsch. in Pasch. var. <i>gloeogama</i>	+	+	+	+	+	+
6	<i>Chlamydomonas gelatinosa</i> Korsch. in Pascher	+	+	+	+	+	+
7	<i>Chlamydomonas oblongella</i> Lund		+	+	+		
8	<i>Chlamydomonas minutissima</i> Korsch. in Pascher	+	+	+	+	+	+
9	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer. var. <i>vulgaris</i>	+	+		+	+	+
10	<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schränk) Menegh.	+	+	+	+	+	+
11	<i>Myrmecia bisecta</i> Reisinger					+	
12	<i>Pseudococcomyxa simplex</i> (Mainx) Fott	+	+	+	+	+	+
13	<i>Stichococcus minor</i> Näg.		+	+	+	+	+
14	<i>Cosmarium anceps</i> Lund.		+				
15	<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Menegh. in Kütz.) Lokh.	+		+	+		+
16	<i>Klebsormidium nitens</i> (Menegh. in Kütz.) Lokh.	+		+	+		+
17	<i>Tetracystis aggregate</i> Brown et Bold					+	
Ochromophyta							
18	<i>Ellipsoidion oocystoides</i> Pasch.			+			
19	<i>Pleurochloris pyrenoidosa</i> Pasch.		+				
20	<i>Pleurochloris commutata</i> Pasch.	+	+	+	+	+	+
21	<i>Pleurochloris anomala</i> James	+					
22	<i>Xanthonema exile</i> (Klebs) Silva	+					
23	<i>Eustigmatos magna</i> (B. Petersen) Hibberd	+	+	+	+	+	
24	<i>Vischeria helvetica</i> (Vischer et Pasch.) Hibberd	+	+				
25	<i>Vischeria irregularis</i> Pasch		+				
Bacillariophyta							
26	<i>Luticola mutica</i> (Kütz.) Mann in Round et al.	+					
27	<i>Navicula pelliculosa</i> (Breb.) Hilse	+					
Всего		17	17	15	13	12	10

Примечание: 1 – сосна обыкновенная; 2 – ель финская; 3 – пихта сибирская; 4 – береза бородавчатая; 5 – клен остролистный; 6 – тополь дрожащий.

Ризосфера представляет собой динамическую область, в которой происходят сложные взаимодействия между растениями и организмами, тесно связанными с корнем. Состав и характер корневого экссудата влияют на микробную активность и численность популяций микроорганизмов. Между ризосферными организмами и растениями существуют полезные или вредные отношения, которые в конечном итоге влияют на функцию корней и рост

растений. Кроме того, в ризосфере могут находиться организмы, которые не приносят прямой пользы или вреда растениям, но явно влияют на рост и продуктивность растений [3]. К преимуществам изучения ризосферы относятся использование организмов, стимулирующих рост растений, и подавление болезней растений и сорняков с помощью средств биоконтроля. Ризосферные организмы также можно использовать для усиления образования стабильных почвенных агрегатов и в качестве агентов биоремедиации загрязненных почв. Активное выделение корнями растений в окружающую среду различных органических соединений обеспечивает питательными веществами почвенные микроорганизмы, что создает благоприятные условия для их существования в зонах ризосферы.

Таким образом, древесные растения обуславливают накопление почвенных фототрофных микроорганизмов своей прикорневой зоне. В ризосфере древесных растений отмечены представители зеленых, хроофитовых, диатомовых водорослей и цианобактерий.

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

Библиографический список

1. Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. М. : Наука, 1976. 143 с.
2. Алексахина Т. И., Штина Э. А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М. : Наука, 1984. 148 с.
3. Экология микроорганизмов : учебник для студ. вузов / под ред. А. И. Нетрусова. М. : Издательский центр «Академия», 2004. 272 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА КОМПЛЕКСА ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ, ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ СОВМЕСТНО С *VERTICILLIUM DAHLIAE*, НА ПОВЕРХНОСТИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

А. А. Надолинская, М. Н. Барамзин

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
stud205031@vyatsu.ru, usr22995@vyatsu.ru*

В ходе работы определялся состав комплекса фитопатогенных грибов с *Verticillium dahliae* на поверхности клубней картофеля. В результате данной работы было определено, что в этот комплекс на клубнях картофеля входят фитопатогенные грибы *Alternaria solani*, *Geotrichum candidum*.

Ключевые слова: фитопатогенные грибы, картофель, микрофлора клубней картофеля.

Фитопатогенные грибы и актиномицеты вызывают различной степени серьезности заболевания картофеля, приводящие к существенным потерям урожая. Из актиномицетов большое значение имеет повреждающий покровы клубня *Streptomyces scabies* [1]. Широко распространены агрессивные формы таких грибов, как *Verticillium dahliae* [2, 3], у которого есть две физиологически и морфологически отличные формы по типам спаривания *MAT1-2* и *MAT1-1* [4]. Некротрофные крупноспоровые аллергогенные грибы *Alternaria* также являются причиной снижения урожайности картофеля [5, 6].

Из-за постепенного изменения климата увеличивается вредоносность фитопатогенных грибов по отношению к различным сельскохозяйственным растениям, нанося больший вред агроценозам [7]. В связи с этим степень опасности уже существующих агрессивных фитопатогенных грибов, особенно их комплексов, может существенно вырасти. Соответственно является актуальным изучение комплексов фитопатогенных грибов и сопутствующих им грибов на поверхностях поражённых ими растительных тканей.

Целью данной работы является изучение ассоциированного с вертициллёзом картофеля грибкового комплекса с поверхностных покровов клубней картофеля.

С поверхности клубней картофеля при помощи стерильного скальпеля отбирались частички внешних покровов [8] со следами повреждения или роста грибов и помещались на среду Сабуро. После 3 суток инкубации при 28 °С производился учёт морфологии и приготовление фиксированных в пламени спиртовки микропрепаратов окрашенных раствором Люголя и фуксином. Далее грибы определялись по морфологии колоний и клеток [8].

В результате работы были определены следующие группы грибов и актиномицетов (табл.). Автохтонные микроорганизмы покровов картофеля – группы *Lycotus* sp., коринеформы. Фитопатогенные грибы и актиномицеты – аллохтонные микроорганизмы: *Streptomyces scabies*, *Alternaria solani*, *Verticillium dahliae*, *Geotrichum candidum*, *Rhizopus nigricans*.

Таблица

**Идентифицированные группы и виды грибов и актиномицетов,
% встречаемости (в скобках от количества колоний на чашке Петри)**

Группа, род или вид	Область и район (количество колоний на чашке Петри)					
	Кировская					Архангельская
	Уржум- жум- ский (72)	Слобод- бод- ской (6)	Ори- чевский (56)	Даров- ской (57)	Котель- ничский (32)	Котласский (65)
1	2	3	4	5	6	7
<i>Streptomyces scabies</i>	0	0	10	35	12	46
<i>Alternaria solani</i>	0	0	0	0	0	4
<i>Verticillium dahliae</i>	0	0	17	0	10	9

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7
<i>Geotrichum candidum</i>	0	0	0	0	0	29
<i>Lipomyces</i> sp.	0	50	56	0	0	12
Коринеформы	96	0	17	65	88	0
<i>Rhizopus nigricans</i>	4	50	0	0	0	0

Была определена ассоциация грибов *Alternaria solani*, *Geotrichum candidum* с фитопатогенным грибом *Verticillium dahliae*.

На рисунке приведены микрофотографии идентифицированных грибов и актиномицетов.

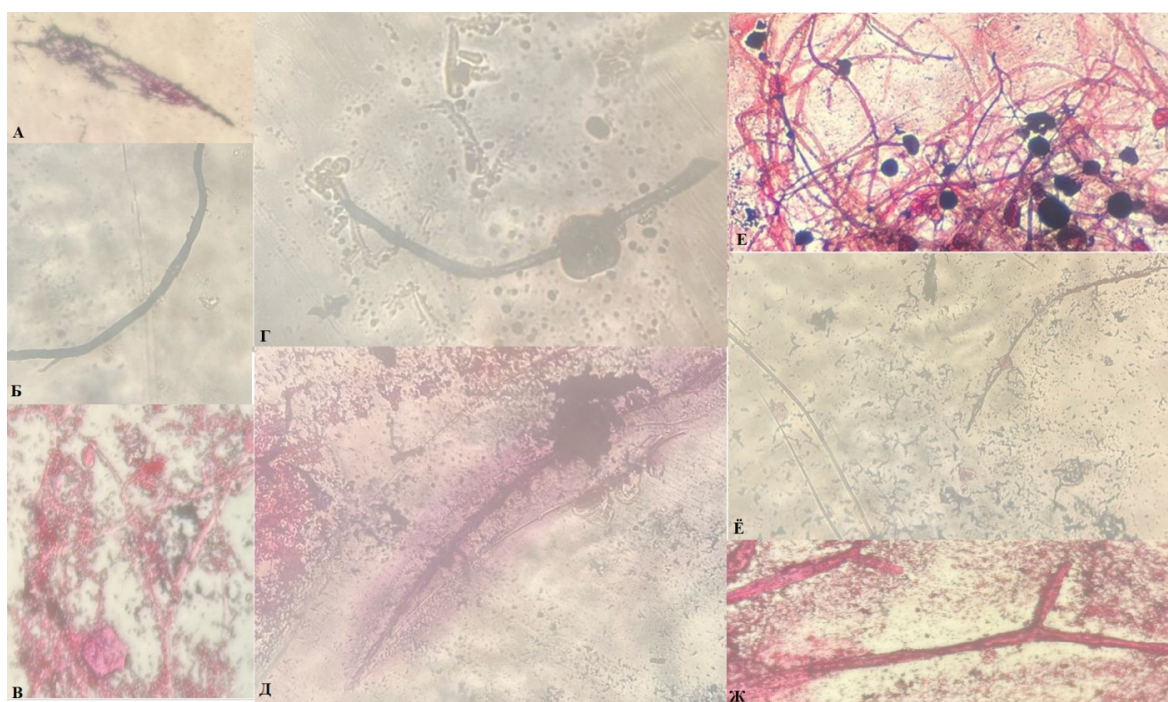


Рис. Микрофотографии идентифицированных грибов и актиномицетов.

Окраска раствором Люголя и фуксином. Увеличение 40×.

Условные обозначения: А – *Streptomyces scabies*, Б – *Verticillium dahliae* и коринеформные бактерии, В – *Lipomyces* sp., Г – *Alternaria solani*, Д – *Verticillium dahliae*, Е – *Rhizopus nigricans*, Ё – *Verticillium dahliae*, Ж – *Geotrichum candidum*

В результате данной работы было определено, что с фитопатогенным грибом *Verticillium dahliae* образуют один комплекс на клубнях картофеля фитопатогенные грибы *Alternaria solani* и *Geotrichum candidum*.

Библиографический список

1. Lerat S., Simao-Beaunoir A. M., Beaulieu C. Genetic and physiological determinants of *Streptomyces scabies* pathogenicity. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2009.00561.x // Molecular Plant Pathology. 2009. Vol. 10. No. 5. P. 579–585.

2. Dung J. K., Peever T. L., Johnson D. A. *Verticillium dahliae* populations from mint and potato are genetically divergent with predominant haplotypes. DOI: 10.1094/-PHYTO-06-12-0133-R // Phytopathology. 2013. Vol. 103. No. 5. P. 445–459.
3. Distribution and pathogenicity differentiation of physiological races of *Verticillium dahliae* from cotton stems in western China / J. Zhang, A. Jiamahate, H. Feng, et al. DOI: 10.3390/pathogens13070525 // Pathogens. 2024. Vol. 13. Article No. 525.
4. Biological characteristics of *Verticillium dahliae* MAT1-1 and MAT1-2 strains / L. Liu, Y. D. Zhang, D. D. Zhang, et al. DOI: 10.3390/ijms22137148 // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22. No. 13. Article No. 7148.
5. Alternaria diseases on potato and tomato / T. Schmey, C. S. Tominello-Ramirez, C. Brune, et al. DOI: 10.1111/mpp.1343 // Molecular Plant Pathology. 2024. Vol. 25. No. 3. Article No. e13435.
6. *Verticillium dahliae* disease resistance and the regulatory pathway for maturity and tuberization in potato / H. H. Tai, D. De Koeyer, M. Sønderkær, et al. DOI: 10.3835/plantgenome2017.05.0040 // Plant Genome. 2018. Vol. 11. No. 1. Article No. 170040.
7. Влияние глобальных изменений климата на фитопатогены и развитие болезней растений / А. Н. Игнатов, Е. И. Кошкин, И. В. Андреева и др. // Агрохимия. 2020. № 12. С. 81–96.
8. Сокирко В. П., Горьковенко В. С., Зазимко М. И. Фитопатогенные грибы (морфология и систематика) : учеб. пособие. Краснодар : КубГАУ, 2014. 178 с.

THE ROLE OF MICROALGAE AND CYANOBACTERIA IN BIOREMEDIATION: A SUSTAINABLE APPROACH TO WATER POLLUTION CONTROL

Dr Seema Sharma

Dr. C. V. Raman University, Khandwa, India,

Seemasharma8631@gmail.com

Water pollution is a growing environmental concern that affects ecosystems, human health, and agricultural productivity. Algae- and cyanobacteria-based bioremediation has emerged as an eco-friendly and cost-effective solution for mitigating water pollution. This paper reviewed the potential of microalgae and cyanobacteria in removing heavy metals, organic pollutants, and excess nutrients from contaminated water bodies. The study examines various algal and cyanobacteria species, their mechanisms for pollutant removal, and their application in wastewater treatment and industrial effluent management. The findings suggest that algal bioremediation is a promising technology that aligns with sustainable environmental practices, offering a natural alternative to conventional water treatment methods. The paper also explores challenges such as scalability, efficiency, and integration into existing water management systems, offering insights into future research directions.

Keywords: algae, cyanobacteria, bioremediation, water pollution, heavy metals, wastewater treatment, environmental sustainability.

Water pollution is a major environmental challenge, with industrial, agricultural, and domestic sources contributing to the contamination of water bodies worldwide. Pollutants such as heavy metals, organic compounds, and excess nutrients lead to ecosystem degradation, loss of biodiversity, and human health issues. Traditional water treatment methods, including chemical precipitation, filtration, and advanced oxidation, are often costly and resource-intensive. As a result, researchers and policymakers are seeking sustainable, low-cost alternatives, among which algae-based bioremediation has gained significant attention.

Algae, a diverse group of photosynthetic organisms, have the potential to absorb and degrade pollutants while simultaneously producing biomass that can be repurposed for biofuels, fertilizers, and animal feed [1–5]. This paper reviewed the various mechanisms through which algae contribute to bioremediation, discusses key species used in pollution control, and evaluates the practical applications of algal bioremediation in wastewater treatment, industrial effluent management, and agricultural runoff control. Furthermore, the paper highlights challenges and future research opportunities to enhance the effectiveness of algae-based remediation technologies.

Algae play a crucial role in water purification through multiple biological and physicochemical mechanisms (Fig.).

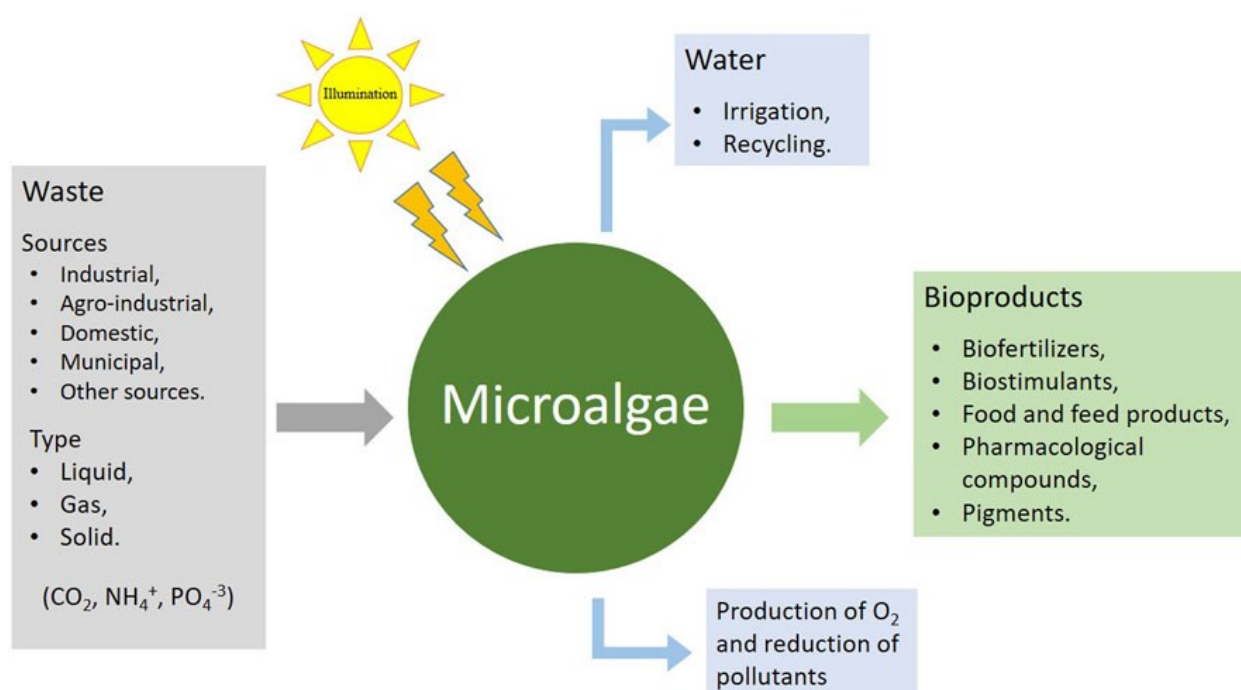


Fig. A crucial role of microalgae in water purification

Biosorption refers to the passive uptake of pollutants by algal biomass, especially the marine ones [5, 6]. Algal cell walls contain functional groups such as carboxyl, hydroxyl, amine, etc. that bind heavy metal ions like lead [5–8], copper [5, 6, 9], chromium [5, 6, 10], nickel [5, 6, 11], cadmium [5, 6, 9, 12], cobalt [6, 12], zinc [5, 6, 12], mercury [6, 12], and others. This process occurs without meta-

bolic activity and is considered a cost-effective method for removing toxic elements from contaminated water.

Unlike biosorption, bioaccumulation involves the active uptake and assimilation of pollutants into algal cells. Algae can absorb nutrients such as nitrates and phosphates from wastewater, reducing eutrophication, which is a major environmental concern leading to harmful algal blooms (HABs) and oxygen depletion in aquatic ecosystems.

Certain algal species possess enzymatic pathways that enable them to degrade organic pollutants, including pesticides, pharmaceuticals, and hydrocarbons. This biodegradation process converts complex toxic compounds into simpler, non-toxic molecules, making algae effective in detoxifying industrial effluents.

Phytoremediation refers to the ability of algae to absorb and metabolize pollutants, similar to how terrestrial plants clean soil. Algae can uptake and transform heavy metals and organic pollutants into less harmful forms through metabolic processes.

Algae contribute to water quality improvement by producing oxygen through photosynthesis, which enhances microbial activity in biodegradation. Additionally, algae can alter the pH of contaminated water, promoting precipitation and removal of certain pollutants.

Algal species used in bioremediation. According to [13], more than 725 species have been reported to be tolerant to some contaminants; the most tolerant groups include eight green algae, five cyanobacteria, six diatoms, and six flagellates. Several algal species have been extensively studied for their effectiveness in removing pollutants. Among the most studied microalgal and cyanobacterial genera in terms of wastewater treatment are the following.

Dunaliella salina is specialized in saline water treatment and can thrive in high-salinity environments [9].

Chlorella vulgaris is known for its ability to absorb heavy metals and degrade organic pollutants, making it ideal for industrial wastewater treatment [12–15].

Scenedesmus obliquus is efficient in removing nitrates and phosphates from sewage and agricultural runoff [12–14].

Arthrospira (Spirulina) platensis – effective in nutrient removal and widely used in wastewater treatment plants [13, 14].

Algae-based wastewater treatment is gaining popularity due to its cost-effectiveness and environmental benefits. Algal ponds, photobioreactors, and hybrid treatment systems are being implemented in various countries to treat municipal and industrial wastewater. Algal systems efficiently remove nitrogen, phosphorus, and organic pollutants from municipal wastewater. Industries such as textiles, mining, and pharmaceuticals utilize algae to detoxify effluents before discharge [12].

Industries discharge heavy metals, dyes, and complex organic compounds into water bodies. Algal bioremediation helps in removing toxic metals from electroplating and mining wastewater; breaking down persistent organic pollutants

from pharmaceutical and petrochemical industries; treating dye-laden wastewater from textile industries [12].

Agricultural runoff containing fertilizers and pesticides leads to nutrient pollution, causing eutrophication. Algal bioremediation can absorb excess nitrogen and phosphorus, reducing harmful algal blooms, improve water quality in irrigation canals and reservoirs, provide an eco-friendly alternative to chemical water treatment in rural areas [12].

Despite the promising potential of algae in bioremediation, several challenges hinder large-scale implementation.

1. Scalability: Implementing algal treatment systems on a large scale requires significant infrastructure investment.

2. Environmental Variability: Temperature, light, and nutrient availability affect algal growth and pollutant removal efficiency.

3. Biomass Disposal: The harvested algal biomass must be managed effectively to prevent secondary pollution.

4. Competition with Other Microorganisms: Uncontrolled microbial growth may affect the efficiency of algal-based treatment systems [5, 6, 14].

To overcome these challenges, future research should focus on the following.

1. Genetic Engineering of Algae: Enhancing pollutant uptake and metabolic pathways through biotechnology.

2. Hybrid Treatment Systems: Combining algae with bacterial consortia for improved bioremediation efficiency.

3. Circular Economy Approaches: Utilizing harvested algal biomass for biofuels, fertilizers, and animal feed.

4. Policy Integration: Encouraging governments to adopt algae-based bioremediation as part of sustainable water management strategies [6, 13].

Algal bioremediation is an innovative and sustainable approach to water pollution control. By leveraging the natural abilities of algae to absorb and degrade pollutants, we can develop eco-friendly treatment systems that align with environmental conservation goals. While challenges exist, advancements in technology and policy support can facilitate large-scale implementation. With continued research and investment, algae-based bioremediation has the potential to revolutionize wastewater treatment and contribute to a cleaner, healthier environment.

References

1. Chojnacka K. Biosorption and bioaccumulation – the prospects for practical applications. DOI: 10.1016/j.envint.2009.12.001 // Environ. Int. 2010. Vol. 36. No. 3. P. 299–307.
2. Christenson L., Sims R. Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2011.05.015 // Biotechnol. Adv. 2011. Vol. 29. No. 6. P. 686–702.
3. Mata T. M., Martins A. A., Caetano N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. DOI: 10.1016/j.rser.2009.07.020 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010. Vol. 14. No. 1. P. 217–232.
4. Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review / A. K. Zeraatkar, H. Ahmadzadeh, A. F. Talebi, et al. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.06.059 // J. Environ. Manage. 2016. Vol. 181. P. 817–831.

5. He J., Chen J. P. A comprehensive review on biosorption of heavy metals by algal biomass: materials, performances, chemistry, and modeling simulation tools. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.01.068 // *Bioresour. Technol.* 2014. Vol. 160. P. 67–78.
6. Wang J., Chen C. Biosorbents for heavy metals removal and their future. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2008.11.002 // *Biotechnol. Adv.* 2009. Vol. 27. No. 2. P. 195–226.
7. Gupta V. K., Rastogi A. Biosorption of lead from aqueous solutions by green algae *Spirogyra species*: kinetics and equilibrium studies. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.07.028 // *J. Hazard. Mater.* 2008. Vol. 152. P. 407–414.
8. Gupta V. K., Rastogi A. Biosorption of lead(II) from aqueous solutions by non-living algal biomass *Oedogonium* sp. and *Nostoc* sp. – a comparative study. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2008.01.019 // *Colloids Surf. B: Biointerfaces.* 2008. Vol. 64. P. 170–178.
9. Toxicity, physiological response, and biosorption mechanism of *Dunaliella salina* to copper, lead, and cadmium / M. Gao, N. Ling, H. Tian, et al. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1374275 // *Front. Microbiol.* 2024. Vol. 15. Article No. 1374275.
10. Gupta V. K., Rastogi A. Sorption and desorption studies of chromium(VI) from non-viable cyanobacterium *Nostoc muscorum* biomass. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.10.032 // *J. Hazard. Mater.* 2008. Vol. 154. P. 347–354.
11. Gupta V. K., Rastogi A., Nayak A. Biosorption of nickel onto treated alga (*Oedogonium hatei*): application of isotherm and kinetic models. DOI: 10.1016/j.jcis.2009.10.074 // *J. Colloid Interface Sci.* 2010. Vol. 342. P. 533–539.
12. Muñoz R., Guieysse B. Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. DOI: 10.1016/j.watres.2006.06.011 // *Water Res.* 2006. Vol. 40. No. 15. P. 2799–2815.
13. Calatrava V., Gonzalez-Ballester D., Dubini A. Microalgae for bioremediation: advances, challenges, and public perception on genetic engineering. DOI: 10.1186/s12870-024-05995-5 // *BMC Plant Biol.* 2024. Vol. 24. Article No. 1261.
14. Pittman J. K., Dean A. P., Osundeko O. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.06.035 // *Bioresour. Technol.* 2011. Vol. 102. No. 1. P. 17–25.
15. Almomani F., Bhosale R. R. Bio-sorption of toxic metals from industrial wastewater by algae strains *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris*: Application of isotherm, kinetic models and process optimization. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142654 // *Sci. Total Environ.* 2021. No. 755. Pt. 2. Article No. 142654.

COMPREHENSIVE MINING AND ACTIVITY RESEARCH OF ANTIMICROBIAL PEPTIDES IN THE GENOME OF *BACILLUS VELEZENSIS*

L. Liu¹, Q. Zhao², Y. Wang², Z. Wang²

¹ *School of Biomedicine and Chemical Engineering, Benxi, P. R. China,*
llc1776@163.com

² *Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China*

This study aims to identify antimicrobial peptides (AMPs) with high antibacterial activity from the genome of *Bacillus velezensis* and to verify their antibacterial activity through *in vitro* antibacterial experiments. With the aid of computer-assisted design and high-throughput screening technologies, we successfully obtained several novel AMPs, which demonstrated good antibacterial activity *in*

vitro experiments. The *in vitro* antibacterial experiments indicated that these AMPs possess favorable stability and antibacterial activity, providing a theoretical basis for the further development of clinical antimicrobial peptides or the exploration of the biocontrol and environmental protection values of *Bacillus velezensis*.

Keywords: *Bacillus velezensis*, antimicrobial peptides, screening, antibacterial activityю

With the increasing prevalence of antibiotic resistance, the search for novel antimicrobial agents has become a crucial issue in global medicine and biology. Antimicrobial peptides (AMPs), a class of bioactive molecules with broad-spectrum antimicrobial activity, have garnered significant attention due to their high efficacy, low toxicity, and reduced likelihood of inducing resistance. In recent years, AMPs derived from microorganisms have become a research hotspot because of their diversity and potential antimicrobial mechanisms, especially certain species within the genus *Bacillus*, which are known for their rich secondary metabolites and great application potential [1, 2].

Bacillus velezensis was a Gram-positive bacterium widely found in soil, plant rhizosphere, and aquatic environments. It was highly adaptable and can thrive under various environmental conditions, making it an important microbial resource with significant application value. The genome of *Bacillus velezensis* consists of a circular chromosome of approximately 3.92 Mbp, containing 3643 open reading frames. It possesses multiple gene clusters for the synthesis of compounds such as macrolides, surfactin, and bacillibactin. These compounds are not only associated with the biocontrol functions of *Bacillus velezensis* but also contribute to plant growth promotion and enhanced stress resistance in plants [3, 4].

However, the exploration and activity research of antimicrobial peptides in *Bacillus velezensis* are still in the preliminary stage. Most studies have focused on a few known antimicrobial peptides, while the comprehensive mining of potential antimicrobial peptide-encoding genes and related metabolic pathways in its genome was far from sufficient. This study aims to comprehensively mine the antimicrobial peptide-encoding genes in *Bacillus velezensis* through genomics and optimized antimicrobial peptide mining algorithms, and to investigate their activities. Through in-depth analysis of the *Bacillus velezensis* genome, we hope to discover new antimicrobial peptide-encoding genes and evaluate their antimicrobial activities through *in vitro* expression and functional verification. Through this study, we hope to provide a theoretical basis for the development and application of antimicrobial peptides from *Bacillus velezensis*, and to offer new ideas and methods for solving the problem of antibiotic resistance and developing novel biocontrol agents.

In this study, a decision tree model was employed to select important parameters that are closely related to the formation of the helical structure of antimicrobial peptides (AMPs) and the magnitude of their antimicrobial activity, such as charge, hydrophobicity, amphipathicity, and helicity. Based on the experience of

our laboratory, reasonable value ranges were set for the selected parameters. Potential antimicrobial peptides in the genome were calculated and screened accordingly.

The genome nucleotide sequences of *Bacillus velezensis* JS25R were downloaded from the National Center for Biotechnology Information (NCBI) database (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/CP009679>). The Sequence Manipulation Suite (SMS) online toolkit (<http://www.bio-software.net/sms/>) was used to perform a six-frame translation of the entire genome amino acid sequences. After translating the stop codon sequences TAG, TAA, and TGA, the resulting asterisks (*) were removed. All amino acid sequences obtained from the six-frame translation, including coding sequences (CDS) and non-coding sequences (NCS), were integrated into a peptide library for the screening of potential antimicrobial peptides.

Among the various physicochemical and structural parameters of antimicrobial peptides, those that significantly influence the formation of their helical structure and the magnitude of their antimicrobial activity mainly include the number of net and average charges, helicity, amphipathicity, lipophilicity, and the number of amino acids in the peptide. These key parameters were used as decision points in the decision tree model, with each decision point having a set range of acceptable values. When screening for potential antimicrobial peptides, the parameter values of a specific peptide are calculated and compared with the set ranges. If the parameter value of a specific peptide falls within the set range, it passes this decision point and proceeds to the calculation and comparison of the next parameter. This process continues until the peptide meets all the specified parameter ranges, at which point it was output as a preliminary qualified result. If any parameter value of a specific peptide falls outside the set range, the calculation and comparison of other parameters for that peptide are immediately terminated, and it was discarded as an unqualified peptide. The next peptide was then processed, and this continues until all potential peptides have been calculated and evaluated. The parameters and their set ranges for the screening of potential antimicrobial peptides were shown in Table 1.

Table 1

Parameters and the ranges for screening potential antimicrobial peptides

Serial No.	Parameter	Abbreviation	Value Range
1	Hydrophobicity Index	A	> 80
2	Helicity	α	> 20
3	Isoelectric Point	pI	> 11
4	Net Charge	C	> 5
5	Average Charge	NC	> 0.245
6	Amphipathicity	HM	> 0.65
7	Hydrophobicity	H	< 0.1
8	Aggregation Index	AGG	0
9	Thermal Stability Index	IS	> 60
10	Antimicrobial Peptide Length	LEN	28–28

Statistical data from the DBAASP database indicate that the majority of antimicrobial peptides have lengths ranging from 15 to 30 amino acids. Additionally,

studies have shown that there was a positive correlation between the length of antimicrobial peptides and their antimicrobial activity, meaning that longer antimicrobial peptides generally have stronger antimicrobial activity than shorter ones. Therefore, in this study, the screening length for potential antimicrobial peptides was set to peptides containing 23 to 28 amino acids.

For the screened antimicrobial peptide sequences, to investigate the correlation between the antimicrobial activity of antimicrobial peptides and the in situ gene expression products in later studies, their genomic localization was analyzed. The novelty of their sequence structure was analyzed using the CAMP database. The similarity to existing peptide sequences and the potential structural types were analyzed using the CAMPr3 database. Three algorithms in the CAMPr3 database (Convolutional Neural Network (CNN), Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF)) were used to score them, with higher scores indicating potentially higher antimicrobial activity. Previously, we had synthesized two typical peptide sequences and used the micro-dilution method to test the in vitro antimicrobial activity of the synthesized peptides.

By integrating multiple algorithms and key parameters, a total of 19 antimicrobial peptide sequences were ultimately screened out (Table 2). The screening and analysis results show that the database algorithm scores range from 0.9 to 1, and the artificial intelligence algorithm analysis identifies all as potential antimicrobial peptide sequences (Table 3).

Table 2

Potential antimicrobial peptide sequences and genomic localization

Name	Sequence	Genomic Location
B.vzs-1	RIFQHTARFIDKVIRKAADRIFKKQCRI	2383828-2383914
B.vzs-2	QFRGLCRARLQWGVRRIRKVFKLNHNSK	1896490-1896573
B.vzs-3	AQKPIRLKFSTARFTKRLRKLPTLAKAL	1292679-1292593
B.vzs-4	GTGRIRQKRVRQIKLFEKVRLRLFCDV	1187850-1187767
B.vzs-5	CGTGRIRQKRVRQIKLFEKVRLRLFCD	1187770-1187753
B.vzs-6	QAVSTKLAKLTKVLRKWTGWSRNKNAV	173213-173293
B.vzs-7	RVRIKLVTYKFKRQIKVLQQIWKHGQ	545144-545230
B.vzs-8	RIAERKVDWRVLRKFSEFMNKWKIGHLRC	3586065-3585976
B.vzs-9	ARLKLCKQAARMRLLSFGFRQFFRRGR	2340284-2340370
B.vzs-10	DFQRFRIIGSGLFKRIAKQRDRFAKLRV	1419819-1419733
B.vzs-11	FDFQRFRIIGSGLFKRIAKQRDRFAKLR	1419822-1419736
B.vzs-12	FQRFRIIGSGLFKRIAKQRDRFAKLRV	1419816-1419733
B.vzs-13	QRFRIIGSGLFKRIAKQRDRFAKLRV	1419813-1419733
B.vzs-14	IEGFRKIKLRADFRFFRLKKAGRVL	3708869-3708949
B.vzs-15	AARFKKAQARLKWIKIEAAWKTIRLPTF	2674847-2674755
B.vzs-16	KAQARLKWIKIEAAWKTIRLPTFCTR	2674832-2674746
B.vzs-17	LKIIRFKCRLRTAGSKLKAVRSHLKT	2034702-2034619
B.vzs-18	LKVRQINMKTLISIRLQKKCARFRFLRGR	3918026-3917940
B.vzs-19	AARLKLCKQAARMRLLSFGFRQFFRRG	2340281-2340373
B.vzs-20	LFKKGCIQLLRGRLTKRLLRFGFER	2334617-2334540

Table 3

Potential activity scores of antimicrobial peptides by various algorithms

Name	ANN	SVM	RF	DBAASP
B.vzs-1	AMP	0.922	0.932	AMP
B.vzs-2	AMP	0.983	0.9735	AMP
B.vzs-3	AMP	0.959	0.9325	AMP
B.vzs-4	AMP	0.994	0.914	AMP
B.vzs-5	AMP	0.941	0.9385	AMP
B.vzs-6	AMP	0.911	0.9645	AMP
B.vzs-7	AMP	0.916	0.9925	AMP
B.vzs-8	AMP	0.938	0.946	AMP
B.vzs-9	AMP	0.992	0.9745	AMP
B.vzs-10	AMP	0.979	0.9765	AMP
B.vzs-11	AMP	0.974	0.905	AMP
B.vzs-12	AMP	0.988	0.996	AMP
B.vzs-13	AMP	0.951	0.992	AMP
B.vzs-14	AMP	0.988	0.9405	AMP
B.vzs-15	AMP	0.984	0.9965	AMP
B.vzs-16	AMP	0.939	0.984	AMP
B.vzs-17	AMP	0.903	0.9755	AMP
B.vzs-18	AMP	0.907	0.9435	AMP
B.vzs-19	AMP	0.996	0.9825	AMP
B.vzs-20	AMP	0.985	0.995	AMP

The positive charge distribution ranges from 10 to 7, demonstrating a strong ability to bind to nuclear cell membranes (Table 4). The aggregation index was zero for all, indicating that these peptides are not prone to self-aggregation, which could otherwise affect the expression of antimicrobial activity. Structural analysis shows that all these peptides have novel structure salpha-helical, with alpha-helical indices ranging from 26 to 31 (Table 5). The hydrophobic moment ranges from 0.6 to 0.96, indicating a strong hydrophobic moment, which was positively correlated with antimicrobial activity (Table 5).

Based on the preferred values of these key indices, the 20 peptides exhibit good antimicrobial activity. The in vitro antimicrobial activity of peptides B.vzs-12 and B.vzs-20 against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Pseudomonas aeruginosa*, tested using the micro-dilution method, shows that both antimicrobial peptides have good antimicrobial activity against these three common pathogens (Table 6). The other 18 peptides are currently being synthesized by solid-phase synthesis, and their antimicrobial activity, hemolytic activity, and other properties will be tested in subsequent studies.

Table 4

Novelty analysis of potential antimicrobial peptide sequences

Name	CAMP Score	CAMP E.value	LEN	APDR3 Similarity, %	APDR3 Structural Prediction
B.vzs-1	20	3.5	28	41.94	helix
B.vzs-2	19.2	2.2	27	39.29	helix
B.vzs-3	19.2	3.8	28	41.38	helix
B.vzs-4	19.2	2.3	28	45.16	helix
B.vzs-5	19.2	2.3	28	41.94	helix
B.vzs-6	20.8	0.75	27	42.86	helix
B.vzs-7	20.8	0.75	26	39.29	helix
B.vzs-8	20.4	1.1	28	36.67	helix
B.vzs-9	18.9	7.9	28	40	helix
B.vzs-10	20	1.7	28	42.86	helix
B.vzs-11	20	1.7	28	44.12	helix
B.vzs-12	20.4	2.6	27	41.94	helix
B.vzs-13	20.4	2.5	26	43.33	helix
B.vzs-14	18.5	4.4	26	40	helix
B.vzs-15	21.9	0.63	28	41.38	helix
B.vzs-16	20	1.1	26	39.29	helix
B.vzs-17	No hits found	-	27	39.39	helix
B.vzs-18	20	1.3	28	41.38	helix
B.vzs-19	18.9	7.9	28	37.14	helix
B.vzs-20	18.1	5.2	25	44.44	helix

Table 5

Multiple algorithms predict the potential antimicrobial activity of peptides

Name	AGG	C	NC	α	HM	IS	A	H	BM3	IP
B.vzs-1	0	7.21	0.258	29.21	0.962	-4.44	90.714	-0.318	3.152	11.68
B.vzs-2	0	9.21	0.341	27.01	0.836	21.29	82.963	-0.406	3.368	12.42
B.vzs-3	0	9	0.321	29.85	0.749	26.29	97.857	-0.251	2.191	12.61
B.vzs-4	0	8	0.286	28.55	0.733	21.39	100.714	-0.388	3.334	12.14
B.vzs-5	0	7.97	0.285	28.18	0.733	21.39	90.357	-0.416	3.433	11.88
B.vzs-6	0	7	0.259	28.2	0.71	23.66	86.667	-0.189	1.963	12.22
B.vzs-7	0	8.24	0.317	26.96	0.71	23.41	108.462	-0.258	2.272	11.95
B.vzs-8	0	7.21	0.258	28.93	0.706	20.43	80	-0.306	2.938	11.68
B.vzs-9	0	9.97	0.356	29.09	0.685	27.92	66.429	-0.405	3.323	12.51
B.vzs-10	0	7	0.25	28.3	0.667	22.84	87.143	-0.324	3.287	12.13
B.vzs-11	0	7	0.25	28.28	0.667	27.24	76.786	-0.32	3.325	12.13
B.vzs-12	0	8	0.296	27.32	0.667	26.1	90.37	-0.302	3.086	12.42
B.vzs-13	0	8	0.308	26.2	0.667	26.72	93.846	-0.36	3.319	12.42
B.vzs-14	0	8	0.308	27.13	0.649	14.7	93.846	-0.34	3.123	12.14
B.vzs-15	0	8	0.286	31.62	0.642	6.46	77.143	-0.199	1.942	11.98
B.vzs-16	0	6.97	0.268	28.12	0.642	24.51	75.385	-0.24	2.182	11.52
B.vzs-17	0	9.21	0.341	27.91	0.642	16.32	104.815	-0.223	2.173	12.16
B.vzs-18	0	9.97	0.356	28.39	0.624	25.95	97.5	-0.407	3.197	12.43
B.vzs-19	0	8.97	0.32	29.75	0.609	27.92	70	-0.292	2.725	12.42
B.vzs-20	0	6.97	0.279	25.44	0.878	25.24	109.2	-0.23	2.348	11.98

Table 6

The minimum inhibitory concentration of antimicrobial peptides (µg/ml)

Name	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
B.vzs-12	32	64	16
B.vzs-20	16	16	8
Levofloxacin	0.25	1	1

With the development of genome sequencing and bioinformatics technologies, a large amount of biological genomic information has been annotated. Using antimicrobial peptide prediction models and artificial intelligence algorithms to analyze and screen antimicrobial peptides from genomes has become a low-cost and highly efficient method for mining novel antimicrobial peptides. The comprehensive screening of potential antimicrobial peptides from the genome of *Bacillus velezensis* and the in vitro activity testing conducted in the preliminary stage of this study further confirmed the promoting effect of efficient mining algorithms on the discovery of novel antimicrobial peptides. As the synthesis and activity testing of the remaining 18 antimicrobial peptides, as well as toxicity experiments, hemolysis tests, and experiments on acid-base and enzymatic stability, are further carried out, they will provide a research basis for the development of highly active antimicrobial peptides for clinical applications or biological control in the environment.

This work was financially supported by the Doctoral Scientific Research Start-up Fund Project of Liaoning Institute of Technology (LJ212411430015), the Team Project of Liaoning Provincial Department of Science and Technology (2307B16), the Pioneer Scientific Research and Innovation Team of Liaoning Institute of Technology (Food-As-Medicine Project).

Reference

1. Rončević T., Puizina J., Tossi A. Antimicrobial peptides as anti-infective agents in pre-post-antibiotic era? DOI: 10.3390/ijms20225713 // Int. J. Mol. Sci. 2019. Vol. 20. No. 22. Article No. 5713.
2. Antimicrobial peptides: promising alternatives in the post feeding antibiotic era / J. Wang, X. Dou, J. Song, et al. DOI: 10.1002/med.21542 // Med. Res. Rev. 2019. Vol. 39. No. 3. P. 831–859.
3. Functional genome annotation depicts probiotic properties of *Bacillus velezensis* FTC01 / J. Q. Pereira, A. C. Ritter, S. Cibulski, A. Brandelli. DOI: 10.1016/j.gene.2019.143971 // Gene. 2019. Vol. 713. Article No. 143971.
4. Antimicrobial activities of *Bacillus velezensis* strains isolated from stingless bee products against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* / M. M. A. Baharudin, M. S. Ngalimat, F. Mohd Shariff, et al. DOI: 10.1371/journal.pone.0251514 // PLoS One. 2021. Vol. 16. No. 5. Article No. e0251514.

EFFECTS OF DICYANDIAMIDE ON PARTIAL METABOLISM OF NON-TARGET MICROORGANISMS

Z. Wang, Y. Fu, W. Tan

*Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi, P. R. China,
wzy150618@163.com*

Dicyandiamide (DCD) is a commonly used nitrification inhibitor, can enhance the efficiency of nitrogen fertilizers and reduce N₂O emission in soil. In this experiment, *Escherichia coli* ATCC 25922 (*E. coli*) and red yeast Y4 were selected as the main research objects. Single factor gradient culture was adopted, and different concentrations of DCD (0%, 2%, 4%, 8% and 16%) were added to M9 medium inoculated with *E. coli* and red yeast Y4, respectively. The results suggest that the respiratory rate of *E. coli* and red yeast Y4 would be decreased by the addition of DCD. Therefore, it speculated that DCD might have potentials in reducing CO₂ emissions by suppression of the respiration of some microbes in proper condition, which still needs further study.

Keywords: dicyandiamide, *Escherichia coli* ATCC 25922, red yeast Y4, induced respiration.

Previous reports showed that dicyandiamide (DCD) addition did not do negative impacts on microbial biomass C [1]. However, the increasing use of DCD has raised concerns about its potential environmental impacts, particularly on non-target microorganisms in soil and water ecosystems. In clayey, loamy and sandy soils, DCD without N fertilizer inhibited the activities of dehydrogenase and dimethylsulfoxide reductase at 250 µg DCD g⁻¹ dry soil, and suppressed the activities of potential denitrification capacity at 100 µg DCD g⁻¹ dry soil, but do not affect non target microbial processes at the recommendation rates 10 µg DCD g⁻¹ dry soil [2]. Y. Yue et al. detected that DCD can react with pepsin, and lead to a conformational change in the pepsin [3], which indicated DCD might influence some non-target enzymes.

However, the specific mechanisms by which DCD influences the partial metabolism of non-target microorganisms remain unclear. This study aims to investigate the effects of DCD on the partial metabolism of non-target microorganisms.

The cultivation of *E. coli* 25922 and red yeast Y4 used LB medium and YM medium, respectively.

We used deep well plates to simulate static culture of *E. coli* and red yeast Y4 and followed the [4] with some modifications. *E. coli* and red yeast Y4 (10⁶ CFU/mL) was collected by centrifugation and re-suspension with pH 7.0 phosphate buffer and mixed with 200 µL fresh M9 medium with or without 2%, 4%, 8%, 16% DCD (2% N-NH₄Cl in M9 medium).

The morphology was observed by using ImageJ software to process the microscope images and get the values of *E. coli* and red yeast Y4.

There were four replicated samples for the measurements. Mean values and standard errors of all data were calculated based on the replicates of each treatment. The Duncan test at the $P=0.05$ level and one-way analysis of variance (ANOVA) was used to analyze the data. All statistical analyses were performed using the SPSS 17.0 (SPSS Inc, Chicago, USA).

The results (Fig. 1a) showed that the length of *E. coli* in the negative control group was mainly distributed in the range of 1.2 and 1.8 μm , while the average length of *E. coli* in the treatment group with DCD was range of 0.4 μm and 1.0 μm .

The diameter of red yeast Y4 was mainly distributed in range of 2–5 μm in the negative control group, other groups in range of 3–6 μm (Fig. 1b).

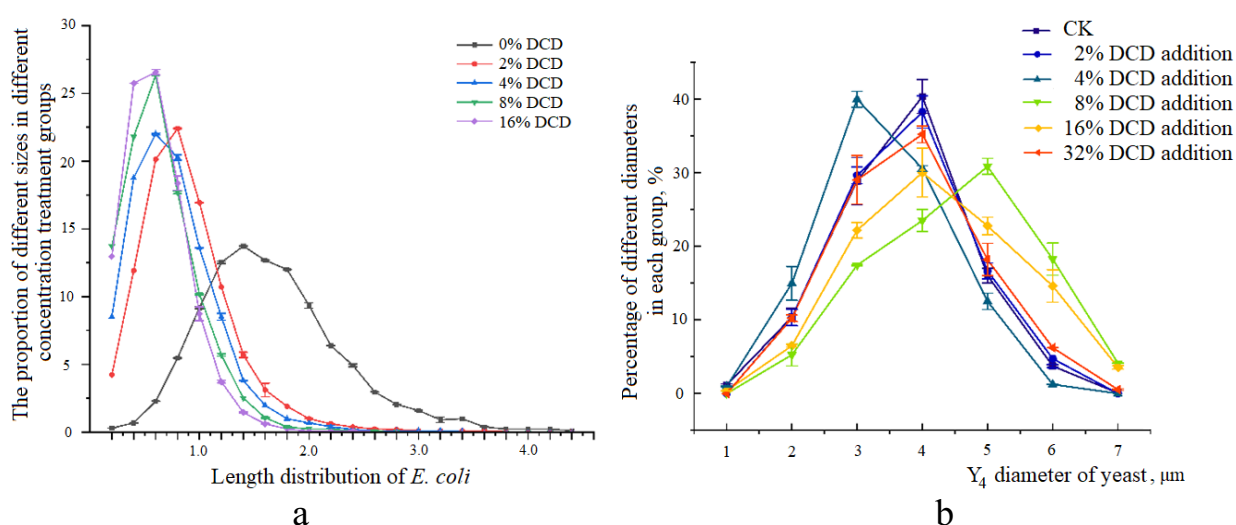


Fig. 1. The effect of different concentrations of DCD treatment on the size of *E. coli* (a) and red yeast Y4 (b)

In Fig. 2, the utilization of citrate by *E. coli* increased progressively with higher DCD concentrations, reaching 26.52% at 4%, 30.84% at 8%, 34.02% at 16%, and 72.54% at 32%, compared to the control ($R^2>0.97$). For α -ketoglutarate, utilization initially increased to 8.77% at 4% DCD but decreased significantly at higher concentrations (-25.88% at 8% and -38.03% at 32%), suggesting an optimal concentration range ($R^2>0.76$). Malate utilization showed a similar trend, increasing to 16.24% at 2% DCD and 21.6% at 4%, then declining to 44.89% at 8% and 48.98% at 32% DCD ($R^2>0.51$).

The metabolic rate of α -ketoglutarate in red yeast Y4 decreased with increasing DCD concentration, from 25.2% in the control to 19.9% at 16% DCD ($p<0.01$, confidence level 90.7%). Citrate metabolism also decreased, with the highest rate (18.7%) at 2% DCD and the lowest (11.4%) at 16% DCD, and the control group's rate was 37% higher than the 8% and 16% DCD groups ($p<0.01$, probability 54.1%). Malate metabolism decreased significantly from 33.3% in the control to 20.1% at 16% DCD ($p<0.05$, confidence level 80.1%).

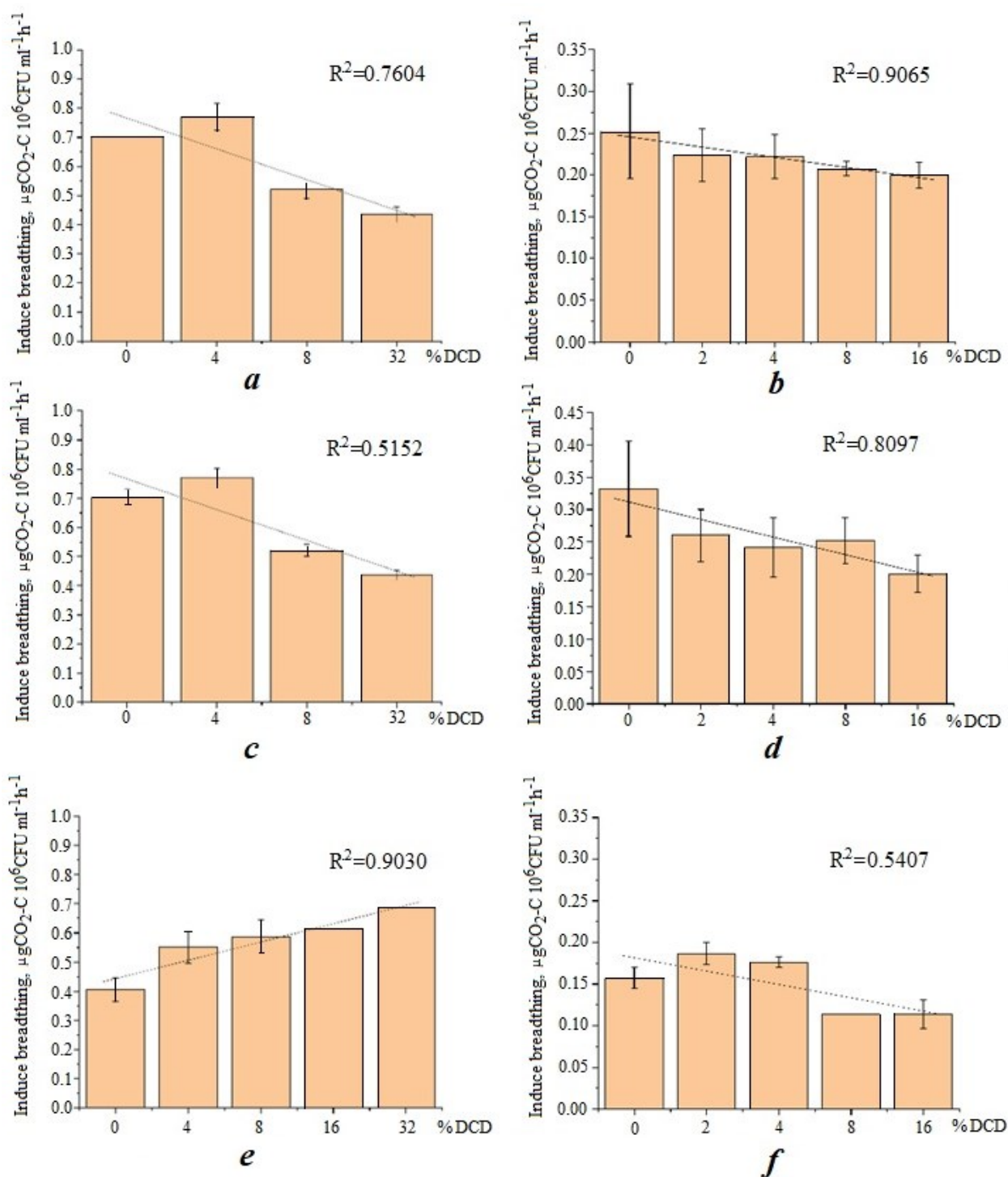


Fig 2. The induced respiration of ketoglutaric acid (a, b), malic acid (c, d), and citric acid (e, f) under different concentrations of DCD treatments by *E. coli* (a, c, e) and red yeast Y4 (b, d, f)

Nutrient-restricted environments may select for cell size. For example, single-celled organisms can adapt by adjusting their surface-to-volume ratio. Research on foraminifera fossils shows a positive correlation between individual size and oxygen concentration over 400 million years [5]. In this study, different concentrations of DCD significantly affected the size and length of *E. coli*. This aligns with previous findings that bacterial size is proportional to the product of growth rate

and time required for chromosomal events [6]. As a low-toxicity compound, DCD likely influences *E. coli* growth rate. In the experiment, treatment groups used dosages up to 8 times the recommended amount, resulting in relatively weak toxic effects on *E. coli*.

In the study, as DCD concentration increased, the proportion of red yeast Y4 individuals with diameters of 1–4 μm increased, while those with diameters of 5–7 μm decreased. But there may be no significant correlation between red yeast Y4 concentration and yeast size.

The TCA cycle is a key energy metabolism pathway, with intermediate products like citric acid, malic acid, and α -ketoglutaric acid providing energy for growth. DCD significantly inhibited the metabolism of *E. coli*, likely due to its guanidine groups, which disrupt normal metabolic processes [7]. Similarly, DCD inhibited the metabolism of red yeast Y4, possibly due to toxic effects of amino groups introduced by high DCD concentrations [8].

In summary, DCD inhibits the metabolic rates of malic acid, citric acid, and α -ketoglutaric acid in red yeast Y4 and affects the size and metabolic activities of *E. coli*. These effects are likely due to the presence of cyano- or guanidine groups in DCD. Future studies should explore the specific mechanisms of these inhibitory effects and investigate strategies to mitigate DCD's impact on non-target microorganisms.

Reference

1. Nitrification driven by bacteria and not archaea in nitrogen-rich grassland soils / H. J. Di, K. C. Cameron, J. P. Shen, et al. DOI: 10.1038/ngeo613 // Nature Geosci. 2009. Vol. 2. P. 621–624.
2. Tindaon F., Benckiser G., Ottow J. C. G. Side effects of nitrification inhibitors on non target microbial processes in soils. DOI: 10.5400/jts.2011.16.1.7 // J. Trop. Soils. 2011. Vol. 16. No. 1. P. 7–16.
3. Probing the binding properties of dicyandiamide with pepsin by spectroscopy and docking methods / Y. Yue, S. Zhao, J. Liu, et al. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.07.115 // Chemosphere. 2017. Vol. 185. P. 1056–1062.
4. Yu J., Steinberger Y. Soil microbial metabolic profiles in two geomorphological units in a semistable sand-dune ecosystem. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.10.005 // Soil Biol. Biochem. 2012. Vol. 45. P. 71–78.
5. Late paleozoic fusulinoidean gigantism driven by atmospheric hyperoxia / J. L. Payne, J. R. Groves, A. B. Jost, et al. DOI: 10.1111/j.1558-5646.2012.01626.x. // Evolution. 2012. Vol. 66. No. 9. P. 2929–2939.
6. Zheng H., Jiang M. General quantitative relations linking cell growth and the cell cycle in *Escherichia coli*. DOI: 10.1038/s41564-020-0717-x. // Nat. Microbiol. 2020. Vol. 5. No. 8. P. 995–1001.
7. Wilson S. B., Bonner W. D. Effects of guanidine inhibitors on mung bean mitochondria. DOI: 10.1104/pp.46.1.21 // Plant Physiol. 1970. Vol. 46. No. 1. P. 21–24.
8. NH_4^+ protects tomato plants against *Pseudomonas syringae* by activation of systemic acquired acclimation / E. Fernández-Crespo, L. Scalschi, E. Llorens, et al. DOI: 10.1093/jxb/erv382 // J. Exp. Bot. 2015. Vol. 66. No. 21. P. 6777–6790.

СЕКЦИЯ 10 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

БИОЛОГИЯ ИНВАЗИИ ГИГАНТСКОГО БОРЩЕВИКА НА СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЕ ВТОРИЧНОГО АРЕАЛА

И. В. Далькэ

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
г. Сыктывкар, Россия, dalke@ib.komisc.ru*

Представлены результаты изучения структуры ценопопуляций (ЦП) гигантских борщевиков (*Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier) в среднетаёжной подзоне Республики Коми. Продолжительность вегетации растений составляла 190 дней. Плотность ювенильных особей достигала 1700 шт./м², имматурных – до 7 шт./м², виргинильных – до 16 шт./м², генеративных – 1–3 шт./м². Растения приступали к цветению в возрасте от 2 до 6 полных лет. Основная часть ассимилирующей поверхности генеративных особей располагалась в верхних слоях и регулировала поступление световых ресурсов в приземную часть ЦП. Виргинильные особи поддерживали стабильную численность благодаря банку подземных почек возобновления и переходу молодых растений в состояние летнего покоя. Ежегодно в ЦП переходила к цветению небольшая часть особей, менее 0,5% от общей численности. Ветер обеспечивал перенос семян *H. mantegazzianum* на дистанции до 55 м, а ежегодный рост площадей ЦП составлял около 20%. Для эффективной ликвидации зарослей гигантских борщевиков предлагается формировать замещающие посевы, использовать укрывные светонепроницаемые материалы, промораживать почву за счет удаления снежного покрова при температуре воздуха ниже -25 °С, использовать химические методы (гербициды).

Ключевые слова: *Heracleum mantegazzianum*, ценопопуляция, онтогенетический спектр, морфоструктура, скорость инвазии, методы борьбы, гербициды.

В настоящее время широко обсуждается глобальная инвазия растений рода *Heracleum*, в частности борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) и борщевика Мантегацци (*Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier [1]. В среднетаёжной зоне Республики Коми гигантские борщевики встречаются вдоль дорог, в черте населенных пунктов, на залежах. Доминируя в составе растительных сообществ, борщевики характеризуются регулярным возобновлением и расселением, хорошо восстанавливают заросли после механических повреждений. Учитывая интенсивное вторжение, изуче-

ние инвазионного потенциала борщевиков является актуальным, в том числе для разработки эффективных мер регуляции их численности.

Исследования проводили в среднетаежной подзоне, в окрестностях г. Сыктывкара. Опытные участки были заняты злаково-разнотравными сообществами с доминированием гигантских борщевиков. Ценопопуляции (ЦП) борщевиков описывали с использованием фенотипических и функциональных характеристик. Результаты наших исследований позволяют считать растения, называемые *H. sosnowskyi* (произрастающие в границах вторичного ареала), синонимом *H. mantegazzianum* [2]. Здесь и далее *H. sosnowskyi* упоминается как *H. mantegazzianum*.

Наблюдения за ритмом сезонного развития растений показали, что в условиях подзоны средней тайги продолжительность вегетации *H. mantegazzianum* достигает полугода. Это связано с ранними сроками весеннего отрастания и продолжительной вегетацией прегенеративных особей осенью, что является весомым преимуществом при внедрении инвайдера в фитоценозы. Анализ климатических данных позволил установить, что на северной границе вторичного ареала инвазионных борщевиков минимальная сумма активных температур $>5^{\circ}\text{C}$, необходимая для их роста и развития, составляла 1150°C [3].

Плотность ювенильных особей в ЦП *H. mantegazzianum* достигала 1700 шт./м^2 , имматурных до 7 шт./м^2 , виргинильных до 16 шт./м^2 , генеративных от 1 до 3 шт./м^2 . Основная часть (95%) ювенильных особей была представлены растениями в возрасте одного года жизни. Остальные онтогенетические группы в составе ЦП включали растения в возрасте от 1 до 7 лет. Средний календарный возраст генеративных особей составил 3 года. В период цветения растений (июнь-июль) в структуре ЦП отсутствовали жизнеспособные семена и проростки, что связано с длительным периодом зимней стратификации и дружным прорастания семян весной.

На границе вторичного ареала растения *H. mantegazzianum* отличались значительным габитусом и продуктивностью, формировали сообщества с низким обилием других травянистых растений. Максимальное накопление фитомассы (15 кг сыр./м^2) наблюдали к середине вегетационного сезона. В период цветения – начала плодоношения на долю генеративных особей приходилось более 60% от общей фитомассы. Прегенеративные особи формировали третью часть общей массы растений в ценопопуляциях.

Растения *H. mantegazzianum* мы относим к геофитам [4]: его каудекс с терминальной зимующей почкой возобновления погружается в почву на глубину 10–20 см. С увеличением календарного возраста и размеров растений отмечено значительное погружение каудекса и почек возобновления в почву, что обусловлено развитием контрактильных корней. Такая жизненная стратегия защищает почки возобновления инвазионных борщевиков от механических повреждений и вымерзания.

Ритм развития растений и их морфологическая структура определяли архитектуру сообществ с доминированием *H. mantegazzianum*. Растения

характеризовались вертикальным распределением ассимиляционной поверхности (по типу «перевернутой пирамиды») [4]. Отличительной особенностью размещения их листового аппарата было значительное увеличение площади ассимиляционной поверхности в вертикальном профиле. По сравнению с другими типами архитектуры растительного покрова, «перевернутая пирамида» обеспечивает более высокий уровень суточный фиксации CO_2 растительным сообществом с сохранением оптимального листового индекса. Для изученных ЦП *H. mantegazzianum* листовой индекс составлял около 5.

Листья растений *H. mantegazzianum* характеризовались диффузным распределением, что обеспечивало эффективное поглощение солнечной радиации. Основная часть ассимилирующей поверхности генеративных особей располагалась в верхних слоях и поглощала 70% поступающей ФАР. Затенение приземного слоя является одним из ведущих механизмов средообразующего воздействия растений *H. mantegazzianum* при их внедрении в аборигенные растительные сообщества [4]. Обитающие в приземном слое особи *H. mantegazzianum* адаптировались к сильному затенению благодаря снижению удельной поверхностной плотности листьев, увеличению содержания хлорофиллов в составе светособирающего комплекса пигментов фотосинтетического аппарата, повышению эффективности использования света низкой интенсивности [5].

В августе-сентябре отмирание листьев генеративных особей приводило к увеличению до 50% светового довольствия в среднем и приземном слоях ЦП *H. mantegazzianum*. Вегетативные особи сохраняли листовую поверхность дольше генеративных растений, вплоть до октября. Таким образом, в начале и в конце вегетации растения *H. mantegazzianum* из приземного и среднего слоев получали на порядок больше световой энергии, чем летом, в условиях сильного затенения листьями генеративных особей.

Растения *H. mantegazzianum* сохраняют жизнеспособность и обеспечивают регулярную структуру ЦП в непредсказуемых условиях, используя стратегию «биологического хеджирования ставок». Ежегодно к цветению переходит небольшая часть борщевиков (менее 0,5% от общей численности ЦП), а в неблагоприятных условиях цветение особей может быть отложено на срок до 6 лет. ЦП поддерживает высокую численность виргинильных особей благодаря банку подземных почек возобновления и способности ювенильных растений уходить в состояние летнего покоя [6].

На основе эмпирических данных и разработанной модели нами была доказана значимость анемохории для переноса семян гигантских борщевиков на дальние (до 55 м) дистанции [7]. При использовании только ветра в качестве агента для переноса семян резкое увеличение площади зарослей борщевиков происходит примерно на 20-й год. Согласно спутниковым изображениям модельных участков относительная скорость роста площади зарослей *H. mantegazzianum* составляла 20% в год (медианное значение) [8].

Учитывая биологические особенности *H. mantegazzianum*, наиболее эффективными методами ликвидации растений являются: формирование за-

мещающих посевов после механизированной вспашки и дискования зарослей борщевиков; применение укрывных светонепроницаемых материалов (черная пленка, геополотно) с последующим посевом травосмесей; промораживание растений *H. mantegazzianum* в зимний период за счет удаления снежного покрова при температуре ниже -25 °С; использование гербицидов.

Для эффективного применения гербицидов на основе глифосата можно рекомендовать обрабатывать ЦП *H. mantegazzianum* один раз в течение вегетации. В первый год следует использовать гербициды не ранее массового достижения высоты зарослей около 0,5 м. Таким образом, за один прием удастся обработать практически все растения старше 2-х лет жизни и части всходов. Молодые особи, появившиеся после уничтожения взрослых растений, считаем целесообразным оставить без обработки гербицидами, так как растения первого года жизни не успевают сформировать генеративные побеги и дать семена. Вторую сплошную обработку зарослей следует проводить на следующий год, также при достижении растениями высоты около 0,5 м. После проведения первой и второй сплошной обработки может потребоваться точечная повторная обработка для уничтожения пропущенных (выживших) растений. Для этого следует проводить регулярные наблюдения за их отращиванием.

Работа выполнена в рамках НИОКТР «Физиологические и молекулярные механизмы интеграции клеточных процессов и целостности растительного организма: фотосинтез и дыхание» (№ 1022041300212-2-1.6.11).

Библиографический список

1. Grzędzicka E. Invasion of the giant hogweed and the Sosnowsky's hogweed as a multi-disciplinary problem with unknown future – a review. DOI: 10.3390/earth3010018 // Earth. 2022. Vol. 3. No. 1. P. 287–312.
- 2., Молекулярно-генетические исследования *Heracleum sosnowskyi* Manden. и *Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier (Apiaceae) европейской части России / Д. М. Шадрин, И. В. Далькэ, И. Г. Захожий и др. DOI: 10.35885/1996-1499-17-2-153-171 // Российский журнал биологических инвазий. 2024. № 2. С. 153–171.
3. 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. № 1. С. 55–70.
- 4., Structure of cenopopulations of *Heracleum sosnowskyi* and mechanisms for maintaining their stability under the north conditions / I. V. Dalke, S. P. Maslova, I. G. Zakhozhiy, et al. DOI: 10.1134/S1067413624020024 // Russian Journal of Ecology. 2024. Vol. 55. No. 2. P. 79–88.
5. Traits of *Heracleum sosnowskyi* plants in monostand on invaded area / I. V. Dalke, I. F. Chadin, I. G. Zakhozhiy, et al. DOI: 10.1371/journal.pone.0142833 // PLoS ONE. 2015. Vol. 10. No. 11. Article No. e0142833.
6. Стратегия «биологического хеджирования ставок» в ценопопуляциях *Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier (Apiaceae) на европейском северо-востоке России / И. В. Далькэ, Р. В. Малышев, И. Г. Захожий, И. Ф. Чадин.

DOI: 10.31857/S0044459624060031 // Журнал общей биологии. 2024. Т. 85. № 6. С. 460–473.

7. A simple mechanistic model of the invasive species *Heracleum sosnowskyi* propagule dispersal by wind / I. Chadin, I. Dalke, D. Tishin, et al. DOI: 10.7717/peerj.11821 // PeerJ. 2021. Vol. 9. Article No. e11821.

8. Далькэ И. В., Чадин И. Ф. Моделирование скорости увеличения площади ценопопуляций *Heracleum sosnowskyi* Manden. и *Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier. DOI: 10.35885/1996-1499-16-3-30-47 // Российский журнал биологических инвазий. 2023. № 3. С. 30–47.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАДИАЛЬНОГО РОСТА ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ НА ТЕРРИТОРИИ БАЙКАЛЬСКОГО ЗАПОВЕДНИКА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

С. М. Гусев

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань, Россия, smgusev@kai.ru*

В работе рассматриваются закономерности годового радиального роста лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в условиях изменяющегося климата. Проведен анализ влияния температуры и осадков на рост деревьев, а также выявлены взаимосвязи между климатическими изменениями и динамикой роста лиственницы.

Ключевые слова: лиственница сибирская, радиальный рост, климатические изменения, Байкальский заповедник, дендрохронология.

Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) является важным индикатором экосистемных изменений в условиях глобального потепления. Ее радиальный рост зависит от климатических факторов, таких как температура и количество осадков. Цель данной работы заключается в анализе и выявлении закономерностей годового радиального роста лиственницы сибирской. Исследование направлено на понимание влияния климатических факторов, таких как температура и количество осадков, на радиальный прирост этого хвойного вида, а также на выявление взаимосвязей между изменениями климата и ростом деревьев в условиях охраняемой природной территории, где антропогенное воздействие минимально.

Исследование проводилось на территории Байкальского государственного природного биосферного заповедника. Использовались керны деревьев, собранные с двух пробных площадок (табл.), а также данные о температуре и осадках. Размер каждой пробной площади 20 x 20 м. Образцы древесины отбирались перпендикулярно продольной оси ствола дерева на высоте 1,0–1,3 м от поверхности земли в соответствии с методикой [1].

Данные пробных площадок

ID, площадка	Координаты площадки отбора кернов	Высота рельефа над уровнем моря, м	Название сообщества	Макросклон
165	N 51,23 E 105,45123	849	Лиственнично-сосновый с берёзой шиповниковый разнотравно-брусничный лес	Южный
169	N 51,19748 E 105,32373	895	Лиственнично-сосновый с примесью берёзы, ели и тополя лес с подростом берёзы и сосны, кустарниками хвощово-грушанково-разнотравный лес	Южный

Перед построением индивидуальных хронологий радиального прироста были усреднены измерения кернов, относящихся к одному дереву. В итоговый массив данных вошли хронологии, представляющие либо единичные измерения, либо средние значения нескольких кернов. Образцы с низкой корреляцией исключались из анализа из-за наличия ложных колец и трудностей их датировки. Для устранения возрастного тренда использовался метод сплайн-функции.

На основе обработанных данных были построены обобщенные хронологии лиственницы сибирской. Взаимосвязь радиального прироста с климатическими условиями анализировалась с помощью корреляционного анализа. Данные о среднемесячных температурах и осадках были получены с портала «Погода и климат» [2]. Для южного макросклона хребта Хамар-Дабан использовались данные метеостанций Петропавловка и Новоселенгинск. Климат северного склона характеризуется значительным количеством осадков благодаря влиянию озера Байкал, тогда как южный склон отличается более засушливыми условиями и резко континентальным климатом.

Для анализа данных применялся пакет dplR [3] в среде R (<https://www.R-project.org/>).

Были построены индивидуальные хронологии радиального прироста. На площадке № 169 зарегистрированы короткие хронологии, что свидетельствует о молодом возрасте деревьев, тогда как на площадке №165 хронологии оказались длиннее, указывая на присутствие более старых деревьев.

На основе индексов прироста были созданы обобщенные хронологии. Эти хронологии рассчитывались как средние значения индексов радиального прироста для каждой площадки (рис. 1).

Следующим этапом исследования стало изучение связи между радиальным приростом деревьев и климатическими параметрами. Для анализа использовались данные о среднемесячных температурах и осадках за предыдущий (с мая по декабрь) и текущий годы (с января по октябрь). Также учи-

ывались годовые суммы осадков и средние годовые температуры обоих периодов.

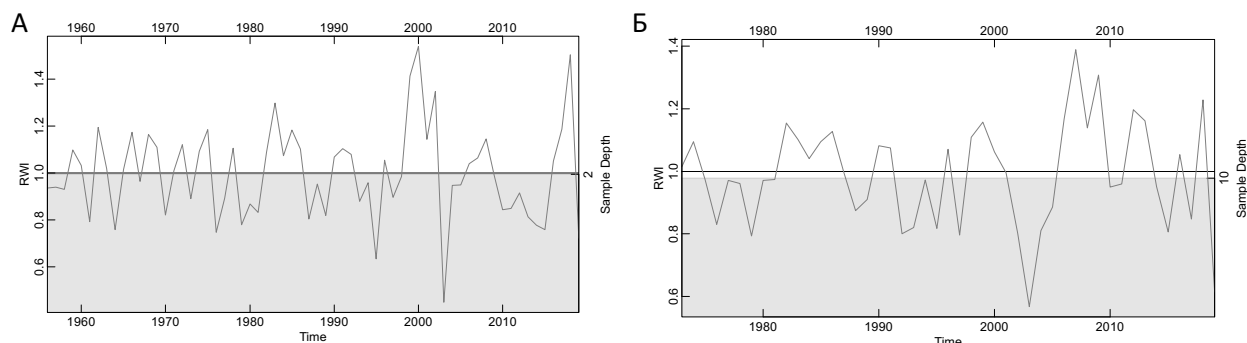


Рис. 1. Обобщенные хронологии: А – 165 площадка; Б – 169 площадка

Для площадки № 165 выявлена корреляция между радиальным приростом и осадками текущего года (рис. 2).

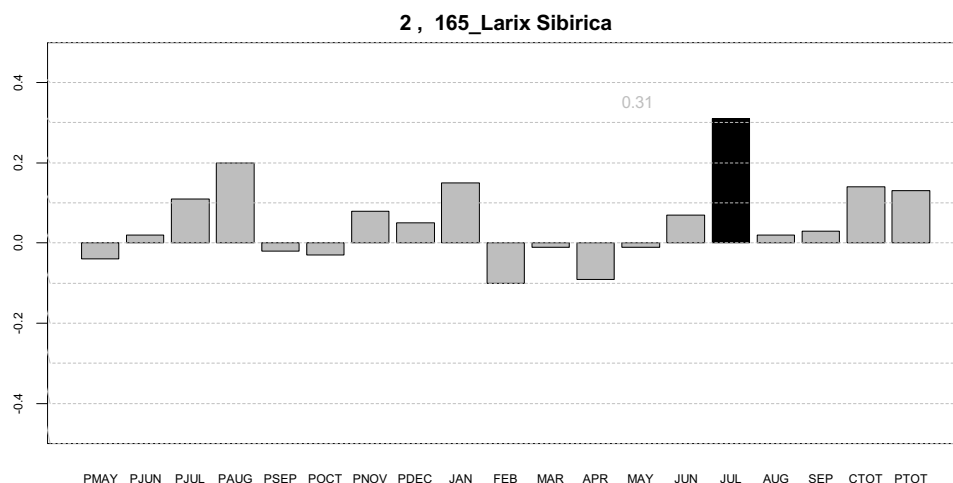


Рис. 2. Корреляции хронологий радиального прироста с осадками для лиственницы сибирской, 165 площадка

Рост деревьев тесно связан с уровнем почвенной влаги, особенно в начале вегетационного периода, когда почва насыщается влагой благодаря снеготаянию. Климатические данные показывают, что южный макросклон хребта Хамар-Дабан отличается более засушливыми условиями. Метеостанции Новоселенгинск и Петропавловка фиксируют низкое количество осадков, что создает благоприятные условия для роста таких засухоустойчивых видов, как и лиственница сибирская.

Количество июльских осадков оказывается достаточным для поддержания роста лиственницы сибирской, поскольку чрезмерное увлажнение неблагоприятно для этого хвойного вида. Выявленные особенности подчеркивают необходимость мониторинга климатических изменений и разработки стратегий адаптации лесных экосистем к изменяющимся условиям.

Библиографический список

1. Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации / С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов, А. В. Кирдянов и др. // Красноярск : КрасГУ, 2000. 80 с.
2. Погода и климат [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 20.02.2025).
3. Bunn A., Korpela M. dplR: Dendrochronology Program Library in R. DOI: 10.1016/j.dendro.2008.01.002// Dendrochronologia. 2008. No. 26. P. 115–124.

О ЦВЕТОРАСПОЛОЖЕНИИ *SANGUISORBA OFFICINALIS* L. (ROSACEAE JUSS.)

Ю. А. Шалагинова, С. В. Шабалкина

Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

В статье описана структура синфлоресценций *Sanguisorba officinalis* L. Установлено, что флоральные единицы – головки – образуют совокупности в виде кисти и метелки. Кисти из головок встречаются в 6% случаев и включают 2–5 метамеров. Метелка из головок – наиболее распространенный вариант синфлоресценций, состоит из 3–8 метамеров с 3–15 головками.

Ключевые слова: метамер, паракладий, побег, синфлоресценция, цветение, флоральная единица.

Sanguisorba officinalis L. (кровохлебка лекарственная) – достаточно полно и подробно изучаемый, особенно в химическом и фармакологическом отношениях, представитель семейства Rosaceae Juss.: растение обладает широким спектром действия, содержит богатый набор биологически активных веществ, его подземные органы являются официальным сырьём, надземные органы применяются в народной медицине и перспективны в качестве нефармакопейного сырья [1, 2 и др.]. Биоморфологическим, ценопопуляционным и эколого-ценотическим особенностям [3, 4 и др.] уделяется меньше внимания, однако изучение этих вопросов важно с позиций рационального использования растительных ресурсов и сохранения биологического разнообразия, и должно учитываться при планировании сборов и заготовке сырья. Это исследование посвящено структурной организации синфлоресценций *Sanguisorba officinalis*.

Материалом для изучения стали целостные побеговые системы и боковые вегетативно-генеративные побеги, собранные в 2024 г. в окрестностях г. Кирова на пойменном разнотравно-злаковом луге. Совместно с кровохлебкой лекарственной произрастают *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Trifolium medium* L., *Viola canina* L., *Agrostis tenuis* Sibth., *Festuca pratensis* Huds., *Galium mollugo* L., *Galium boreale* L., *Lysimachia nummularia* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Inula salicina* L. и др. Всего проанализировано 50 синфлоресценций – это вся совокупность цвето-

носных осей годичного побега, которая включает главную ось с верхушечной флоральной единицей (ФЕ) и все параклади. Основной метод исследования – сравнительно-морфологический.

Sanguisorba officinalis – травянистый поликарпик, развивающийся по моноподиальной розеточной модели побегообразования. Побеговая система образована двумя типами побегов: многолетними вегетативными розеточными с листьями срединной формации и боковыми удлиненными вегетативно-генеративными [5, 6]. Последние отличаются длиной, числом метамеров и особенностями цветорасположения.

Анализ синфлоресценций показал, что она сложная, фрондулёзная, ветвится до третьего порядка. Флоральная единица, структура которой детерминирована, мало подвержена изменениям под влиянием внешних условий и является характеристикой таксономической группы, у *Sanguisorba officinalis* – открытая брактеозная головка, цветки в которой распускаются базипетально [7]. Головка венчает верхушки главного побега и боковых осей.

При сочетании ФЕ образуются различные варианты совокупностей цветоносных осей. В состав метамеров входят верховые листья, которые отличаются от листьев срединной формации размерами, числом и формой листочков. Они фотосинтезирующие, сложные, короткочерешковые или сидячие, с прилистниками, одно-двулисточковые, форма листочков изменяется от яйцевидной до ланцетной и линейной.

В результате анализа цветорасположения выявили несколько вариантов синфлоресценций. Первый, встречающийся редко (в 6% случаев), имеет вид кисти из головок (рис. 1). Она образована 2–5 метамерами и представлена главной осью, которая заканчивается верхушечной ФЕ, и боковыми осями без стерильных листьев с единичными головками. Количество головок варьирует от 2 до 5.

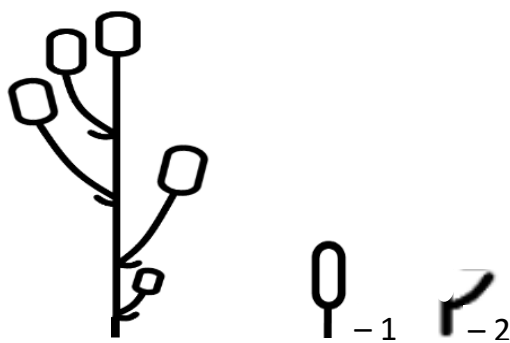


Рис. 1. Схема синфлоресценции в виде кисти из головок у *Sanguisorba officinalis*:

1 – головка; 2 – метамер с ассимилирующим верховым листом

Наиболее распространенный тип – это метелка из головок, которая образована 3–8 метамерами (рис. 2). Общее число ФЕ в синфлоресценции варьирует от 3 до 15, при этом чаще всего встречаются совокупности с 7 (13,6%), 9 (18,2%) и 10 (15,9%) головками.

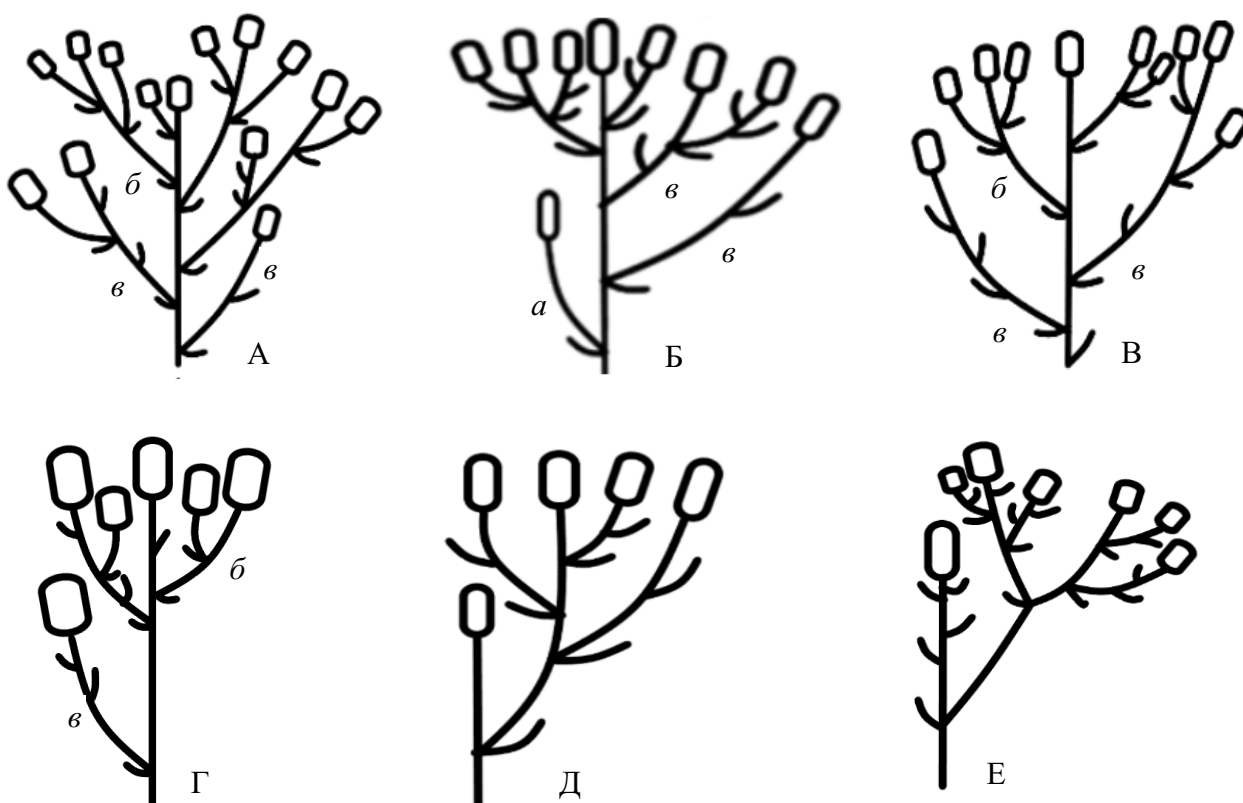


Рис. 2. Схемы синфлоресценций *Sanguisorba officinalis*:

А, Б, В, Г – варианты метелок из головок; Д – в виде симподия;
 Е – со вставочными ассимилирующими листьями под верхушечной
 флоральной единицей; а – боковая ось с одной головкой; б – боковая ось
 в виде кисти из головок; в – варианты паракладиев с одной–несколькими
 головками и стерильным (-и) листом (-ьями)

Довольно вариабельны метамеры по строению боковых осей, которые располагаются под верхушечной ФЕ. Ниже приведем их набор сверху вниз.

Под терминальной ФЕ, представленной головкой, расположены метамеры с осями $n+1$ -го порядка, имеющими следующее строение:

- длинное междоузлие, узел с листом и боковой осью с одной ФЕ, в виде кисти из двух–трех головок, паракладия с одной головкой и одним–двумя стерильными листьями, с двумя–тремя головками и одним стерильным листом, без пазушной цветоносной оси;

- ниже – метамер с длинным междоузлием, узел с листом и пазушной осью с одной ФЕ, в виде кисти из двух–трех головок, паракладия с одной головкой и одним–четырьмя стерильными листьями, с двумя–тремя головками и одним стерильным листом, из шести головок, без бокового цветоносного побега. Также есть метамеры с коротким междоузлием, узлом с паракладием с одной головкой и двумя стерильными листьями, кистью из двух–трех головок в пазухе;

- третий метамер от вершины имеет короткое междоузлие, узел с листом и боковой осью в виде кисти из трех головок – это единично встречающийся вариант. Чаше отмечены метамеры с длинным междоузлием, узлом с

листом и пазушным побегом с головкой, в виде кисти из двух–пяти головок, паракладия из одной головки и двух–четырех стерильных листьев, из двух–трех головок и одного стерильного листа, из четырех–пяти головок, без цветоноса;

– четвертый метамер от верхушки характеризуется длинным междоузлем, узлом с листом, пазушным безлистным побегом с головкой, кистью из двух–трех головок, паракладиями с двумя–тремя головками и одним–тремя стерильным листом, с одной головкой и одним–тремя стерильными листьями, с четырьмя головками и одним стерильным листом, без бокового побега;

– следующий метамер имеет длинное междоузлие, узел с листом и боковой осью с одной ФЕ, с кистью из двух–трех и шести головок, паракладия из двух головок и одного стерильного листа, из одной головки и двух–пяти стерильных листьев, из трех головок;

– ниже – метамер с длинным междоузлем, узлом с листом и безлистной пазушной осью с головкой, паракладием с одиночной головкой и одним стерильным листом;

– седьмой метамер от верхушки представлен длинным междоузлем, узлом с листом и паракладием с одиночной головкой и тремя стерильными листьями.

Таким образом, в составе синфлоресценций в виде метелок из головок метамеры имеют преимущественно длинное междоузлие, оси $n+1$ -го порядка – это безлистные с одной ФЕ, кисти из разного числа головок или паракладии со стерильными листьями.

Иногда боковые оси перерастают верхушечную ФЕ, напоминая по внешнему виду монохазий или дихазий. Такие оси представлены безлистными побегами с одиночными головками, или целостными соцветиями в виде кистей из головок или паракладиев.

Особняком выделяется синфлоресценция, у которой боковой побег поднимается в рост и перевершинивает главную ось. Отличается от ранее описанных совокупностей цветоносных осей тем, что под верхушечной ФЕ располагаются четыре метамера со вставочными листьями (терм.: Troll [8]) без пазушных цветоносов (рис. 2, Е). Такое явление отмечается нередко и описано у других представителей Rosaceae [8]. Встречаемость этого варианта соцветий у кровохлебки лекарственной составляет 2%.

Известно, что *Sanguisorba officinalis*, произрастая на различных лугах, слабо конкурирует с рыхлокустовыми и корневищно-рыхлокустовыми злаками, отличается слабым семенным возобновлением [7], малоизменчивыми особенностями побегообразования и достаточно стабильной структурой побеговых систем. Вероятно, за счет структурного разнообразия и степени ветвления синфлоресценций, довольно большого количества головок в них частично компенсируется подавленность воспроизведения. По всей видимости, существуют и другие варианты совокупностей цветоносных осей, которые нами не описаны.

Библиографический список

1. Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Sanguisorba officinalis* L. Extracts // A. Gawron-Gzella, E. Witkowska-Banaszczak, W. Bylka, et al. DOI: 10.1007/s11094-016-1431-0 // Pharm. Chem. J. 2016. Vol. 50. No. 4. P. 244–249.
2. Буданцев А. Л., Беленовская Л. М., Битюкова Н. В. Успехи в изучении компонентного состава и биологической активности *Sanguisorba officinalis* (Rosaceae). DOI: 10.1134/S0033994619030051 // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55. № 3. С. 293–316.
3. Кровохлебковые пойменные луга на евросибирском долготном градиенте / И. Б. Кучеров, К. В. Щукина, И. В. Татаренко и др. DOI: 10.31857/S0006813620120133 // Ботанический журнал. 2020. Т. 105. № 12. С. 1169–1190.
4. Дубровная С. А., Хуснетдинова Л. З., Тимофеева О. А. Особенность формирования онтогенетической структуры ценопопуляции и семенная продуктивность *Sanguisorba officinalis* в условиях лесной и лесостепной растительности Среднего Поволжья. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-1 // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19. № 1. С. 8–17.
5. Ермакова Е. М., Зайцева Г. А. Кровохлебка лекарственная // Биол. флора Московской области. Вып. 9. Ч. 2 / Под ред. В. Н. Павлова, В. Н. Тихомирова. М. : Изд-во МГУ, 1993. С. 39–70.
6. Савиных Н. П., Шабалкина С. В., Пересторонина О. Н. Структурная организация *Sanguisorba officinalis* // Ботаника в современном мире : труды XIV Съезда Русского ботанического общества и конф. «Ботаника в современном мире» (г. Махачкала, 18–23 июня 2018 г.). Т. 3. Махачкала: АЛЕФ, 2018. С. 205–207.
7. Кузнецова Т. В., Пряхина Н. И., Яковлев Г. П. Соцветия. Морфологическая классификация. СПб.: Химико-фармацевтический институт, 1992. 128 с.
8. Troll W. Die Infloreszenzen. I Band. Jena : Fischer Verlag, 1964. 615 s.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ *CORTUSA MATTHIOLI* L. В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. А. Домнина^{1,2}, Е. В. Рябова¹, Л. Г. Целищева³

¹ Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
ecolab2@gmail.com,

² Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия,

³ Кировский городской зоологический музей, г. Киров, Россия

Изучено состояние двух ценопопуляций (ЦП) кортузы Маттиоли, занесёной в Красную книгу Кировской области. Отмечено, что ЦП, произрастающие в окрестностях с. Кстинино Кирово-Чепецкого района и вблизи профилактория «Авитек» г. Кирова нормальные, неполночленные. Большинство особей ЦП находится в прегенеративном онтогенетическом состоянии. Генеративные особи плодоносят.

Ключевые слова: кортуза Маттиоли, ценопопуляция, Красная книга.

Кортуза Маттиоли (*Cortusa matthioli* L.) из семейства Primulaceae занесена в Красную книгу Кировской области [1], II категория – вид, численность которого быстро сокращается. Бореальный вид вблизи южной границы ареа-

ла. Относится к многолетним короткокорневищным растениям. Цветёт в мае. Плодоносит в июне. Размножается семенами. Благодаря интенсивному семенному возобновлению и быстрому разрастанию образует густые заросли [1].

Гигромезофит. Растёт в тенистых хвойных, смешанных и лиственных лесах. В области произрастает в ельниках приручьевых, ельниках склоновых с близким залеганием известняков и выходами грунтовых вод, во влажных травяных елово-пихтовых лесах.

Ареал вида включает лесные области Европы, Северного Китая, Монголии, России и стран ближнего зарубежья.

В Кировской области ценопопуляции (ЦП) *C. matthioli* обнаружены в северной части г. Кирова (Филейская популяция), в Афанасьевском, Зуевском и Кирово-Чепецком районах (окрестности с. Кстинино).

Нами изучены ЦП в окрестностях с. Кстинино и в черте г. Кирова. Была проведена оценка местообитаний растения, подсчитано число особей. У каждой особи определён возрастной период (прегенеративный, генеративный, постгенеративный), онтогенетические состояния по методике Т. А. Работнова [2], А. А. Уранова [3].

В Кирово-Чепецком районе *C. matthioli* произрастает в глубине лесного массива по берегам небольшого ручья полосой 5–7 м рассеянно и небольшими группами. Микрорельеф представлен кочками, старыми руслами ручья. Почва болотная, торфяно-перегнойная на породах легкого механического состава, возможно подстилаемого на глубине 100 см карбонатными породами. Уровень грунтовых вод – 25 см [4].

Состав древостоя 6Е4Ол+Лс. Сомкнутость крон 0,7–0,8. Возраст ели финской (*Picea × fennica* (Regel)) 50–90 лет, бонитет IV–V, высота 25 м. Возобновление представлено елью, ольхой серой (*Alnus incana* (L.) Moench), березой пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.). В подлеске – рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), черёмуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), жимолость лесная (*Lonicera xylosteum* L.).

Травяно-кустарничковый ярус очень мозаичен. Участки голой торфянистой почвы сочетаются с редкими зарослями *C. matthioli* [5] и влаголюбивыми теневыносливыми видами, такими как сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), копытень европейский (*Asarum europaeum* L.), кислица заячья (*Oxalis acetosella* L.).

Мохово-лишайниковый ярус не развит. Единичны пятна атриха волнистого (*Atrichum polisetum* Sw.), мниума волнистого (*Mnium undulatum* Hedw.), климация древовидного (*Climacium dendroides* (Hedw.) Web. et Mohr).

Площадь ЦП 800 м². Общее число особей составляет 241. В ЦП обнаружены особи следующих онтогенетических состояний: ювенильные (11%), прегенеративные (имматурные и виргинильные в совокупности) составили 82%, генеративные – 7%. Наибольшее число особей находится в прегенеративном состоянии. Растения на период наблюдения находились в фазах веге-

тации, цветения и плодоношения. Локусы от 2 до 5 м². Проективное покрытие 5–10%, обилие – рассеянно.

В целом ЦП *C. matthioli* нормальная, неполночленная. Существование популяции обусловлено границами фитоценоза.

На территории г. Кирова ЦП *C. matthioli* расположена в пределах Филейского оврага вблизи профилактория «Авитек». Особи произрастают рассеянно и двумя крупными локусами по 6 м² и 13 м² в нижней части склона вдоль берега безымянного ручья.

Микрорельеф представлен руслом ручья, его протоками, небольшими возвышениями из-за наплывов грунта во время разлива воды. Почва заболоченная, глинистая. Уровень грунтовых вод высокий, создающий практически постоянное в течение лета увлажнение грунта за счет выхода сильноминерализованного (известковый туф) источника.

ЦП *C. matthioli* находится в обильных зарослях борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.). Травяно-кустарничковый ярус изрежен, мозаичен, представлен бодяком огородным (*Cirsium oleraceum* (L.) Scop.), *Filipendula ulmaria*, *Aegopodium podagraria*.

Мохово-лишайниковый ярус хорошо развит и образован *Atrichum polisetum*, *Mnium undulatum*, *Climacium dendroides*.

Общая площадь изученной ЦП – 400 м². ЦП многочисленная. За период исследования с 2020 г. имеет тенденцию к сокращению числа побегов. Динамика численности по годам: 2020 г. – 551, 2021 г. – 325, 2022 г. – 171, 2023 г. – 257, 2024 г. – 198 растений. На момент наблюдения в 2024 г. было выявлено 27% – ювенильных, 15% – имматурных, 7% – виргинильных, 21% – молодых генеративных, 18% – зрелых генеративных растений. У растений отмечена фаза вегетации, цветения и плодоношения. Проективное покрытие – 30%. Обилие – достаточно обильно.

В целом, изученная ЦП *C. matthioli* нормальная, неполночленная, однако численность ее стабильно снижается, что связано с изменением гидрологического режима территории (выше по ручью установили купель). *Heracleum sosnowskyi*, как мощный конкурент, блокирует рост других травянистых растений. Под его крупными листьями *C. matthioli* защищена от солнечных лучей, имеет хорошую жизненность, цветет, плодоносит. Семена успешно прорастают, что подтверждается большим числом экземпляров прегенеративного возрастного периода.

В Кировской области растение встречается в непосредственной близости от ручьёв (Филейская популяция) или в поймах небольших рек (окрестности с. Кстинино).

На динамику численности ЦП оказывает изменение гидрологического режима (естественное и в результате антропогенной деятельности), температуры, мест произрастания.

Библиографический список

1. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы / под ред. О. Г. Барановой и др. Киров : Кировская областная типография, 2014. 336 с.
2. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Труды БИН РАН СССР: Сер. 3 Геоботаника. М.; Л., 1950. Вып. 6. С. 77–204.
3. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биол. науки. 1975. № 2. С. 7–35.
4. Прокашев А. М., Целищева Л. Г. Экология и свойства болотно-подзолистых почв Кстининского стационара // Региональные и муниципальные проблемы природопользования : материалы 4-й Межрегиональной науч.-практ. конф. К.-Чепецк, 1996. С. 101–102.
5. Целищева Л. Г., Прокашев А. М., Тарасова Е. М. Биогеоценотическая оценка южно-таежных ельников приречных // Тез. докл. 2-й Российской университетско-академической науч.-практ. конф. Ч. II. Ижевск : ИГПУ, 1995. С. 24–25.

ДИНАМИКА ЦЕНОПОПУЛЯЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ *EPIPACTIS PALUSTRIS* (L.) CRANTZ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В ТЕХНОГЕННОМ МЕСТООБИТАНИИ

М. А. Глазырина, Е. И. Филимонова, Н. В. Лукина, А. А. Кордюк

Уральский федеральный университет
имени первого Президента Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия, Margarita.Glazyrina@urfu.ru

В статье представлена динамика ценопопуляционных показателей *Epipactis palustris* (L.) Crantz в техногенном местообитании, при изменении фитоценотических и экологических условий. Показано, что с 2017 по 2022 гг. наблюдается снижение численности, плотности рамет и смена онтогенетического состава ценопопуляции. Отмечено снижение высоты, числа листьев и доли развитых цветков у генеративных рамет *E. palustris*.

Ключевые слова: *Epipactis palustris*, техногенное местообитание, ценопопуляция, уязвимый вид, золоотвал.

Одной из важнейших задач современного мира является сохранение биологического разнообразия, на основе которого создается структурная и функциональная организация биосферы и составляющих ее экосистем. Изменения естественной среды обитания приводят к исчезновению многих видов, в том числе ряда представителей орхидей. В то же время в последние десятилетия некоторые виды редких орхидей обнаружены в антропогенно нарушенных местообитаниях, в том числе на промышленных отвалах [1].

На золоотвале Нижнетуринской ГРЭС (НТГРЭС) в 2016 г. сотрудниками лаборатории антропогенной динамики экосистем Уральского федерального университета обнаружено новое для Свердловской области местообитание уязвимого вида – *Epipactis palustris* (L.) Crantz (дремлика болотного), включенного в региональную Красную книгу [2, 3]. В 2017 г. выполнены первые ценопопуляционные исследования данного вида. *E. palustris* (сем.

Orchidaceae Juss.) – это евразийский бореальный геофит, многолетник. Вид относится к явнополицентрическим вегетативноподвижным длиннокорневищным летнезелёным травянистым поликарпикам [4]. *E. palustris* характеризуется интенсивным вегетативным размножением, семенное размножение встречается более редко. В природе вид произрастает на эвтрофных болотах с преобладанием *Carex* sp., на сырых лугах, встречается на карбонатных почвах. Основные лимитирующие факторы – осушение болот и торфозаготовка [2, 3]. В 2022 г. проведены повторные исследования. Цель работы – изучение динамики пространственной и возрастной структур ценопопуляции (ЦП), а также морфологических параметров генеративных рамет *E. palustris*, произрастающих на золоотвале НТГРЭС.

Золоотвал расположен в 19 км от г. Нижняя Тура (Нижнетуринский муниципальный округ). На данной территории существуют обводненные участки, т. к. он создан на месте бывшего Вогульского болота. Подача зольного субстрата по пульпопроводу на золоотвал завершена в 2015 г., в связи с чем наблюдается постепенное подсыхание субстрата. В качестве контроля выбрана ЦП *E. palustris* в естественном фитоценозе на территории гидрологического и зоологического памятника природы «Болото Багаряк» (прибрежная зона оз. Багаряк, Сысертский муниципальный округ).

Климат районов исследования умеренно-континентальный. Среднегодовые температуры за 2017–2022 гг. составили 1,9 °С (г. Нижняя Тура) и 3,3 °С (г. Сысерть). Средние суммы осадков за годы исследования составили соответственно 469,2 мм и 429,8 мм. Уровень влагообеспеченности территорий первые четыре года характеризовался высокими значениями гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова (ГТК), изменяясь от избыточного увлажнения до засушливого (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика уровня влагообеспеченности территорий

Год	Золоотвал НТГРЭС		Контроль	
	ГТК	Уровень влагообеспеченности	ГТК	Уровень влагообеспеченности
2017	2,16	избыточного увлажнения	1,50	избыточного увлажнения
2018	1,58	избыточного увлажнения	1,48	избыточного увлажнения
2019	1,78	избыточного увлажнения	1,50	избыточного увлажнения
2020	1,35	избыточного увлажнения	1,11	обеспеченного увлажнения
2021	0,83	засушливая	0,70	сухого земледелия
2022	1,35	избыточного увлажнения	0,96	засушливая

Примечание: НТГРЭС – Нижнетуринская ГРЭС; ГТК – гидротермический коэффициент.

Обследование территорий проводили детально-маршрутным методом. Сбор, обработка и анализ фактического материала выполнены по общепринятым методикам [5, 6]. Для изучения пространственной и онтогенетической структур ЦП *E. palustris* случайным образом закладывали по 60 раункиеровских площадок ($S = 0,25 \text{ м}^2$). Учитывали плотность особей вегетативного происхождения (рамет) *E. palustris*. Онтогенетические состояния *E. palustris*

выделяли в соответствии с описанием онтогенеза, предложенным М. Г. Вахрамеевой с соавторами [7]. Раметы обследованы в природных условиях. Морфологический анализ генеративных особей выполняли по следующим параметрам: высота особи (см), число листьев (шт.), длина соцветия (см), число цветков в соцветии (шт.), число брактеей (шт.) и др. Были определены ценопопуляционные индексы, предложенные А. А. Урановым [8], Л. А. Животовским [9] и Л. А. Жуковой [10] соответственно: Δ – индекс возрастности, ω – индекс эффективности и J_v – индекс восстановления.

На золоотвале НТГРЭС в 2017 г. ЦП *E. palustris* обнаружена в ивняке хвощово-вейниково-зеленомошно-маршанциевом. В ценозе доминировали *Salix myrsinifolia* Salisb., *S. triandra* L., *S. pentandra* L., реже *S. phylicifolia* L. На данном участке золоотвала в 2022 г. отмечено формирование несомкнутого древесного яруса (высотой 3–3,5 м), состоящего из *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth и *B. pubescens* Ehrh., а также изменение состава травяно-кустарничкового (появились виды более сухих местообитаний – *Melilotus albus* Medik., *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth) и мохового ярусов (табл. 2). Установлено, что в 2017 г. изученные ЦП *E. palustris* имели высокую численность (на золоотвале – 248 растений на 15 м², в контроле – 350) и среднюю плотность рамет на 1 м² (16,5 и 23,4 соответственно). За шесть лет в техногенном местообитании уменьшились численность *E. palustris* (до 164 растений на 15 м²) и средняя плотность рамет (в 1,5 раза). В контроле увеличились численность (до 434 растений на 15 м²) и средняя плотность рамет (в 1,4 раза). В 2022 г. на золоотвале плотность была ниже в 2,9 раза, чем в естественном местообитании (табл. 3), также отмечалось снижение высоты побега рамет, общего количества листьев и доли развитых цветков.

Таблица 2

Геоботанические характеристики местообитаний *Epipactis palustris*

Характеристики	Золоотвал НТГРЭС		Контроль	
	2017 г.	2022 г.	2017 г.	2022 г.
	Хсп. (lim)	Хсп. (lim)	Хсп. (lim)	Хсп. (lim)
ПП древесного яруса, %	–	20 (0–30)	25 (20–30)	30 (20–40)
ПП древесного подроста, %	16 (5–35)	55 (50–80)	20 (0–75)	20 (0–55)
ПП кустарничкового яруса, %	40 (35–45)	45 (35–50)	27 (25–30)	50 (45–65)
ПП травяно-кустарничкового яруса, %	45 (20–70)	35 (20–60)	75 (45–95)	71 (40–85)
ПП мохового яруса, %	65 (25–100)	75 (60–100)	70 (45–100)	33 (20–70)
Число видов в сообществе, шт.	42	39	36	41

Примечание: ПП – проективное покрытие яруса.

Таблица 3

Динамика характеристик ценопопуляций *Eriactis palustris*

Местонахождение	Год	Плотность рамет / 1 м ²		Индексы ценопопуляций		
		Хср.±m	lim	Δ	ω	Ив
Золоотвал НТГРЭС	2017	16,5±4,0	1–54	0,23	0,57	1,00
	2022	10,9±3,0	4–60	0,22	0,59	1,75
Контроль	2017	23,4±5,1	5–73	0,13	0,38	3,68
	2022	31,6±6,5	4–224	0,13	0,40	6,48

Исследования показали, что обе ЦП *E. palustris* являются нормальными неполночленными (рис. 1 А, Б). В онтогенетическом спектре преобладали растения прегенеративной фракции – im (2017 г.) и v (2022 г.). Общая доля данной фракции увеличилась за 6 лет с 50% до 67% (на золоотвале), с 79% до 87% (в контроле). Анализ индексов возрастности и эффективности показал, что обе ЦП являются молодыми (2017 и 2022 гг.). В обеих ЦП отмечен рост индекса эффективности, что связано с увеличением доли v и уменьшением доли im особей (табл. 3). Индекс восстановления ЦП также увеличился к 2022 г. Исследования показали, что в 2017 и 2022 гг. контрольная ЦП восстанавливалась эффективно ($J_v > 2$), а ЦП техногенного местообитания – умеренно ($1 \leq J_v < 2$) (табл. 3). Отмечено снижение высоты побега рамет, общего количества листьев и доли развитых цветков. Выявлены достоверные различия генеративных рамет *E. palustris* по высоте, числу цветков и брактей. Высота растений на золоотвале была в 1,2 (в 2017 г.) и в 1,3 (в 2022 г.) раза меньше, чем в естественном местообитании (рис. 2).

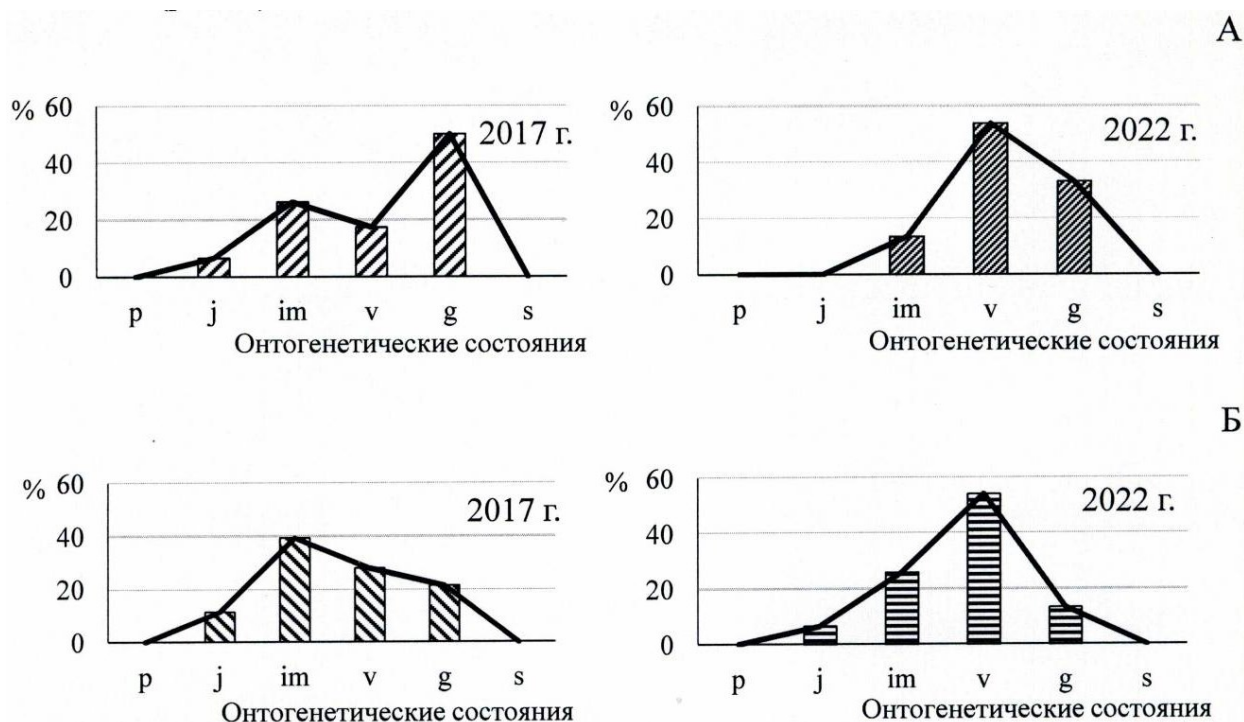


Рис. 1. Динамика онтогенетических спектров ценопопуляций *Eriactis palustris* на техногенном субстрате (А) и в контроле (Б)

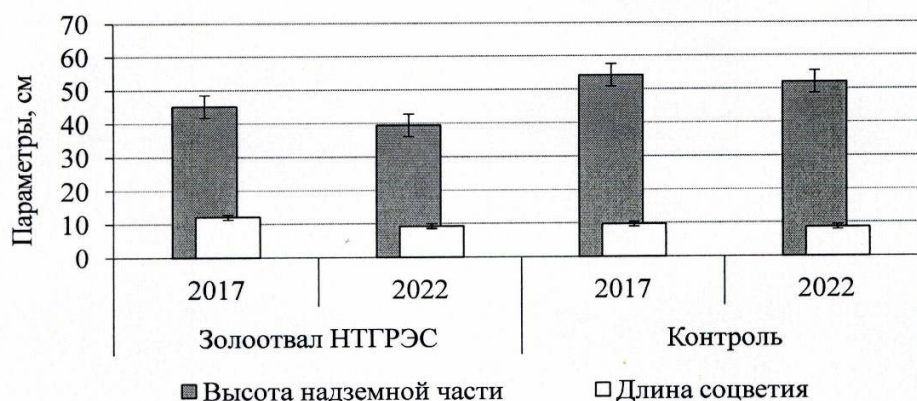


Рис. 2. Динамика высоты надземной части и длины соцветия генеративных рамет *Eriopogon palustris*

В 2017 г. число цветков и брактей было в 1,9 раз больше, чем в контроле. В 2022 г. у особей *E. palustris* на золоотвале цветков сформировалось в 1,7 раз меньше, чем в естественном местообитании, при этом число брактей – в 1,3 раза больше (рис. 3).

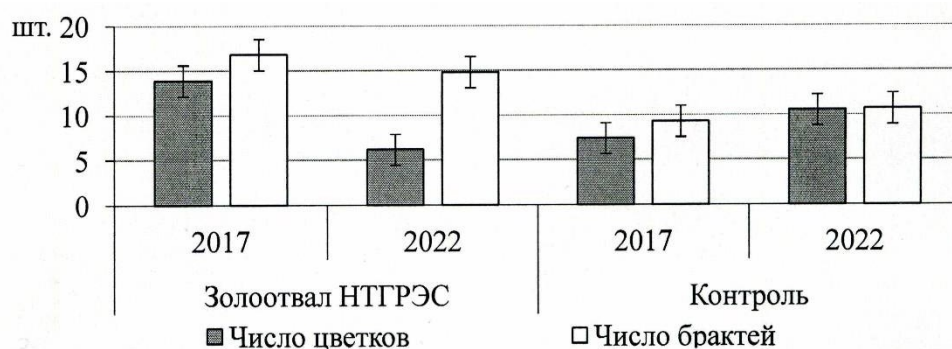


Рис. 3. Динамика числа цветков и брактей генеративных рамет *Eriopogon palustris*

Таким образом, ценопопуляция *E. palustris* в условиях золоотвала НТГРЭС является нормальной, молодой. Онтогенетический спектр мономодальный с пиком на группе γ растений.

Наблюдается снижение численности и плотности рамет *E. palustris*. У генеративных рамет *E. palustris* отмечено снижение высоты побега, числа листьев и доли развитых цветков, что может быть связано с изменением экологических условий на золоотвале (влажность субстрата, структура растительного сообщества, проективное покрытие видов и т. д.). Дальнейшее развитие ЦП *E. palustris* зависит от трансформации фитоценоза и гидрологического режима зольного субстрата.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания УрФУ FEUZ-2023-0019.

Библиографический список

1. Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Глазырина М. А. Орхидные в техногенных системах Урала // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2014. Вып. 11. С. 68–75.
2. *Epipactis palustris* (L.) Crantz на золоотвале Нижнетуринской ГРЭС и в естественном местообитании / Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина, Н. В. Лукина и др. DOI: 10.15393/uchz.art.2018.127 // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2018. № 3 (172). С. 58–66.
3. Красная книга Свердловской области : животные, растения, грибы / отв. ред. Н. С. Корытин. Екатеринбург : ООО «Мир», 2018. 450 с.
4. Чупракова Е. И., Савиных Н. П. Биоморфология *Epipactis palustris* (L.) Crantz с позиции охраны вида // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Естественные науки. 2011. № 9 (104). Вып. 15/1. С. 23–28.
5. Борисова М. А., Маракаев О. А. Редкие виды растений: практика исследований в природе : учеб.-метод. пособие. Ярославль : Ярославский гос. ун-т, 2015. 64 с.
6. Османова Г. О., Животовский Л. А. Онтогенетический спектр как индикатор состояния ценопопуляций растений. DOI: 10.31857/S0002332920020058 // Известия РАН. Серия Биологическая. 2020. № 2. С. 144–152.
7. Род дремлик / М. Г. Вахрамеева, Т. И. Варлыгина, А. Е. Баталов и др. // Биологическая флора Московской области. 1997. Вып. 13. С. 50–87.
8. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биологические науки. 1975. № 2. С. 7–34.
9. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.
10. Жукова Л. А. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола : Ланар, 1995. 224 с.

КУСТАРНИКИ В КОЛЛЕКЦИИ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ВЯТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Д. К. Коробицын, О. Н. Пересторонина

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
Tommyksan@yandex.ru*

В статье приведены результаты анализа современного состава кустарников в коллекции ботанического сада Вятского государственного университета. Определены наиболее многочисленные семейства и роды; охарактеризованы жизненные формы и экологические предпочтения.

Ключевые слова: ботанический сад, ботаническая коллекция, жизненная форма, кустарник, экологическая группа.

Ботаническому саду Вятского государственного университета (ВятГУ) исполнилось 112 лет. Это один из старейших садов северной зоны страны. Площадь сада небольшая, около 3 га, но благодаря разнообразию рельефа его территория удобна для размещения растений различных экологических групп. Ботанический сад ВятГУ представляет собой важный объект как для региона, так и для науки в целом. Его коллекция растений отражает особенности флоры

таежной природной зоны и играет значимую роль в образовательной деятельности университета.

Объектом настоящего исследования была коллекция кустарников. Изучение состава кустарников в ботаническом саду позволяет не только оценить уровень разнообразия, но и выявить возможности для пополнения коллекции новыми видами, адаптированными к местным условиям. Это имеет ключевое значение для дальнейшего развития современных ботанических исследований.

Жизненная форма «кустарник» – многоствольное древесное растение, возникло в саванновых сообществах [1]. После периодических пожаров в южноафриканских саваннах у кустарников преобладали побеги, расположенные близко к земле, предположительно потому, что огонь уничтожал более высокорасположенные почки, и отрастание происходило за счет базальных почек возобновления. В настоящее время кустарники растут на границах лесов, в кустарниковых степях, в лесотундре, в лесу под кронами деревьев. Одноствольное растение может повалить ветром, а в лесотундре трудно пустить глубокие корни из-за вечной мерзлоты – поэтому в данных биомах доминирует кустарниковая форма. Биоморфа растения, в том числе кустарник, – результат приспособленности к конкретным условиям. В таежных сообществах кустарниковая форма представлена широко. Кустарники – это промежуточная форма между деревьями и травами: у них возникают и развиваются те особенности структуры и морфогенеза, которые с течением эволюции привели к образованию многочисленных и разнообразных травянистых растений [2], которые в таежных биомах преобладают.

Конспект кустарников составили на основе собственных наблюдений и по данным списка таксонов древесных растений «Коллекция древесных и кустарниковых пород Ботанического сада ВятГУ на 01.01.16», предоставленным сотрудниками ботанического сада ВятГУ.

Дендрарий в ботаническом саду занимает значительную часть территории. Кустарников на 2024 г. было выявлено 94 таксона из двух отделов и 17 семейств [3]. Большинство таксонов из отдела Magnoliophyta (91,5%) и восемь таксонов из отдела Pinophyta (8,5%). Ведущими являются шесть семейств: Rosaceae – 24 таксона (25,5%), Ericaceae – 21 (22,3%), Hydrangeaceae – 11 (11,7%), Cupressaceae – 8 (8,5%), Berberidaceae и Oleaceae – по 7 таксонов (по 7,4%). В коллекции содержится по три таксона семейств Leguminosae и Paeoniaceae. Одно семейство – Viburnaceae – включает два таксона, и восемь семейств: Araliaceae, Anacardiaceae, Betulaceae, Celastraceae, Thymelaeaceae, Cornaceae, Magnoliaceae, Caprifoliaceae – по одному таксону. Вместе малочисленные семейства насчитывают в совокупности 16 таксонов (17,2%).

В коллекции среди кустарниковых форм выявлено 34 рода. В родовом отношении преобладает *Rhododendron*, который включает 18 таксонов (9 видов и 9 сортов), среди которых *Rhododendron dauricum* L., *Rhododendron sichotense* Pojark., *Rhododendron viscosum* (L.) 'Jolie Madame' и др. Второе место по числу родов делят *Philadelphus* и *Spiraea*. Род *Philadelphus* включает 3 вида и 5 сортов: *Philadelphus coronarius* L., *Philadelphus coronarius* 'Belle Etoile',

Philadelphus microphyllus A. Gray и др. Род *Spiraea* в коллекции представлен 4 видами и 4 сортами: *Spiraea betulifolia* Pall., *Spiraea salicifolia* L., *Spiraea japonica* L. 'Alpina'. Тройку ведущих родов замыкает *Berberis*, включающий 7 таксонов (4 вида и 3 сорта): *Berberis orientalis* Schneid., *Berberis vulgaris* L., *Berberis thunbergii* DC. 'Red Pillar'. Роды *Syringa*, *Thuja*, *Juniperus*, *Sorbus*, *Paeonia*, *Prunus*, *Potentilla* включают от 6 до 2 таксонов. 23 рода (67,6%) представлены одним таксоном, среди которых *Crataegus*, *Corylus*, *Caragana*, *Daphne* и др.

Биоморфологический анализ выявил две жизненные формы: древесные и карликовые кустарники. Преобладают древесные кустарники – 86 таксонов (91,5%): *Berberis amurensis* Rupr., *Philadelphus coronaries* L., *Ligustrum vulgare* L., *Thuja occidentalis* L. 'Bodmeri', *Rhododendron ponticum* L. и др. Карликовых кустарников 3 таксона (3,2%): *Calluna vulgaris* L., *Gaultheria procumbens* L., *Andromeda polifolia* L. 'Blue Lagoon'.

Экологический анализ кустарниковой формы в коллекции ботанического сада проведен по отношению к факторам влажности и освещения [4]. По отношению к влажности выделено три экологические группы: мезофиты, ксерофиты и гигрофиты. Преобладают мезофиты – 70 таксонов (74,5%), среди которых *Crataegus monogyna* L., *Philadelphus coronaries*, *Hydrangea paniculata* Siebold и др. На втором месте – ксерофиты – 22 таксона (23,4%): *Cotinus coggygria* Scop., *Berberis thunbergii* DC., *Caragana arborescens* Fisch. ex Wol. и др. Самой малочисленной группой являются гигрофиты, насчитывают два таксона (2,1%): *Hydrangea petiolaris* Siebold et Zucc., *Daphne mezereum* L.

По фактору освещенности доминируют гелиофиты – 58 таксонов (61,7%): *Berberis amurensis* Rupr., *Spiraea japonica* L. 'Alpina', *Rhododendron ponticum* L. и др. На втором месте по численности находятся гелиосциофиты – 32 таксона (34,0%): *Cornus alba* L., *Philadelphus coronaries* и др. Сциофиты представлены 4 таксонами (4,3%): *Rhododendron catawbiense* Michx., *Andromeda polifolia* 'Blue Lagoon' и др.

География ареалов кустарников в коллекции ботанического сада включает в основном европейские (27,7%), дальневосточные (24,4%), восточно-азиатские (22,3%) и американские (17,0%) таксоны.

Анализ состава коллекционных растений кустарниковой формы выявил доминирующие группы. На основе исследования возможно определить основные направления дальнейшей научной работы: интродукция и акклиматизация несвойственных для нашей области представителей флоры многих климатических зон земного шара – правильно подобрать и разместить растения в дендрарии ботанического сада ВятГУ.

Библиографический список

1. Frontiers in Plant Science [website]. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2016.01095/full> (accessed: 10.03.2025).
2. Мазуренко М. Т., Хохрякова А. П. Структура и морфогенез кустарников. М. : Наука, 1977. 160 с.

3. Солодухин Е. Д. Основы декоративного растениеводства и цветоводства: учебное пособие. М. : Колос, 2015. 248 с.

4. Горчаковский П. Л. Экология растений. Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2007. 338 с.

СЕМЕЙСТВО ROSACEAE В КОЛЛЕКЦИИ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ВЯТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Е. А. Маракулина, О. Н. Пересторонина

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

В статье представлен анализ современного состава семейства Rosaceae в коллекции ботанического сада Вятского государственного университета по различным признакам. Определены преобладающие в коллекции жизненные формы, выявлены редкие таксоны этого семейства.

Ключевые слова: семейство Rosaceae, ботанический сад, ботаническая коллекция, жизненная форма, редкий вид.

Ботанический сад Вятского государственного университета (ВятГУ) один из старейших на северо-востоке Европейской России, расположен на сравнительно небольшой территории в центре г. Кирова. Семейство Rosaceae входит в состав ведущих семейств как во флоре Кировской области [1], так и бореальных флорах [2]. В современной системе APG IV [3] оно включает 143 рода и более 6053 видов. Во флоре Кировской области – 108 видов из 24 родов. Растения этого семейства широко распространены в умеренных и субтропических зонах северного полушария.

Объектом настоящего исследования была коллекция декоративных растений ботанического сада ВятГУ семейства Rosaceae. Коллекционные растения были выявлены и проанализированы: по жизненным формам, ареалам, экологическим группам.

Коллекция включает 116 таксонов растений из 24 родов. Ведущими родами коллекции являются *Rosa* (роза) – 38 таксонов (32,8%), *Spiraea* (спирея) – 16 (13,8%), *Filipendula* (лабазник) и *Potentilla* (лапчатка) по 8 таксонов (6,9%) каждый. Семь таксонов содержит род *Sanguisorba* (кровохлебка) – 6,0%, пять таксонов – род *Physocarpus* (пузыреплодник) – 4,3%. По три таксона (2,6%) содержат четыре рода: *Aruncus* (волжанка), *Sorbus* (рябина), *Padus* (черемуха), *Malus* (яблоня); По два таксона (1,7%) – пять родов: *Crataegus* (боярышник), *Cerasus* (вишня), *Sorbaria* (рябинник), *Amygdalus* (миндаль), *Rubus* (малина). Восемь родов содержат по одному таксону: *Amelanchier* (ирга), *Agrimonia* (репешок), *Alchemilla* (манжетка) и др., вместе они составляют 6,9%.

Биоморфологический анализ выявил среди представителей семейства Rosaceae в коллекции три жизненные формы: деревья, кустарники, травяни-

стые растения. Преобладают кустарниковые формы – 74 таксона (63,8%), на втором месте по численности – травянистые растения – 26 (22,4%), и деревья составляют 13,8%. Среди травянистых растений многочисленны сорта рода *Rosa*, также *Alchemilla alpina* L., *Potentilla erecta* (L.) Raeusch., *Filipendula vulgaris* Moench и др. Кустарники: *Crataegus sanguinea* Pall., *Cerasus besseyi* (Bailey) Sok., *Rosa rugosa* Thunb. и др.

Экологический анализ таксонов семейства Rosaceae в коллекции ботанического сада проведен по отношению к факторам влажности и освещения.

По отношению к влажности было выделено четыре экологические группы: мезофиты, ксерофиты, ксеромезофиты и гигрофиты. Преобладают мезофиты – 99 таксонов (85,3%), среди которых *Agrimonia eupatoria* L., *Crataegus Irrasa* Sarg., *Amelanchier ovalis* Medik, *Cotoneaster lucidus* Schlecht и др. На втором месте – гигрофиты – 13 таксонов (13,0%); на третьем – ксерофиты – 3 таксонов (2,6%). Самой малочисленной группой являются ксеромезофиты, насчитывают один таксон (0,9%): *Amygdalus nana* L.

По фактору освещенности доминируют гелиофиты – 84 таксона (71,4%): *Sanguisorba magnifica* I. Schischk. et Kom., *Filipendula vulgaris* Moench f. *Pleno*, *Physocarpus opulifolms* (L.) Maxim. f. *Diabolo*, *Rosa nitida* Willd. и др. На втором месте по численности – гелисциофиты – 17 таксонов (14,7%): *Aruncus vulgaris* Raf., *Rubus odoratus* L. и др. Сциофиты представлены 15 таксонами (12,9%): *Sanguisorba alpina* Bunge, *Potentilla alba* L. и др.

Ареалогический анализ выявил среди растений семейства Rosaceae в коллекции шесть групп (табл.). Самой многочисленной группой являются северные (бореальные) виды, что типично для умеренных широт.

Таблица

**Соотношение ареалогических групп растений семейства Rosaceae
в коллекциях ботанического сада ВятГУ**

Ареалогические группы	Число таксонов	%	Представители
Бореальные	106	91,4	<i>Aruncus kamtschaticus</i> Rydb. <i>Filipendula ulmaria</i> Maxim. <i>Aurea'</i> <i>Potentilla alba</i> L. <i>Crataegus sanguinea</i> Pall.
Суббореальные	3	2,6	<i>Saponaria ocymoides</i> L. <i>Amygdalus ledebouriana</i> Schltldl. <i>Malus domestica</i> Borkh.
Субтропические	1	0,9	<i>Chaenomeles speciosa</i> Nivalis
Субтропические/бореальные	2	1,7	<i>Acaena anserinifolia</i> Druce <i>Rubus ulmifolius</i> Schott <i>Rosa multiflora</i> Thunb. ex Murray
Бореальные/суббореальные	3	2,6	<i>Gillenia trifoliata</i> (L.) Moench <i>Cerasus besseyi</i> (Bailey) Sok.
Субтропический/умеренный	1	0,9	<i>Acaena anserinifolia</i> Druce

В коллекции ботанического сада среди растений семейства Rosaceae культивируются краснокнижные виды региона [4]: *Cerasus fruticosa* Pall.

(вишня кустарниковая (степная)), *Potentilla humifusa* Willd. ex Schlecht. (лапчатка распростертая), *Filipendula vulgaris* Moench (лабазник обыкновенный). Это лесостепные виды, с III категорией охраны, редкие малочисленные. *Cerasus fruticosa* охраняется в регионе на территории памятников природы «Заросли орешника (лещины) у д. Средняя Тойма» (Вятскополянский район). *Potentilla humifusa* охраняется в регионе на территории памятников природы «Бор на Лобани» (Кильмезский район) и «Медведский бор» (Нолинский район). *Filipendula vulgaris* охраняется в регионе на территории памятников природы «Пилинский лог» (Уржумский район) и «Озеро Казанское» (Вятскополянский район).

Анализ коллекции семейства Rosaceae ботанического сада ВятГУ выявил необходимость ее пополнения видами местной флоры. На данный момент коллекция содержит 12,0% видового состава розоцветных [5], произрастающих на территории Вятского края: *Padus racemosa* (Lam.) Gilib., *Crataegus sanguinea* Pall., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. и др. Для сохранения генофонда флоры региона требуется пополнение коллекции растений семейства Rosaceae местными видами из разных мест произрастания, разных жизненных форм. Также пополнять коллекцию растений из других регионов со сходным и иным типом климата, проводить работы по интродукции и акклиматизации видов. Это позволит поддерживать разнообразие флоры региона.

Библиографический список

1. Тарасова Е. М. Флора Вятского края. Часть 1. Сосудистые растения. Киров, 2007. 440 с.
2. Толмачев А. И. Введение в географию растений. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. 244 с.
3. The Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV // Botanical Journal of the Linnean Society. 2016. Vol. 181. No. 1. P. 1–20.
4. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы / под ред. О. Г. Барановой и др. Киров, 2014. 336 с.
5. Определитель растений Кировской области / Сост. Ф. А. Александров, В. П. Клирсова и др. Киров, 1975. Т. 2. 303 с.

РАЗНООБРАЗИЕ СЕМЕЙСТВА FABACEAE LINDL. В ГЕРБАРНОЙ КОЛЛЕКЦИИ ВЯТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

А. Е. Манина, С. В. Шабалкина

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
Nasturtium2017@yandex.ru*

В статье охарактеризовано таксономическое разнообразие семейства Fabaceae Lindl. в гербарной коллекции кафедры биологии и методики обучения биологии Вятского государственного университета. В результате анализа выявлено, что коллекция включает 104 таксона из 28 родов. Установлено

наличие 47 видов (или 73,4%), которые встречаются во флоре Кировской области. В коллекции имеются один редкий вид (*Trifolium lupinaster* L.) и два вида (*Lathyrus palustris* L., *Oxytropis pilosa* (L.) DC.), популяции которых в регионе нуждаются в контроле и наблюдении за состоянием.

Ключевые слова: вид, гербарий, гербарный образец, редкий вид, род, таксон.

Гербарная коллекция кафедры биологии и методики обучения биологии Вятского государственного университета (ВятГУ), созданная на основе гербария краеведческого музея в 1950–1951 гг., в настоящее время включает три отдела: научный, учебный и специализированный по особо охраняемым природным территориям Кировской области [1]. В 2010 г. на кафедре начаты ревизия и оцифровка образцов для создания электронной базы. На сегодня проанализирован состав высших споровых растений, редких и нуждающихся в контроле за состоянием популяций видов, отдельных семейств Magnoliophyta [2–4]. В этом сообщении освещаются итоги инвентаризации семейства Fabaceae Lindl. в гербарной коллекции ВятГУ, проведенные в 2024 г.

Материалом исследования является конспект, сформированный по результатам собственного анализа состава семейства. Номенклатура в нём приведена согласно базе данных [5].

Бобовые – одно из крупнейших семейств мировой флоры, является третьим по величине [6]; насчитывает около 650 родов и 18 000 видов [7]. На территории России встречается более 70 родов и 700 видов [8]. В Кировской области Fabaceae занимает шестое место, включает 64 вида из 23 родов [9].

В гербарной коллекции по итогам инвентаризации выявлено 104 таксона из 28 родов, общей численностью 1 355 монтированных образцов. Наибольшим числом сборов представлены широко распространённые в Кировской области растения: *Vicia cracca* L., *Lathyrus pratensis* L., *Melilotus officinalis* (L.) Lam., *Trifolium arvense* L., *Trifolium medium* L., *Trifolium pratense* L., *Vicia sepium* L. и др. (табл.).

Таблица

Видовое разнообразие Fabaceae в гербарной коллекции

№ п/п	Название таксона	Число образцов, шт.	№ п/п	Название таксона	Число образцов, шт.
1	2	3	4	5	6
1	<i>Acacia confusa</i> Merr.	1	53	<i>Lathyrus pisiformis</i> L.	12
2	<i>Acacia dealbata</i> Link.	6	54	<i>Lathyrus pratensis</i> L.	97
3	<i>Albizia julibrissin</i> Durazz	1	55	<i>Lathyrus sylvestris</i> L.	22
4	<i>Ammodendron Conollyi</i> Boiss.	6	56	<i>Lathyrus tuberosus</i> L.	18

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
5	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	4	57	<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.	51
6	<i>Anthyllis vulneraria</i> subsp. <i>polyphylla</i> (DC.) Nyman	7	58	<i>Vicia lens</i> (L.) Coss. & Germ.	1
7	<i>Anthyllis vulneraria</i> L.	1	59	<i>Lotus corniculatus</i> L.	29
8	<i>Argyrolobium biebersteinii</i> P. W. Ball.	1	60	<i>Lupinus angustifolius</i> L.	2
9	<i>Astragalus alpinus</i> L.	3	61	<i>Lupinus x hybridum</i> hort.	1
10	<i>Astragalus arenarius</i> L.	17	62	<i>Lupinus polyphyllus</i> Lindl.	19
11	<i>Astragalus asper</i> Jacq.	1	63	<i>Medicago lessingii</i> Fisch. & C. A. Mey. ex Kar.	7
12	<i>Astragalus austriacus</i> Jacq.	1	64	<i>Medicago falcata</i> L.	27
13	<i>Astragalus bungeanus</i> Boiss.	2	65	<i>Medicago lupulina</i> L.	44
14	<i>Astragalus caucasicus</i> Pall.	2	66	<i>Medicago sativa</i> L.	17
15	<i>Astragalus chinensis</i> L. fil.	1	67	<i>Melilotus albus</i> Medik	42
16	<i>Astragalus cicer</i> L.	4	68	<i>Melilotus altissimus</i> Thuill.	2
17	<i>Astragalus contortuplicatus</i> L.	1	69	<i>Melilotus dentatus</i> (Waldts. & Kit.) Desf.	1
18	<i>Astragalus corniculatus</i> M. Bieb.	1	70	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Lam.	48
19	<i>Astragalus cornutus</i> (Pall.) Kuntze	1	71	<i>Oxytropis middendorffii</i> Trautv.	1
20	<i>Astragalus danicus</i> Retz.	29	72	<i>Oxytropis pallasii</i> Pers.	2
21	<i>Astragalus dasyanthus</i> Pall.	2	73	<i>Oxytropis pilosa</i> (L.) DC.	10
22	<i>Astragalus excapus</i> L.	1	74	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	6
23	<i>Astragalus fabaceus</i> M. Bieb.	1	75	<i>Lathyrus oleraceus</i> Lam.	4
24	<i>Astragalus filicaulis</i> F.et. M.	1	76	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	8
25	<i>Astragalus glycyphyllos</i> L.	3	77	<i>Sophora alopecuroides</i> L.	1
26	<i>Astragalus hamosus</i> L.	1	78	<i>Spartium junceum</i> L.	3
27	<i>Astragalus kentrophyta</i> A. Gray.	1	79	<i>Styphnolobium japonicum</i> (L.) Schott.	5
28	<i>Astragalus macropus</i> Bunge	2	80	<i>Trifolium arvense</i> L.	50
29	<i>Astragalus mollis</i> M. Bieb.	1	81	<i>Trifolium aureum</i> Pollich.	40
30	<i>Astragalus monspessulanus</i> L.	1	82	<i>Trifolium canescens</i> Willd.	1
31	<i>Astragalus onobrychis</i> L.	1	83	<i>Trifolium hybridum</i> L.	38
32	<i>Astragalus ponticus</i> Pall.	1	84	<i>Trifolium fragiferum</i> L.	1
33	<i>Astragalus subuliformis</i> DC.	1	85	<i>Trifolium hirtum</i> All.	1
34	<i>Astragalus sulcatus</i> L.	1	86	<i>Trifolium lupinaster</i> L.	2

1	2	3	4	5	6
35	<i>Astragalus testiculatus</i> Pall	1	87	<i>Trifolium medium</i> L.	64
36	<i>Astragalus umbellatus</i> Bunge	1	88	<i>Trifolium montanum</i> L.	19
37	<i>Astragalus utriger</i> Pall.	1	89	<i>Trifolium pratense</i> L.	76
38	<i>Astragalus varius</i> S. G. Gmel.	3	90	<i>Trifolium repens</i> L.	84
39	<i>Caragana arborescens</i> Lam.	27	91	<i>Trifolium rubens</i> L.	2
40	<i>Caragana frutex</i> (L.) K. Koch	3	92	<i>Trifolium spadiceum</i> L.	34
41	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woł.) Klásk.	28	93	<i>Vicia sativa</i> subsp. <i>nigra</i> Ehrh.	7
42	<i>Galega officinalis</i> L.	2	94	<i>Vicia cassubica</i> L.	1
43	<i>Genista tinctoria</i> L.	10	95	<i>Vicia cracca</i> L.	107
44	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	1	96	<i>Vicia faba</i> L.	3
45	<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	6	97	<i>Vicia hirsuta</i> (L.) Gray	11
46	<i>Glycyrrhiza glabra</i> L.	2	98	<i>Vicia pannonica</i> Crantz	3
47	<i>Laburnum anagyroides</i> Medik.	1	99	<i>Vicia pisiformis</i> L.	11
48	<i>Lathyrus aleuticus</i> (Greene) Pobed.	1	100	<i>Vicia sativa</i> L.	20
49	<i>Lathyrus aphaca</i> L.	1	101	<i>Vicia sepium</i> L.	74
50	<i>Lathyrus aureus</i> (Steven) D. Brandza	1	102	<i>Vicia sylvatica</i> L.	21
51	<i>Lathyrus odoratus</i> L.	1	103	<i>Vicia tenuifolia</i> Roth	5
52	<i>Lathyrus palustris</i> L.	1	104	<i>Vicia tetrasperma</i> (L.) Schreb.	1

По числу родов преобладают *Astragalus* L. (30 видов), *Trifolium* L. и *Vicia* L. (по 13 видов каждый), *Lathyrus* L. (11 видов); два рода – *Medicago* L. и *Melilotus* Mill. – насчитывают по четыре таксона, два рода – *Lupinus* L. и *Oxytropis* DC. – по три таксона, три рода – *Acacia* Mill., *Anthyllis* L. и *Caragana* Lam. – по два вида; остальные роды (17) представлены одним видом.

В результате сопоставления состава Fabaceae во флоре Вятского края и в гербарной коллекции выявлено, что 47 видов, встречающихся на территории региона, находятся в коллекции кафедры, что составляет 73,4%. Отсутствуют, например, *Arachis hypogaea* L., *Astragalus falcatus* Lam., *Galega orientalis* Lam., *Lotus dviniensis* Min.et Ulle и др.

В гербарии имеются виды растений, которые занесены в Красную книгу Кировской области и её приложение 2 [10]: *Trifolium lupinaster* L., *Lathyrus palustris* L. и *Oxytropis pilosa* (L.) DC. *Trifolium lupinaster* – редкий малочисленный вид с III категорией статуса редкости, в регионе отмечен лишь в Вятскополянском и Малмыжском районах, как заносное – в Лузском районе; культивируется в ботаническом саду ВятГУ. Растения этого вида собраны на

территории Республики Коми и ботанического сада (2008 и 2019 гг. соответственно).

Lathyrus palustris – редко встречающийся вид в Кировской области, произрастает в окрестностях г. Кирова, в Котельничском, Нолинском, Орловском, Подосиновском и Уржумском районах [9]. В коллекции имеется один образец из окрестностей г. Кирова, датированный началом XX века.

Oxytropis pilosa – также очень редко встречающийся вид, отмеченный в Вятскополянском, Кильмезском, Малмыжском, Нолинском, Советском и Уржумском районах [9]. В гербарии присутствуют сборы XX–XXI веков с территорий Уржумского, Вятскополянского, Нолинского районов Кировской области, Самарской области и Республики Удмуртия.

Таким образом, анализ состава семейства Fabaceae в гербарной коллекции ВятГУ выявил достаточно высокое видовое разнообразие, а также необходимость пополнения сборами таксонов, которые встречаются в Кировской области, но отсутствуют в гербарии.

Библиографический список

1. Пересторонина О. Н., Шабалкина С. В. Роль гербарной коллекции в ботаническом образовании высшей школы // Сибирский педагогический журнал. 2013. № 4. С. 160–164.
2. Кошурникова А. И., Пересторонина О. Н. Семейство Caryophyllaceae в гербарной коллекции Вятского государственного университета // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 3–5 декабря 2018 г.). Кн. 2. Киров : ВятГУ, 2018. С. 69–72.
3. Шабалкина С. В., Смирнова Г. С. Семейство Labiatae в научном отделе гербарной коллекции кафедры биологии и методики обучения биологии Вятского государственного университета // Региональные ботанические исследования как основа сохранения биоразнообразия : материалы Всерос. (с междунар. участием) науч. конф. (г. Воронеж, 29 января – 2 февраля 2018 г.). Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2018. С. 145–149.
4. Значение гербарной коллекции Вятского государственного университета в изучении биоразнообразия Кировской области / С. В. Шабалкина, О. Н. Пересторонина, В. С. Негодина и др. // Информационные технологии в исследовании биоразнообразия : материалы III Нац. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения академика РАН П. Л. Горчаковского (г. Екатеринбург, 5–10 октября 2020 г.). Екатеринбург : Гуманитарный университет, 2020. С. 547–550.
5. POWO: Plants of the world online [website]. – URL: <https://powo.science.kew.org/> (accessed: 20.03.2025).
6. Phylogenetic diversity of *Trifolium* L. species in Iraq / L. H. Khal, A. K. Al-Anbari, M. A. AL-Hadeethi, R. T. Abdulrazaq // Journal of Plant Production. 2020. Vol. 11. No. 11. P. 1041–1044.
7. Legumes of the World / Ed. G. Lewis, B. Schrire, B. MacKinder, M. Lock. Kew : Royal Botanic Gardens, 2005. 577 p.
8. Состав флоры сосудистых растений Российской Федерации / Д. В. Гельтман, Н. Н. Антонова, В. В. Бялт и др. // Известия АН. Серия биологическая. 1998. № 1. С. 93–97.
9. Тарасова Е. М. Флора Вятского края. Ч. 1. Сосудистые растения. Киров : ОАО «Кировская областная типография», 2007. 440 с.
10. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы / под ред. О. Г. Барановой и др. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.

ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ НАХОДКИ В ЕФРЕМОВСКОМ РАЙОНЕ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

М. А. Клочко, М. А. Клочко, Е. М. Волкова

Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия, Mixaklo1410@yandex.ru, convallaria@mail.ru

В статье представлены результаты флористических исследований в Ефремовском районе, в ходе которых были обнаружены редкие и охраняемые виды мхов. Обсуждается значение данных находок для понимания биоразнообразия и сохранения растительных сообществ региона.

Ключевые слова: лесостепь, бриофлора, Ефремовский район, Тульская область.

Тульская область находится в северо-восточной части Среднерусской возвышенности, на границе широколиственно-лесной и лесостепной природных зон. Облесенность территории составляет 14,3%.

Ефремовский район располагается в южной части области, в подзоне северной лесостепи. На долю лесов здесь приходится около 6%, доминирующими в ландшафтах являются лугово-степные комплексы. Географическое положение района обеспечивает произрастание на границе своего ареала как неморальных, так и лесостепных видов [1]. Для охраны редких видов созданы особо охраняемые природные территории (ООПТ) регионального значения [2]. На ООПТ в Ефремовском районе можно встретить следующие редкие виды растений: *Stipa pennata* L., *Stipa capillata* L., *Stipa pulcherrima* C., *Iris aphylla* L., *Cypripedium calceolus* L., *Adonis vernalis* L., *Anthericum ramosum* L., *Lilium martagon* L. S.L., *Viola tanaitica* Grosset. и т. д. [3].

Несмотря на имеющиеся сведения об уникальной флоре изучаемой территории, остаются слабо обследованные участки. Кроме того, нет равномерности в изучении разных групп растений. По этой причине, целью является выявление максимально полного флористического разнообразия Ефремовского района.

В данной работе проведено обследование городской рощи г. Ефремов. Это лесное насаждение искусственного происхождения занимает площадь 172 га. Роща – достопримечательность города, служащая местом для общественного отдыха, выполняя реакционную функцию.

Несмотря на искусственное происхождение, данный лесной массив является одним из немногих лесных «форпостов» в лесостепной зоне. В связи с этим, здесь возможны находки редких видов. В данном насаждении в ходе маршрутного обследования на центральной аллее было найдено три представителя мохообразных, занесённых в Красную книгу Тульской области: *Neckera pennata* Hedw. (статус – уязвимый вид, категория – 2), *Leucodon sciurioides* (Hedw.) Schwaegr. (статус – редкий вид, категория – 3) и *Porella platyphylla* L.

(2-я категория, уязвимый вид) [3]. При этом, *Neckera pennata* и *Porella platyphylla* были найдены в единичном экземпляре, а *Leucodon sciuroides* произрастал тремя отдельными популяциями.

В точках, где были найдены и описаны мхи, в основном древесный ярус формировали *Tilia cordata* Mill., *Acer platanoides* L. и *Quercus robur* L., сомкнутость крон древостоя оценивалась в 75–80%. Все встреченные виды росли на *Tilia cordata* с высотой от 16 до 20 м. Мхи находились на высоте от 0,7 до 1,3 м (в зоне видимой доступности). Ими было покрыто от 0,1 до 0,5% площади ствола дерева.

Все виды – редкие представители бриофлоры, которые, в основном, приурочены к южной и средней тайге, а также к зоне широколиственных лесов. На данный момент новые точки являются первыми и пока единственными известными местообитаниями для южной и юго-восточной частей Тульской области. Данные находки достаточно сильно сдвигают возможный и известный ареал этих видов.

Это могло произойти из-за следующих причин: случайный перенос спор мхов, изменение водных условий (которые крайне важны для жизнедеятельности мохообразных), изменение лесного покрова (восстановление лесов и, как следствие, создание новых подходящих биотопов для обитания), изменение условий окружающей среды, а также неполная изученность ареала, распространения, что может быть связано с недостатком подтверждённых исследований или полным отсутствием таковых в данном районе.

При этом, городская роща не является ООПТ. Это значит, что данные виды подвержены антропогенному воздействию, и в дальнейшем может привести к уменьшению размеров популяций или к исчезновению видов. Следовательно, необходимо применять меры по сохранению краснокнижных представителей: проинформировать население города о ценности мхов и их охраны, рассмотреть вопрос о придании статуса ООПТ городской роще, мониторинг уже имеющихся популяций и поиск новых точек, ограничение и более жёсткий контроль хозяйственной деятельности, др. Тем не менее, находки видов подтверждают значимость даже искусственных лесных насаждений в сохранении биоразнообразия. Это позволяет оценить роль мероприятий по искусственному увеличению площадей древесных массивов.

В Ефремовском районе находится ещё много малоизученных территорий, и эти места являются перспективными для дальнейших флористических исследований.

Библиографический список

1. Шереметьев И. С., Хорун Л. В., Щербаков А. В. Конспект флоры сосудистых растений Тульской области / под ред. проф. В. С. Новикова. М. : Изд-во Бот. сада Моск. ун-та; Тула : Гриф и К, 2008. 274 с.
2. Красная книга: Особо охраняемые природные территории Тульской области. Тула : Гриф и К, 2007. 316 с.
3. Красная книга Тульской области: растения / под ред. А. В. Щербакова. Тула : Аквариус, 2020. 275 с.

ИЗУЧЕНИЕ ФЛОРИСТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ В РАЙОНЕ БОЛЬШОГО ТЕЛЕСКОПА АЛЬТ-АЗИМУТАЛЬНОГО КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕСИИ

Н. С. Архипова, Т. А. Гимадеева

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия,
NSArhipova@kpfu.ru*

В статье рассматривается флористическое разнообразие склонов в районе большого телескопа альт-азимутального. Отмечены признаки негативного влияния выпаса скота и туристической активности на растения.

Ключевые слова: травянистые растения, многообразие, антропогенное влияние, выпас.

В последние годы в Северо-Кавказском федеральном округе большое внимание уделяется развитию туристического комплекса и качественной туристской инфраструктуры [1]. Карачаево-Черкесская Республика (КЧР) расположена в горах и северных предгорьях Западного Кавказа. В республике огромное разнообразие природных достопримечательностей и уникальных мест. Значительную часть горной территории занимают лиственные и смешанные леса, выше которых располагаются субальпийские и альпийские луга, являющиеся ценными горными пастбищами [1, 2]. В Зеленчукском районе КЧР в горах на высоте 2050 м над у. м. расположена специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, известная, как большой телескоп альт-азимутальный (БТА). В настоящее время обсерватория является крупнейшим российским астрономическим центром наземных наблюдений за Вселенной. Также в обсерватории уделяют внимание научно-просветительской работе, экскурсии на БТА привлекают большое количество туристов. В связи с тем, что идет тенденция на развитие туристической инфраструктуры района БТА и окрестностей, а также возросли традиционные нагрузки, такие как выпас скота, рубки леса, охота, земледелие актуальна тема данной работы.

Целью работы является изучение многообразия и обилия растений района БТА.

Растительность изучали маршрутным способом, в результате чего составлен флористический список. Видовую принадлежность уточняли по определителям [3, 4]. Для изучения фитоценозов выбраны однородные участки на склонах в районе БТА, где заложены пробные площади размером 10×10 м.

Первая площадь – склон юго-западной экспозиции, высота над у. м. равна 2155–2167 м. Склон с признаками выпаса скота, почвы уплотненные, травянистый ярус высотой 10–15 см, отдельные виды достигают вы-

соты 25–30 см. Растения мелколистные, злаки преимущественно объединены скотом.

Вторая площадь – склон северо-восточной экспозиции, высота 2045 м над у. м. Расположена она вблизи федеральной автодороги «Подъезд к БТА АН», вдоль дороги проложен водосток, где скапливаются дождевые воды. По участку протекает небольшой ручей.

Степень участия отдельных видов в травостое определяли методом учета их встречаемости и относительного обилия (по шкале Друде) [5]. Для этого на каждой пробной площади закладывали по 10 площадок размером 1 м². Видовое сходство выявленной флоры определяли по коэффициенту Жаккара (S):

$$S = c / (a + b - c), \quad (1)$$

где а – число видов на первой пробной площади; b – число видов на второй пробной площади; с – число видов, общих для первой и второй площадей. Причем $0 \leq S \leq 1$. Чем ближе к 1, тем более похожи два набора данных.

Всего в ходе маршрутных исследований выявлено 123 вида травянистых растений из семейств подорожниковые, орхидные, горечавковые, истодовые, колокольчиковые, розоцветные, лютиковые, норичниковые, бурачниковые, первоцветные, спаржевые, астровые, фиалковые, лилейные, губоцветные, гвоздичные, ивовые, березовые.

На пробной площади 1 встречается 26 видов покрытосеменных растений. Высокая (80–100%) встречаемость отмечена для *Ranunculus subtilis* Trautv., *Myosotis alpestris* F. W. Schmidt, *Cerastium holosteam* Fisch. ex Hornem., *Polygonum bistorta* L.; средняя (40–60%) – для *Ornithogalum ponticum* Zahar., *Campanula alpestris* All., *Pedicularis sibthorpii* Boiss. Для остальных видов встречаемость составила лишь 10%.

Довольно обильно (cop1) произрастают *Myosotis alpestris*, *Ranunculus subtilis*, *Ornithogalum ponticum*. Рассеянно (sparsae) – *Campanula alpestris*, *Cerastium holosteam*, *Gentiana dshimilensis* C. Koch, *Lamium album* L., *Polygala alpicola* Rupr., *Polygonum bistorta*, *Potentilla erecta* (L.) Raeusch, *Pedicularis sibthorpii*, *Pedicularis caucasica* M. Bieb., *Viola odorata* L. – и представлены единичными особями (sol) *Primula veris* L., *Veratrum album* L. и *Veronica gentianoides* Vahl. На склонах юго-западной экспозиции фон представлен видами: *Alchemilla caucasica* Buser, *Plantago media* L., *Taraxacum officinale* F. H. Wigg, *Trifolium repens* L. Ближе к грунтовой дороге доминируют *Draba nemorosa* L. и *Capsella bursa-pastoris* L.

Пробная площадь 2 – это склон северо-восточной экспозиции. Всего выявлено 43 вида покрытосеменных растений. Высокая (80–100%) встречаемость отмечена для *Trifolium repens*, *Alchemilla mollis* (Buser) Rothm, *Potentilla erecta* (L.) Raeusch. и *Achillea millefolium* L., средняя (40–60%) – для *Veratrum album*, *Campanula alpestris*, *Pedicularis sibthorpii*, *Primula elatior* (L.) Hill. и *Veronica gentianoides*. Встречаемость остальных видов составила 10–30%.

Очень обильно (cop3) произрастают *Achillea millefolium*, *Alchemilla mollis*, *Potentilla erecta*, *Trifolium repens*. Обильно (cop2 и cop1) – *Alchemilla vulgaris* L., *Barbarea vulgaris* R. Br., *Cirsium obvallatum* M. Bieb., *Polygala alpicola*

Rupr., *Taraxacum officinale*, *Veratrum album*. Рассеянно (sparsae) встречаются *Campanula tridentata* Schreb., *Cerastium holosteam*, *Dactylorhiza incarnata* L., *Dactylorhiza triphylla* C. Koch, *Daphne glomerata* Lam., *Geranium sylvaticum* L., *Hylocomiadelphus triquetrus* Hedw., *Inula orientalis* Lam, *Lamium album* L., *Myosotis alpestris*, *Pedicularis sibthorpii*, *Pedicularis caucasica*, *Pleurozium schreberi* (Willdenow ex Bridel) Mitten, *Primula elatior* (L.) Hill, *Ranunculus repens* L., *Sanguisorba officinalis* L., *Tragopogon filifolius* Rehmman ex Boiss., *Veronica gentianoides* и *Viola elatior* Fries. Единичные особи (sol) – *Anemona strumfasciculatum* (L.) Holub., *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., *Cardamine victoris* N. Busch, *Centaurea cheiranthifolia* Willd, *Gentiana dshimilensis* K. Koch, *Ornithogalum balansae* Boiss, *Ornithogalum ponticum*, *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium arctostaphylos* L., *Veronica persica* Poir. ex Lam. Коэффициент сходства по Жаккару второй площади с первой равен 0,46.

На исследованной территории произрастает чемерица белая (*Veratrum album*). Это многолетнее растение, которое встречается на открытой местности, на склонах. В связи с невозможностью закрепиться на поверхности, чемерица не растет высоко в горах, где неглубокий слой грунта. Может произрастать как одиночно, так и группами. Ядовита, в сырье содержатся разнообразные алкалоиды, причем в тонких корнях их больше. В надземной части содержание алкалоидов падает от весны к лету, а в фазу плодоношения они вовсе не обнаруживаются [6].

Встречается чемерица белая очень неравномерно: от единичных экземпляров до плотной популяции. В связи с этим проведено исследование плотности популяции данного вида. Растения виргинильные, очень редко в фазе бутонизации, лишь единичные особи – в фазе цветения. Были заложены три площади размером 10×10 м в направлении от склона на восток, проведен сплошной подсчет особей (табл. 1).

Таблица 1

Плотность популяции *Veratrum album*

Номер площади	Число особей
1	120
2	168
3	198

По результатам подсчета выявлено, что плотность популяции чемерицы на исследованном участке высокая и составляет в среднем 1,62 растения на м². Определили значения морфометрических показателей чемерицы для 10 растений с каждого участка (табл. 2).

Средние значения большинства показателей у исследованных растений сходны. Значительные колебания между минимальными и максимальными показателями наблюдались по высоте растений.

Таблица 2

Морфометрические показатели *Veratrum album*

Показатель	Площадь 1		Площадь 2		Площадь 3	
	среднее значение	min / max	среднее значение	min / max	среднее значение	min / max
Высота растений, см	72,3±2,6	22,5/109	60,0±4,1	29,0/108	73,9±2,9	35,0/109
Число метамеров, шт	6,2±0,2	3,0/10	5,9±0,2	4,0/8,0	5,9±0,2	4,0/8,0
Длина междоузлия второго метамера, см	11,8±0,2	8,0/14,9	11,6±0,4	5,7/14,8	11,3±0,3	8,0/14,8
Диаметр междоузлия второго метамера, см	7,1±0,2	4,0/10	7,1±0,3	4,0/10,0	6,8±0,2	4,0/10,0
Длина листа, см	11,1±0,2	8,0/45,0	11,5±0,3	8,0/14,0	11,2±0,3	8,0/14,0
Ширина листа, см	7,6±0,2	3,0/10,9	7,6±0,4	3,3/10,9	7,2±0,3	3,1/10,8

Таким образом, исследование показало, что видовое разнообразие растений зависит от условий произрастания, таких как экспозиция склона и высота над уровнем моря. На склоне северо-восточной экспозиции (площадь 2) выявлено большее многообразие растений и количество особей. Также обнаружены признаки негативного влияния выпаса скота (площадь 1) и туристической активности в зоне БТА на растения, такие как вытаптывание, уплотнение почвы, срывание растений, прокладывание троп и дорожек.

Библиографический список

1. Онищенко В. В., Дега Н. С., Узденов У. А. Динамика основных компонентов современного ландшафта в концепции устойчивого развития Карачаево-Черкесии // Модели популяционной динамики и мониторинг биоразнообразия для устойчивого развития горных районов : материалы междунар. науч.-практ. конф. Карачаевск, 2011. С. 155–172.
2. Джатдоева Д. Т. Систематический анализ флоры лекарственных растений Карачаево-Черкесии // Биоразнообразие, биоресурсы, новые материалы и здоровье населения Северо-Кавказского региона : материалы 56-й региональной конф. Ставрополь : Изд-во СГУ, 2011. С. 91–94.
3. Зернов А. С., Алексеев Ю. Е., Онищенко В. Г. Определитель сосудистых растений Карачаево-Черкесской Республики. М. : Тов-во науч. изд-во КМК, 2015. 459 с.
4. Зернов А. С. Растения Российского Западного Кавказа. Полевой атлас. М. : Тов-во науч. изд-во КМК, 2010. 448 с.
5. Методы изучения ценопопуляций цветковых растений : учебно-методическое пособие / сост. А. С. Кашин, Т. А. Крицкая, Н. А. Петрова, И. В. Шилова. Саратов, 2015. 127 с.
6. Регистр лекарственных средств России. Энциклопедия лекарств / под ред. Ю. Ф. Крылова. М. : РЛС, 2000. 1520 с.

ФЛОРА СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ БАССЕЙНА Р. Б. ПАТОК (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «ЮГЫД ВА», ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)

В. А. Канев

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

Была впервые исследована и проанализирована флора бассейна р. Б. Паток (бассейн р. Щугор) национального парка «Югыд ва» (Республика Коми), расположенная на Приполярном Урале. Выявлена систематическая, таксономическая и географическая структура флоры. В результате исследований выявлены новые местообитания редких охраняемых видов растений, подтверждена целесообразность охраны данной территории.

Ключевые слова: флора, сосудистые растения, национальный парк, Приполярный Урал, охраняемые растения.

Национальный парк «Югыд ва», расположенный в Республике Коми, – один из крупнейших природоохранных объектов федерального значения, утвержденный Постановлением Правительства Российской Федерации в 1994 г. Сосредоточенный здесь крупнейший в Европе массив ненарушенных таежных лесов играет важную роль в сохранении естественного хода природных процессов и поддержании разнообразия таежного биома.

Несмотря на то, что в последние десятилетия специалистами Института биологии Коми НЦ УрО РАН проведено углубленное изучение растительности, флор сосудистых и споровых растений национального парка, биот лишайников и грибов, выявлены новые, в том числе редкие виды и изучена структура их популяций, многие труднодоступные участки этого крупного резервата и западного макросклона Приполярного и Северного Урала в целом до настоящего времени не обследованы или обследованы не в полной мере [1]. Ранее были исследованы близлежащие территории в бассейне р. Щугор: в долине р. Щугор и её притоках, в бассейне р. Малый Паток – правого притока р. Щугор [2, 3].

В рамках продолжения инвентаризации биоразнообразия национального парка «Югыд ва» изучены две локальные флоры в бассейне р. Б. Паток: первая – в верхнем течении реки (2022 г., устье р. Надежд, 64°44' с. ш.; 59°22' в. д.), вторая – в среднем течении реки (2023 г., устье р. Потэмью, 64°36' с. ш.; 59°00' в. д.). Кроме того, для составления общего списка растений и анализа флоры бассейна р. Б. Паток использованы данные, полученные в результате исследований, проведенных в истоке р. Паток (2006 г., левый приток р. Б. Паток, в 15 км вверх по течению от устья р. Надежд, 64°40' с. ш.; 59°41' в. д.). Флору бассейна р. Б. Паток изучали маршрутным методом с обследованием всех встречающихся местообитаний (долина р. Б. Паток с при-

токами, гольцовый, горно-тундровый, подгольцовый, горно-лесной пояса) и типов растительности (лесная, тундровая, болотная, кустарниковая, травяная). Протяженность радиальных маршрутов составляла до 7 км. Кроме того, при составлении списка локальной флоры использованы данные геоботанических описаний. Видовой состав локальных флор документирован гербарными сборами, хранящимися в гербарии Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO). Определение растений выполнено с использованием монографии [4]. Данная сводка использована и при отнесении вида к географическим группам ареалов. Названия растений и семейств приводятся по сводке [5].

Объединенная флора бассейна р. Б. Паток насчитывает 347 видов сосудистых растений, относящихся к 190 родам и 65 семействам, что составляет половину флоры национального парка «Югыд ва» (668 видов) [6]. Пропорция флоры (среднее число родов и видов в одном семействе) составляет 1:2,6:4,4. Локальные флоры насчитывают от 245 до 261 видов растений.

К высшим споровым сосудистым растениям, которые представлены папоротниками, хвощами, плаунами, относятся 33 вида (9,5%). Шестнадцать видов принадлежат к папоротниковидным: *Athyrium distentifolium* Tausch ex Opiz, *Cryptogramma crispa* (L.) R. Br., *C. Stelleri* (S.G. Gmel.) Prantl, *Cystopteris fragilis* (L.) Bernh., *Diplazium sibiricum* (Turcz. ex G. Kunze) Kurata, *Dryopteris fragrans* (L.) Schott, *D. dilatata* (Hoffm.) A. Gray, *D. filix-mas* (L.) Schott, *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm., *Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt, *Asplenium viride* Huds., *Polystichum lonchitis* (L.) Roth, *Rhizomatopteris montana* (Lam.) A. Khokhr., *Woodsia glabella* R. Br., *Botrychium boreale* Milde, *B. lunaria* (L.) Sw.

Разнообразие хвощевидных и плауновидных немного меньше (восемь и девять видов соответственно), чем папоротниковидных. Хвощи с высоким постоянством и обилием встречаются в различных фитоценозах: в лесах – *Equisetum sylvaticum* L. и *E. hyemale* L., на луговинах – *E. arvense* L. и *E. pratense* Ehrh.; *E. fluviatile* L. и *E. palustre* L. образуют заросли по берегам водоемов и водотоков; в горных тундрах и на выходах горных пород иногда отмечены *E. scirpoides* Michx. и *E. variegatum* Schleich. ex Web et Mohr. Плауновидные значительного обилия не достигают. Они встречаются в сообществах лесов и редколесий (*Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub, *Lycopodium annotinum* L., *L. clavatum* L.), в горных тундрах (*Diphasiastrum alpinum* (L.) Holub, *Huperzia arctica* (Tolm.) Sipl., *H. selago* (L.) Bernh. ex Schrank et C. Mart., *Lycopodium lagopus* (Laest.) Zinserl. ex Kuzen., *L. dubium* Zöega, *Selaginella selaginoides* (L.) C. Mart.). Семь видов принадлежат к голосеменным растениям, которые представлены хвойными: *Abies sibirica* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour, *Juniperus communis* L. и *J. sibirica* Burgsd. Первые четыре из перечисленных таксонов принадлежат к числу эдификаторов лесных сообществ.

Остальные виды (308) относятся к покрытосеменным или цветковым растениям, из которых 93 – однодольные, а 215 – двудольные. Соотношение однодольных и двудольных составляет 1:2,3.

Наибольшим числом видов во флоре бассейна р. Б. Паток характеризуются семейства Poaceae Barnhart (37), Asteraceae Dumort. (37), Cyperaceae Juss. (28), Rosaceae Juss. (19), Ranunculaceae Juss. (16), Caryophyllaceae Juss. (15), Salicaceae Mirb. (15), Ericaceae Juss. (13), Scrophulariaceae Juss. (12) и Juncaceae Juss. (9). Остальные семейства включают от восьми до одного вида. Доля видов в 10 ведущих семействах составляет 57,9%. В локальных флорах состав ведущих семейств такой же, но их ранги участия во флоре отличаются.

Растения, встречающиеся во флоре западного макросклона Приполярного Урала, относятся к разным географическим элементам. Географический анализ флоры по составу широтных групп показал преобладание бореальных видов, которые составляют более половины от общего числа выявленных сосудистых растений – 194 вида, или 55,9%. Среди бореальных видов такие эдификаторы и доминанты растительных сообществ, как *Abies sibirica*, *Larix sibirica*, *Picea obovata*, *Aconitum septentrionale* Koelle, *Bistorta major* S. F. Gray, *Calamagrostis purpurea* (Trin.) Trin., *Carex rostrata* Stokes, *Crepis sibirica* L. Намного меньше таксонов (120 видов, или 34,6%) принадлежат к другим северным широтным группам: арктической, аркто-альпийской и гипоарктической. Арктических видов, характерных для тундровой зоны, – 15, или 4,3%: *Carex rariflora* (Wahlenb.) Smith, *Carex rotundata* Wahlenb., *Harrimanella hypnoides* (L.) Cov., *Hedysarum arcticum* B. Fedtsch., *Salix lanata* L., *Taraxacum nivale* Lange ex Kihlm. и др. Аркто-альпийских видов – 62, или 17,8%: *Cryptogramma crispa*, *Eriophorum scheuchzeri* Hoppe, *Omalotheca supina* (L.) DC., *Oxyria dygyna* (L.) Hill, *Pachypleurum alpinum* Ledeb., *Poa alpina* L., *Potentilla crantzii* (Crantz) G. Beck ex Fritsch, *Salix nummularia* Anderss., *Salix recurvigemma* A. Skvorts. и др. Гипоарктических видов отмечено 46, или 13,3%: *Calamagrostis lapponica* (Wahlenb.) C. Hartm., *Equisetum scirpoides*, *Juniperus sibirica*, *Pinguicula vulgaris* L., *Tephroseris integrifolia* (L.) Holub и др.

Суммарное участие таксонов южных широтных групп (12 видов) составило 3,7%. Неморальные виды во флоре отсутствуют. Лесостепной вид один – *Hedysarum alpinum* L., обнаружен на скальных выходах в долине ручья. Неморально-бореальных видов зарегистрировано 11, или 3,2%: *Crepis paludosa* (L.) Moench, *Dryopteris dilatata*, *D. filix-mas*, *Lamium album* L., *Melica nutans* L., *Milium effusum* L., *Padus avium* Mill., *Paris quadrifolia* L. и др.; они произрастают в смешанных лесах разнотравных в долинах рек. Шестнадцать видов (4,6%) имеют полизональное распространение: *Callitriche cophocarpa* Sendtner, *Cerastium holosteoides* Fries, *Equisetum arvense*, *E. fluviatile*, *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert, *Potamogeton alpinus* Balb и др.; большинство из них произрастает во влажных экотопах, водных и болотных сообществах. По одному виду принадлежат к бореально-горной (*Asplenium viride*) и горно-степной (*Polystichum lonchitis*) широтным группам.

Среди долготных групп преобладают виды с широкими голарктическими (*Allium schoenoprasum* L., *Alopecurus aequalis* Sobol., *Carex pauciflora* Lightf., *Cerastium arvense* L., *Juniperus communis*) и евразийскими (*Agrostis gigantea* Roth, *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm., *Carex juncella* (Fries) Th. Fries,

Diplazium sibiricum, *Rubus saxatilis* L.) ареалами. Их доли составляют соответственно 43,2% и 33,1% от общего числа видов. Это типичная черта флоры таежной зоны Голарктики. Европейских видов 39, или 11,2% от общего числа таксонов – *Anthoxanthum odoratum* L., *Euphrasia frigida* Pugsl., *Nardus stricta*, *Viola epipsila* Ledeb. и др. К азиатским относятся 35 видов, или 10,1%: деревья (*Abies sibirica*, *Larix sibirica*), кустарники (*Juniperus sibirica*, *Ribes hispidulum* (Jancz.) Pojark., *Salix jenssensis* (Fr.Schmidt) B. Floder.), травы (*Cerastium davuricum*, *Trisetum sibiricum* и др.). Соотношение европейских и азиатских (сибирских) видов закономерно отражает положение изученной территории на границе двух частей света – Европы и Азии. Космополитных видов пять (1,4%) – *Callitriche ophocarpa*, *Cystopteris fragilis*, *Lemna minor* L., *Poa annua* L., *Sagina procumbens* L. Три вида (0,8%) являются эндемиками Северного и Приполярного Урала: *Anemonastrum biarmense* (Juz.) Holub, *Gagea samojedorum* Grossh., *Thymus paucifolius* Klok.

Во флоре бассейна р. Б. Паток произрастают 26 видов сосудистых растений, занесенных в Красную книгу Республики Коми [7]. Три вида: *Cryptogramma crispa*, *Pinus sibirica*, *Botrychium boreale* – отнесены к группе таксонов с категорией статуса редкости 2. 22 вида классифицированы как редкие (категория статуса редкости 3): *Anemonastrum biarmense*, *Artemisia norvegica* Fries., *Asplenium viride*, *Cirsium helenioides* (L.) Hill, *Cotoneaster x antoninae* Juz. ex. Orlova, *Cryptogramma stelleri*, *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo, *Diapensia lapponica* L., *Dryopteris filix-mas*, *Dryopteris fragrans*, *Gagea samojedorum*, *Hedysarum alpinum*, *Leucorchis albida* (L.) E. Mey., *Paeonia anomala* L., *Pedicularis amoena* Adams ex Stev., *Polystichum lonchitis*, *Potentilla kuznetzowii* (Gorvor.) Juz., *Rhodiola rosea* L., *Salix recurvigemma*, *Saxifraga oppositifolia* L., *Tephrosieris atro purpurea* (Ledeb.) Holub, *Woodsia glabella*. Один вид – *Thymus paucifolius* – относится к категории 4 – к видам с неопределенным статусом. Шестнадцать видов относятся к таксонам, которые нуждаются в постоянном контроле численности популяций и включены в приложение 1 к региональной Красной книге [7]: *Cardamine bellidifolia* L., *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo, *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Draba cinerea* Adams, *Harrimanella hypnoides* (L.) Cov., *Hedysarum arcticum*, *Loydia serotina* (L.) Reichenb., *Loiseleuria procumbens* (L.) Desv., *Oxyria dygyna* (L.) Hill, *Phyllodoce caerulea* (L.) Bab., *Poa remota* Forsell., *Poa sibirica* Roshev., *Rhizomatopteris montana*, *Utricularia minor* L., *Veronica alpina* L., *Xamilenis acaulis* (L.) Tzvel. Все флористические находки редких и охраняемых видов для данного района являются новыми.

Часть популяций редких и охраняемых растений, найденных в районах исследований, находятся в стабильном состоянии, отличаются высокими численностью и плотностью (*Anemonastrum biarmense*, *Cryptogramma crispa*, *Dryopteris filix-mas*, *Diapensia lapponica*, *Paeonia anomala*, *Pinus sibirica*, *Polystichum lonchitis*, *Rhodiola rosea*).

Флора бассейна р. Б. Паток имеет смешанные бореальные и горные черты, в ней при преобладании бореальных таксонов заметна доля видов других северных широтных групп (арктической и аркто-альпийской) при

низком участии видов южных широтных групп. Это закономерно и обусловлено тем, что данная территория расположена в предгорьях Приполярного Урала с отметками абсолютных высот от 200 до 1000 м над ур. м. Сорные и заносные растения полностью отсутствуют, что свидетельствует об отсутствии антропогенного воздействия на экосистемы. Во флоре произрастает 26 видов растений, занесенных в Красную книгу Республики Коми, и 16 видов нуждаются в постоянном контроле численности популяций и включены в приложение 1 к региональной Красной книге. Часть популяций редких и охраняемых растений находятся в стабильном состоянии, отличаются высокими численностью и плотностью.

Исследования проведены в ходе выполнения темы государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Выявление и инвентаризация ключевых биотопов растений и грибов на европейском северо-востоке России», № государственной регистрации 125021902460-2.

Библиографический список

1. Флоры, лишено- и микобиоты особо охраняемых ландшафтов бассейнов рек Косью и Большая Сыня (Приполярный Урал, национальный парк «Югыд ва») / под ред. С. В. Дёгтевой. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2016. 483 с.
2. Канев В. А. Редкие и охраняемые сосудистые растения южной части Приполярного Урала в границах национального парка «Югыд ва» (Республика Коми, бассейны рек Щугор и Вангыр) // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана : IV Всерос. науч. конф. Сыктывкар : ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2023. С. 357–363.
3. Бассейн реки Малый Паток: дикая природа / отв. ред. В. И. Пономарев. Сыктывкар, 2007. 216 с.
4. 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.
5. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / под ред. Г. С. Розенберга, С. В. Саксонова. СПб. : Мир и семья, 1995. 990 с.
6. Мартыненко В. А., Дёгтева С. В. Конспект флоры национального парка «Югыд ва» (Республика Коми). Екатеринбург : УрО РАН, 2003. 108 с.
7. Красная книга Республики Коми. Сыктывкар : ООО «Коми республиканская типография», 2019. 768 с.

ФЛОРА ОЗЕРА АРХИЕРЕЙСКОЕ (ЛАИШЕВСКИЙ РАЙОН, РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН)

Д. С. Любарский, С. В. Бердник

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, г. Казань, Россия, lds57@mail.ru*

На основе материалов экспедиции 2024 г. изучена макрофитная флора оз. Архирейское (Лайшевский район, Республика Татарстан). Список обнаруженных растений включает 56 видов; настоящие водные растения представлены 19 видами, из которых 5 – водоросли. Растительностью покрыто 37,5% площади дна озера. Основной вклад приходится на гидрофиты – 35,3%.

Наибольшее участие в зарастании имеют фитоценозы с доминированием *Ceratophyllum demersum* L. (20,0%) и *Elodea canadensis* Michx. (14,7%).

Ключевые слова: флора, растительность, макрофиты, ареалогический анализ, экологический анализ, эколого-ценотический анализ, оз. Архиерейское, Республика Татарстан.

Особо охраняемые природные территории в силу своего статуса находятся под наблюдением, что особенно актуально для территорий, подвергающихся повышенной антропогенной нагрузке. Озеро Архиерейское (Тарлашинское) постановлением Совета Министров Татарской АССР от 10 января 1978 г. № 25 и постановлением Кабинета Министров Республики Татарстан от 29 декабря 2005 г. № 644 признано памятником природы регионального значения.

Это озеро карстово-суффозионное, водораздельное, расположено в Лаишевском районе Татарстана (N 55,55° E 49,14°). Имеет вытянутую форму – 2,5 км длиной и до 0,49 км шириной, протяженность береговой линии – 6,6 км; максимальная глубина – 22 м; площадь водного зеркала 67 га. Питание смешанное, с преобладанием подземного и грунтового типов [1].

Водоём является одним из наиболее глубоких и крупных по площади в республике. Несмотря на его примечательность, очень немногое известно о его растительном покрове. По имеющимся источникам, для озера отмечается присутствие таких макрофитов, как *Nuphar lutea* (L.) Sm. [2, 3], *Elodea canadensis* Michx., преобладающей «в ярусе погруженной растительности» на глубинах от 0,5 до 2,6 м, а также *Myosoton aquaticum* (L.) Moench и *Hippuris vulgaris* L. [4].

Макрофиты, как компонент экосистемы водоёма, имеют важное значение: являясь прямыми конкурентами фитопланктону, препятствуют «цветению воды»; переводят круговорот вещества в более долгие циклы [5], стабилизируют гидрохимический режим; являются кормовой базой и убежищем для фауны, способствуя разнообразию последней; богатый флористический мир является отражением устойчивости экосистемы.

Цель данной работы – расширить представление о флоре оз. Архиерейское.

Гидрботанические исследования озера проведены в июле-августе 2024 г. Описание водной и прибрежно-водной растительности осуществлено по общепринятым методам [6, 7]. Изучение растительности проведено путем детально-маршрутного обследования.

Исходя из особенностей ландшафта, озеро можно разделить на три части: южную с обширными мелководьями, срединную и северную – с проявлениями карста. Северная часть озера окружена частной застройкой поселка Тарлаши, подходящей вплотную к урезу воды.

Растения исследованы на 63 пробных площадках, расположенных на 8 заложенных профилях, а также вне их. Составлены карты-схемы зарастания

озера, на которые нанесены контуры растительных сообществ с обозначением доминантов. Береговая линия, размеры и форма озёра определены по спутниковым фотоснимкам (Yandex.ru, SAS.Планета), с использованием данных батиметрической съёмки ИПЭН АН РТ. Показатели степени зарастания озера рассчитаны как отношение площади зарослей к площади акватории, выраженное в процентах [7].

Экологические группы растений флоры водоёма выделены в соответствии с принятой системой [7]; эколого-ценотические – основаны на подходах А. А. Ниценко [8]. Номенклатура видов приводится по следующим сводкам и определителям [7, 9–11].

Флора оз. Архиерейское включает 56 видов из 42 родов и 31 семейства [12].

Большая часть из них, 50 видов (или 89,3% исследуемой флоры), относится к высшим сосудистым растениям (табл.); от совокупной флоры республики [9] это число составляет 3,1%, а от флоры макрофитов водотоков и водоёмов Среднего Поволжья [7] – 11,8%.

Таблица

Таксономическое разнообразие растений оз. Архиерейское

Таксон	Число видов		Число семейств
	абс.	доля, %	
Высшие сосудистые растения	50	89,3	26
Отдел Magnoliophyta	47	83,9	23
Класс Magnoliopsida	24	42,9	12
Класс Liliopsida	23	41,1	11
Отдел Polypodiophyta	2	3,6	2
Отдел Equisetophyta	1	1,8	1
Отдел Bryophyta	1	1,8	1
Algae	5	8,9	4
Всего	56	100,0	31

Географическая структура флоры высших сосудистых растений исследованного участка представлена 11 типами ареалов. Преобладают виды с широкими ареалами – голарктическим (20 видов) и евроазиатским (17), включающие более половины видового состава (74,0%), среди последних 11 видов с евро-западноазиатским типом ареала (22,0%). Такое соотношение географических элементов флоры характерно и для всей территории Республики Татарстан [9] в целом. Наличие всего одного заносного вида (*Elodea canadensis*) говорит о невысокой степени антропогенной трансформации флоры озера.

Экологическая структура флоры состоит из пяти экотипов. Околоводные растения представлены 19 видами (гигрофиты – 15, гигромезофиты и мезофиты – 4); прибрежно-водные – 18 (гелофиты – 10 и гигрогелофиты – 8). Настоящих водных растений 19 (или 33,9% от флоры водоёма). Среди них на водоросли приходится 5 видов, на высшие сосудистые растения – 14: папоротник и покрытосеменные. Комплекс гидрофитов включает в себя растения

всех экологических групп экотипа, что может свидетельствовать об удовлетворительных и стабильных условиях озера. Наиболее крупная из групп – погруженных прикрепленных к почве растений (6 видов), в неё же входят и наиболее массовые виды.

Подобное распределение высших сосудистых растений показывает анализ по фитоценологической приуроченности [8], согласно которой к водным относится 15 видов, к водно-болотным – 15, а комплекс растительности близ уреза сложен растениями низинно-болотной (7), приречной (5), рудеральной (3), влажно-луговой (2), лесо-болотной, луговой и гигрофитной (по 1) эколого-ценотических групп.

Растительностью покрыто около 37,5% площади водоёма от уреза и до глубин в 2,5–3,3 м. Лидирующее положение в сложении растительного покрова имеют два вида: *Eloдея canadensis* (14,7%), занимающая горизонт от уреза воды до глубины 1–1,4 м, и *Ceratophyllum demersum* L. (20,0%), располагающийся следующим, более глубоким поясом до глубины 2,5–3,3 м. Отмечается более глубоко заходящий растительный покров в южной – до 3,3 м – части озера в сравнении с северной, где доходит до 2,5 м глубины. Такая тенденция коррелирует с выявленными показателями прозрачности: около 2 м в северной части и до 3–3,3 м – в южной.

Распределение видов флоры по озеру неравномерно. В северной части, в близости от построек, широкое распространение получают водоросли, особенно *Genicularia*, *Lyngbya*. Заливы южной части озера показывают высокое – вдвое, в сравнении с северной и срединной – богатство сосудистых растений, в частности, все виды рода *Potamogeton* L. выявлены только здесь, и приурочены к зарослям элодеи.

Среди погруженных растений отсутствуют мхи (экогруппа «макроводорослей и мхов» [по 7]), однако обнаружены их остатки в донных илах, что может являться свидетельством возможного кризиса, имевшего место в истории озера.

Прибрежно-водными и околотовдными растениями занято около 2,2% площади водоёма, преимущественно вдоль береговой линии. Лидирующие положения в сложении растительности приходятся на *Carex cespitosa* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. и *Sparganium emersum* Rehm. Распределение видов околотовдных и прибрежно-водных по разным частям озера достаточно равное, с незначительным увеличением богатства в южной оконечности.

В результате проведенных исследований установлено, что современное видовое разнообразие водных, прибрежно-водных и околотовдных растений оз. Архиерейское представлено не менее, чем 56 видами макрофитов, в числе которых: сосудистые – 50 видов (папоротники – 2, хвощ – 1, цветковые – 47) мхи – 1 вид и водоросли – 5 видов. Флора сложена растениями 11 типов ареалов с преобладанием видов с широкими ареалами – голарктическим и евроазиатским.

Основная доля флоры представлена гидрофитами – 33,9%, гелофиты составляют 17,9%, гигрогелофиты – 14,3%, гигрофиты – 26,8%, гигромезофиты и мезофиты – 7,1%. Основу фитоценологического спектра составляют водные и водно-болотные растения (по 15 видов).

Растительностью покрыто 37,5% площади дна водоёма. Основной вклад приходится на группу настоящих водных растений (35,3%), а среди них – на *Ceratophyllum demersum* – 20,0% и *Elodea canadensis* – 14,7%.

Среди гидрофитов присутствуют растения всех экологических групп, что может говорить об удовлетворительных и стабильных условиях, сложившихся в озере.

Из четырех видов растений, известных для флоры озера по литературе, – *Hippuris vulgaris*, *Myosoton aquaticum*, *Elodea canadensis* и *Nuphar lutea*, первый нами не выявлен; второй присутствует в водоохранной зоне озера, однако, будучи растением влажных лугов, не относится к флоре водоёма.

Библиографический список

1. Государственный реестр особо охраняемых природных территорий в Республике Татарстан / А. И. Щеповских. Казань: Кабинет Министров Республики Татарстан. 2009. С. 194–195.
2. Мельникова А. В. Зообентос озёр Архиерейское и Чёрное Лаишевского района Республики Татарстан // Труды Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника. Казань: Фолиант, 2016. Вып. 7. 324 с.
3. iNaturalist [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.inaturalist.org> (дата обращения: 10.12.2024).
4. Геоэкологическая оценка состояния озера Архиерейское Лаишевского района Республики Татарстан / Э. Г. Набеева, Н. М. Мингазова, И. С. Шигапов и др. // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 4. С. 118.
5. Мережко А. И. К вопросу о роли высших водных растений в детоксикации вредных веществ в водоемах // Высшие водные и прибрежно-водные растения: материалы 1-й Всесоюз. конф. (г. Борок, 20–23 апреля 1977 г.). Борок, 1977. С. 20–22.
6. Катанская В. М. Методика исследования высшей водной растительности // Жизнь пресных вод СССР. М.–Л.: Изд-во АН СССР. 1956. Т. 4. Ч. 1. С. 160–182.
7. Папченков В. Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: МУБиНТ, 2001. 213 с.
8. Ниценко А. А. Об изучении экологической структуры растительного покрова // Бот. журн. 1969. Т. 54. № 7. С. 1002–1014.
9. Бакин О. В., Рогова Т. В., Ситников А. П. Сосудистые растения Татарстана. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2000. 496 с.
10. Зеленые, красные и бурые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР / К. Л. Виноградова, М. М. Голлербах, Л. М. Зауер, Н. В. Сдобникова. Л., 1980. Т. 13. 248 с.
11. Черепанов С. К. Сосудистые растения СССР. Л.: Наука, 1981. 509 с.
12. Любарский Д. С., Токинова Р. П., Бердник С. В. Макрофиты озера Архиерейское (Татарстан), по материалам экспедиции 2024 г. // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: III Междунар. конф. (г. Казань, 20–23 мая 2025 г.). Казань, 2025. (принято в печать)

ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СОСТАВ ПОЙМЕННОЙ ДУБРАВЫ (НОЛИНСКИЙ РАЙОН, КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Д. А. Осина, С. В. Шабалкина

Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
Nasturtium2017@yandex.ru

В статье приводятся результаты исследования вертикальной структуры и отдельных особенностей флоры дубравы, расположенной в пойме левого берега среднего течения р. Вятки. Выявлено, что дубовые леса однопородные в древостое с доминированием во флоре мезофитов, видов влажнолуговой и неморальной эколого-ценотических групп.

Ключевые слова: древостой, подрост, подлесок, травостой, ярусность, проективное покрытие, *Quercus robur* L.

Дубравы давно привлекают внимание исследователей в связи с разнообразием состава слагающих их растений, выявлением влияния экологических факторов на возобновление и распространение сообществ, сложностью вопросов происхождения и эволюции, многогранностью хозяйственного использования древесных и недревесных ресурсов, массовым сокращением их площадей и т.д. Известно, что вблизи северной границы распространения в европейской части России *Quercus robur* L. встречается в виде небольших фрагментов или незначительных по площади массивов в долинах и поймах рек. Однако, имеются предположения о более северном его распространении в прошлом [1].

В Кировской области дуб черешчатый произрастает в пойме р. Вятки: встречается от устья реки до г. Кирова и далее – до устья впадающей в р. Вятку р. Чепцы [2]. Наиболее известны четыре крупных местопроизрастания *Quercus robur* в регионе: Заречный парк (черта г. Кирова); правый берег р. Чепцы (г. Кирово-Чепецк); Котельничская дубовая роща и дубняки на территории государственного природного заповедника «Нургуш» (Котельничский район) [3].

Несмотря на многостороннее изучение дубняков и *Quercus robur* в центральной части ареала и на границах, остается актуальным исследование современного состава этих сообществ в связи с их деградацией и сокращением площадей.

Объектом исследования стала дубрава, расположенная в пойме левого берега среднего течения р. Вятки (в Нолинском районе Кировской области). В месте произрастания сообществ выполняли полные геоботанические описания в летний сезон 2019–2023 гг. по традиционным методикам путём закладки временных пробных площадей размером 400 м² [4].

Обследованные фитоценозы – дубняки разнотравный, ландышевый, подмаренниково-ландышевый, подмаренниковый – имеют куртинное распо-

ложение. Они однопородные в древостое из *Quercus robur*, средний диаметр ствола которых составляет 49,3 см, средняя высота – 20 м. Многие деревья ослабленные, что выражается в наличии морозобойных трещин, усыхающих ветвей в кроне, дупел, загнившей сердцевины, нарушениях коры и др. Сомкнутость крон 0,4–0,5.

Подрост также образован преимущественно дубом черешчатым мелким и средним по высоте, здоровым и сомнительным по степени жизнеспособности. Единично встречаются *Ulmus glabra* Huds., *Ulmus laevis* Pall. и *Populus tremula* L. Подлесок густой, с сомкнутостью пологот от 20 до 60% (среднее – 38%), разнообразен по видам (11). Основную долю в нем составляет *Rosa majalis* Herrm. (до 50%), произрастающая на всех пробных площадях. Достаточно часто (почти на всех пробных площадях) встречаются *Viburnum opulus* L. и *Malus sylvestris* Mill. Значительно реже отмечены *Corylus avellana* L., *Lonicera xylosteum* L., *Prunus padus* L., *Frangula alnus* Mill., *Rosa acicularis* Lindl., *Rubus idaeus* L., *Amelanchier ovalis* Medik., *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt.

Травостой густой, проективное покрытие его варьирует от 70 до 90% (среднее – 85%). По проективному покрытию преобладают в нем *Trifolium medium* L., *Convallaria majalis* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Galium boreale* L., *Rubus saxatilis* L., *Melampyrum pratense* L. Постоянным видом, т. е. встречающимся на всех пробных площадях, является *Convallaria majalis*; на 80% площадей произрастают *Trifolium medium*, *Kadenia dubia* (Schkuhr) Lavrova & V. N. Tikhom, *Inula salicina* L., *Adenophora liliifolia* (L.) A. DC., *Filipendula ulmaria*, *Heracleum sibiricum* L. и др. На 60% участков отмечены *Vicia cracca* L., *Galium boreale*, *Bromus inermis* Leyss., *Phleum pratense* L., *Tanacetum vulgare* L., *Sanguisorba officinalis* L. и др.

В результате таксономического анализа выявлено 70 видов растений из 29 семейств. Самыми крупными семействами цветковых являются Rosaceae и Poaceae, включающими по 10 родов и 12 видов; на втором месте расположилось Asteraceae. Слабее представлены Fabaceae, Ranunculaceae, Apiaceae, Rubiaceae. На ведущие семь семейств в совокупности приходится 44 видов, что составляет 63% от выявленной флоры (табл.). По одному роду и виду насчитывают 18 семейств.

Таблица

Число родов и видов в составе семейств флоры

Название семейства	Число родов, шт.	Число видов, шт.	Название семейства	Число родов, шт.	Число видов, шт.
1	2	3	4	5	6
Rosaceae	10	12	Caprifoliaceae	1	1
Poaceae	10	12	Orobanchaceae	1	1
Asteraceae	6	7	Campanulaceae	1	1
Fabaceae	3	4	Viburnaceae	1	1
Apiaceae	3	3	Salicaceae	1	1
Ranunculaceae	2	3	Iridaceae	1	1
Rubiaceae	1	3	Betulaceae	1	1

1	2	3	4	5	6
Ulmaceae	1	2	Rhamnaceae	1	1
Primulaceae	1	2	Geraniaceae	1	1
Cyperaceae	1	2	Lamiaceae	1	1
Plantaginaceae	2	2	Brassicaceae	1	1
Fagaceae	1	1	Violaceae	1	1
Caryophyllaceae	1	1	Hypericaceae	1	1
Polypodiaceae	1	1	Crassulaceae	1	1
Asparagaceae	1	1			

Самое большое количество видов в составе родов – три – это *Galium* L. (Rubiaceae); по два вида – в родах *Achillea* L. (Asteraceae), *Carex* L. (Cyperaceae), *Vicia* L. (Fabaceae), *Poa* L. и *Lolium* L. (Poaceae), *Ranunculus* L. (Ranunculaceae), *Rosa* L. (Rosaceae), *Ulmus* L. (Ulmaceae).

В результате эколого-ценотического анализа выявлено, что растения распределены по 12 эколого-ценотическим группам: неморальная, неморально-опушечная высокотравная, нитрофильная, бореальная, бореально-опушечная высокотравная, адвентивная, влажнолуговая, сухолуговая, водно-болотная, боровая, сорная и опушечно-степная. Значительную долю (40%) составляют влажнолуговые виды (*Ranunculus polyanthemos* L., *Geranium pratense* L., *Alopecurus pratensis* L. и др.). Второе место занимают неморальная и неморально-опушечная высокотравная группы в совокупности (27%): *Melica nutans* L., *Adenophora liliifolia* (L.) A. DC., *Corylus avellana* L. и др. На третьем месте (по 9%) находятся две группы: нитрофильная (*Prunus padus*, *Filipendula ulmaria* и др.), бореальная и бореально-опушечная высокотравная в совокупности (*Rubus idaeus*, *Melampyrum pratense* и др.). На виды остальных групп в сумме приходится 15%.

По отношению к влажности выделены следующие экологические группы растений: мезофиты, ксеромезофиты и мезоксерофиты, мезогигрофиты и гигромезофиты, ксерофиты. Доминируют мезофиты – 50 видов (или 71%); мезогигрофиты и гигромезофиты в совокупности занимают вторую позицию – 12 видов (или 17%); на третьем месте расположились ксеромезофиты и мезоксерофиты – в сумме 6 видов (или 9%); ксерофитов – два вида (или 3 %).

Таким образом, в дубраве преобладают растения, которые предпочитают средние условия увлажнения. Это связано с положением обследованных фитоценозов в центральной части поймы, на участках с луговыми почвами и короткопоемными условиями, что обеспечивает существование здесь мезофитов, влажнолуговых видов.

Сопоставляя с данными, имеющимися для флоры памятника природы регионального значения «Котельничская пойменная дубовая роща» [5], заметно, что видовое разнообразие ниже. Это обусловлено тем, что на охраняемой территории имеется большое количество экотопов с высокой влажностью; кроме дубняков встречаются хвойные сообщества, водная и прибреж-

но-водная растительность, в связи с чем появляются таксоны из экологических групп гигрофиты и гидрофиты. С другой стороны, для полного выявления видового состава флоры необходимы исследования на протяжении всего вегетационного сезона в течение нескольких лет, тогда как мы исследования проводили только летом.

В дубняках изученной дубравы произрастают два вида, занесённых в Приложение 2 Красной книги Кировской области [6] – *Convallaria majalis* и *Iris sibirica* L. Присутствуют также виды, которые редко встречаются на территории региона [7]: *Adenophora liliifolia*, *Galatella rossica* Novopokr, *Poa nemoralis* L., *Sanguisorba officinalis* L.

Таким образом, дубравы формируются под влиянием как зональных, так и а зональных факторов, характерных для пойм рек. В результате исследования выявлено, что дубовые леса однопородные в древостое с доминированием во флоре Rosaceae, Poaceae, Asteraceae, Fabaceae, Ranunculaceae, Apiaceae и Rubiaceae; мезофитов; видов влажнолуговой и неморальной эколого-ценотических групп. Многочисленными работами показано, что дубравы в настоящее время деградируют, площади их сокращаются, в связи с чем исследования подобного типа позволяют характеризовать современное состояние фитоценозов, организовывать длительные наблюдения за изменениями растительности и флоры.

Библиографический список

1. Иванова М. Г. Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) на северном пределе распространения в Европейской части России. Архангельск, 2022. 197 с.
2. Махнев А. К., Видякин А. И., Махнева Н. Е. Состояние и перспективы сохранения дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на северо-восточном пределе – в пойме реки Вятки // Лесной вестник. 2013. № 6. С. 144–148.
3. Лачоха Е. П. История изучения распространения *Quercus robur* L. в пойме среднего течения р. Вятки // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы X Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 4–5 декабря 2012 г.). Кн. 1. Киров : ООО «Лобань», 2012. С. 57–60.
4. Методы изучения лесных сообществ. СПб. : НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
5. Растительность и флора ООПТ «Котельничская пойменная дубовая роща» (Кировская область) / В. Н. Сулейманова, Т. Л. Егошина, Е. В. Гордеева, Н. Ю. Егорова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2 (2). С. 507–510.
6. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы / под ред. О. Г. Барановой и др. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.
7. Тарасова Е. М. Флора Вятского края. Ч. 1. Сосудистые растения. Киров : ОАО «Кировская обл. типография», 2007. 440 с.

К ОЦЕНКЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СФАГНОВОГО БОЛОТА ВОЛЖСКО-КАМСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Р. Р. Хафизов, Д. В. Тишин, А. Р. Давлетишин
Казанский федеральный университет,
г. Казань, Россия, kpfuecology@gmail.com

В статье представлены результаты исследования продуктивности болотных экосистем, на примере сфагнового болота озера «Долгое» Волжско-Камского заповедника (Республика Татарстан). Установлена биомасса деревьев на пробных площадях и всего сфагнового покрова болота. Изучены радиальный прирост деревьев сосны обыкновенной и урожайность клюквы болотной. Полученные результаты могут быть полезными для расчета баланса углерода растений.

Ключевые слова: болото, сфагнум, прирост, урожайность, углерод, заповедник.

Изучение биологической продуктивности болот имеет большое теоретическое значение для познания закономерностей функционирования экосистем данного типа растительности. Кроме того, эти данные являются совершенно необходимыми для расчетов депонирования углерода [1].

В качестве объекта исследования выбрана уникальная болотная экосистема сфагновой сплавины озера «Долгое», Раифский участок Волжско-Камского государственного биосферного заповедника (Зеленодольский район, Республика Татарстан). Данное болото представляет собой сосняк кустарниково-сфагновый, породный состав 10С ед.Б., полнота 0,4. В кустарниковом ярусе доминируют хамедафне, подбел, багульник и клюква. Площадь – 10,8 гектар. В 2023 г. для исследования древостоя заложены две круглые площади диаметром по 20 м. Внутри каждой площади проводили сплошной учет всех деревьев. Биометрические показатели деревьев определяли общепринятыми в лесной таксации методами. Диаметр ствола – средним значением двух взаимно перпендикулярно проведенных замеров на высоте груди. Высоту деревьев измеряли с помощью эклиметра [2]. Биомассу деревьев сосны определяли по справочным данным [3].

Анализ радиального прироста деревьев проводили по методике, принятой в дендрохронологических исследованиях [4, 5]. Для отбора радиальных кернов использовали бур Пресслера. На кернах ширину годовичных колец измеряли с помощью полуавтоматической установки Lintab с точностью до 0,01 мм [6]. Годичный прирост биомассы деревьев определяли по формуле:

$$C = a \cdot h^b \cdot (d_1^{2b} - d_2^{2b})$$

где: C – прирост биомассы, кг абсолютно сухого веса; d_1 – диаметр ствола в текущем году, см; d_2 – диаметр ствола в прошлом году, см; h – высота дере-

ва, м; a и b – коэффициенты аллометрического уравнения, равные 0,0217 и 0,9817 [2].

Для оценки продуктивности мохового покрова в разных местах болота заложены свыше 25 пробных площадок. У сфагнома определяли среднюю массу, плотность дерновины, линейный прирост и годичный прирост биомассы. Годовой линейный прирост сфагнома оценивали методом «колышков» [7].

Для определения сухой массы сфагнум отбирали, далее высушивали и взвешивали на аналитических весах. Продуктивность сфагновых мхов принималась как произведение плотности на массу годового линейного прироста. Урожайность ягод клюквы определяли по шкале Черкасова [8]. Для определения зависимости линейного прироста и урожайности от погодных факторов использована ранговая корреляция (R_s). Статистическую обработку данных проводили в программе Past ver.04 [9].

Полученные данные показывают, что сосна обыкновенная имеет разный возраст (от 96 до 163 лет) и биомассу (от 52 до 158 кг) в сухом состоянии. Таким образом, средняя биомасса древесного яруса болота составила 4,2 кг/м². Средняя ширина годичных колец сосны колебалась от 0,6 до 1,1 мм/год. С помощью аллометрического уравнения установлен средний прирост биомассы деревьев за прошлый год, который составил 0,83–0,98 кг/год.

По результатам исследования мохового покрова выяснилось, что средняя биомасса мха в абсолютно сухом состоянии равна 1,3 кг/м², средний линейный прирост – 54±2 мм/год. Прирост биомассы мхов составил – 0,25 кг/м². Выявлена многолетняя динамика в линейном приросте сфагнома. За 17 лет наблюдений минимальный прирост наблюдался в 2010 году, а максимальный – в 2017 и 2022 г. Корреляционный анализ показал обратную связь прироста с температурой летнего периода и статистически значимая прямая связь с осадками июня ($R = 0,7$).

Урожайность клюквы болотной также имеет многолетнюю динамику. Высокий, пятый балл (по шкале Черкасова) наблюдался в период с 2014 по 2017 гг., а самый низкий балл – в последние два года. Установлена значимая статистическая обратная связь между урожайностью и количеством осадков в мае.

В заключение следует отметить, что полученные результаты могут пригодиться для вычислений общего баланса углерода растений болотных экосистем нашего региона. По нашим результатам, общий запас углерода сфагнового покрова составил в районе 66105 кг. В перспективе планируется исследование новых сфагновых болот заповедника и прилегающих территорий.

Библиографический список

1. Софер М. О болотах с уважением и любовью // Наука и жизнь. 2018. № 7. С. 2–12.
2. Нагимов З. Я. Таксация отдельного дерева. Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. 160 с.

3. Биологическая продуктивность лесов Поволжья / А. И. Уткин., В. В. Осипов, Л. С. Ермолова и др. М. : Наука, 1982. 282 с.
4. Методы дендрохронологии : учеб.-метод. пособие / С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов, А. В. Кирдянов и др. Красноярск : Издат. центр Краснояр. гос. ун-та, 2000. 29 с.
5. Тишин Д. В., Чижикова Н. А. Дендрохронология. Казань : Казанский университет, 2018. 34 с.
6. Rinn F. TSAP-Win time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications // User Reference Version 0.53. Heidelberg: Rinntech, 2005. P. 1–88.
7. Clymo R. S. The growth of *Sphagnum*: methods of measurement // Journal of Ecology. 1970. Vol. 58. No. 1. P. 13–50.
8. Черкасов А. Ф. Клюква. М. : Лесная промышленность, 1981. 178 с.
9. Hammer O. Past – PAleocological STatistics, ver. 1.04. 2003. [Internet resource]. – URL: <http://folk.uio.no/ohammer/past> (accessed: 02.03.2025).

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА

К. В. Галеев, Е. С. Соловьёва
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, schpunka@gmail.com

В статье описано влияние физических факторов на выход биологически активных веществ из плодов шиповника. Проведено сравнение экстрактов, полученных в различных условиях, по показателям количественного содержания аскорбиновой кислоты, ретинола, рибофлавина и β -каротина.

Ключевые слова: экстракция, перемешивание, измельчение, температура, биологически активные вещества.

Шиповник является ценным растительным сырьем из-за высокого содержания биологически активных веществ (БАВ), в связи с чем интерес производителей к нему повышается как к природному источнику витаминов [1]. Плоды шиповника (*Fructus Rosae*) являются поливитаминным сырьем. В их мякоти содержится до 5,5% аскорбиновой кислоты в пересчёте на сухую массу. Также они содержат каротин (провитамин А) – 12–18 мг %, витамин В2 – 0,03 мг %, витамин К, витамин Р, пектиновые вещества (до 4%), лимонную кислоту, сахара (до 23,93%), флавоноиды и др. Поэтому плоды шиповника используются в качестве богатого источника витамина С, находят широкое применение в медицинской и пищевой промышленности [2].

Экстракты – это лекарственная форма, представляющая собой концентрированное извлечение из растительного сырья, обладающего лечебными свойствами. На процесс экстрагирования БАВ оказывают влияние следующие факторы: температура и продолжительность экстрагирования, степень измельчения сырья, способ перемешивания и др. В связи с этим, поиск условий экстракции, обеспечивающий более полный выход БАВ из плодов шиповника, имеет практическую значимость [3].

Целью работы является исследование влияния различных факторов, таких как перемешивание, температура и степень измельчения, на выход БАВ из сухих плодов шиповника.

В эксперименте использовали плоды шиповника, собранные и подготовленные на территории Удмуртской Республики, вблизи г. Глазов, садовое общество «Солдырь» в августе 2024 г. во время созревания. Высушены в проветриваемом помещении без прямого воздействия солнечных лучей.

БАВ экстрагировали водно-спиртовым (с 50% содержанием этилового спирта) раствором в течение 30 мин, применяя разные условия: температура (8, 25, 50 и 70 °С), перемешивание (без перемешивания, ультразвуковое 35 кГц и механическое), степень измельчения сырья (0,5, 1,0 и 4,0 мм).

Для определения рибофлавина, ретинола и β-каротина использован спектрофотометрический метод, для витамина С – титриметрический метод с краской Тильманса.

По полученным данным видно, что температуры 50 °С и 70 °С наиболее благоприятны для процесса экстракции (табл. 1). Кроме того, БАВ, которые термически неустойчивы (витамин С и β-каротин) при повышении температуры до 70 °С и выше начинают разрушаться.

Таблица 1

**Содержание биологически активных веществ в экстрактах,
полученных из плодов шиповника, в зависимости
от температурных условий, мг**

Витамин	7 °С	25 °С	50 °С	70 °С
Витамин С	509,5±3,8	533±7	575,5±3,8	562,2±3,8
Рибофлавин	0,023±0,001	0,034±0,001	0,038±0,001	0,043±0,001
Ретинол	0,17±0,02	0,31±0,02	0,4±0,02	0,49±0,02
β-каротин	2,40±0,02	2,54±0,02	2,72±0,02	2,63±0,02

Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные показатели.

Акустическое перемешивание продемонстрировало наилучшие показатели количественного извлечения ретинола и β-каротина. Данный метод использует звуковые волны, которые способствуют более эффективному протеканию диффузионных процессов. Механическое перемешивание оказалось более эффективным при экстрагировании водорастворимых витаминов – витамина С и рибофлавина (табл. 2).

Измельчение растительного сырья до частиц размером 0,5 мм способствует наибольшему выходу БАВ (табл. 3). Это можно объяснить тем, что при уменьшении размера части увеличивается их площадь поверхности, соприкасающаяся с экстрагентом, что значительно влияет на скорость диффузии, которая является важной величиной в процессе экстрагирования растительного сырья.

Таблица 2

Содержание биологически активных веществ в экстрактах, полученных из плодов шиповника, в зависимости от способа перемешивания, мг

Витамин	Акустическое	Механическое	Намачивание
Витамин С	562,3±3,8	623,0±3,8	514,8±3,8
Рибофлавин	0,041±0,001	0,062±0,001	0,026±0,001
Ретинол	0,63±0,02	0,42±0,02	0,24±0,02
β-каротин	2,93±0,02	2,66±0,02	2,27±0,02

Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные показатели.

Таблица 3

Содержание биологически активных веществ в экстрактах, полученных из плодов шиповника, в зависимости от размера сырья, мг

Витамин	0,5 мм	1,0 мм	4,0 мм
Витамин С	543,9±3,8	523±7	504,2±3,8
Рибофлавин	0,042±0,001	0,036±0,001	0,027±0,001
Ретинол	0,55±0,02	0,45±0,02	0,31±0,02
β-каротин	2,69±0,02	2,58±0,02	2,43±0,02

Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные показатели.

Опираясь на полученные данные о влиянии исследуемых факторов на количественный выход БАВ при процессе экстрагирования плодов шиповника, можно заключить, что экстракцию следует проводить при температуре 50–70 °С, применяя механическое или акустическое перемешивание в зависимости от целевых БАВ для извлечения и степень измельчения до размера 0,5 мм.

Библиографический список

1. Евсеева С. Б. Экстракты растительного сырья как компоненты косметических и наружных лекарственных средств: ассортимент продукции, особенности получения // Вестник фармации. 2007. № 3. 37 с.
2. Состав и содержание биологически активных веществ в плодах шиповника / Г. Н. Дубцова, Р. Н. Негматуллоева, В. В. Бессонов и др. // Вопросы питания. 2012. Т. 81. № 6. С. 84–88.
3. Дубашинская Н. В., Хишова О. М. Влияние некоторых факторов на качество жидкого экстракта корневищ с корнями синюхи // Вестник фармации. 2008. № 4 (42). С. 1–5.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ β -КАРОТИНА ИЗ РАЗЛИЧНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Д. В. Шутова, Е. С. Соловьёва
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, shutov4daria@yandex.ru

В статье рассмотрены различные источники растительного сырья, богатого β -каротином: плоды тыквы, томатов и корнеплоды моркови, а также современные технологии экстракции. Результаты исследования демонстрируют возможность получения экстрактов с высокой концентрацией β -каротина и отделение его от других каротиноидов.

Ключевые слова: каротиноиды, β -каротин, растительное сырьё, экстракция.

В последние десятилетия наблюдается растущий интерес к натуральным источникам витаминов и биологически активных веществ, что стало одной из причин увеличения популярности экстрактов растительного происхождения.

Известно, что каротиноиды, в частности β -каротин, имеют выраженные антиоксидантные свойства: защищают клетки кожи от повреждений свободными радикалами, применяются для профилактики и лечения различных хронических заболеваний, связанных со старением организма [1]. Еще одним важным свойством каротиноидов является их провитаминная активность: способность некоторых из них превращаться в витамин А. Это делает каротины популярными в пищевой, косметической и фармакологической отраслях.

Каротиноиды подразделяются на каротины – ненасыщенные углеводороды и ксантофиллы – кислородсодержащие каротиноиды. Каротин в растениях может быть в форме трех изомеров: α -, β - и γ -каротина. Из них наиболее распространен β -каротин. Природные источники β -каротина очень разнообразны. Он в значительных количествах накапливается в оранжевых, красных и желтых плодах овощей и фруктов: корнеплодах моркови, плодах шиповника, рябины обыкновенной, смородины, облепихи, томатов, абрикоса, тыквы и других. Также имеется в цветках календулы, листьях шпината, салата, крапивы. В данной работе в качестве объектов исследования выбраны плоды тыквы, томатов и корнеплоды моркови.

Подготовку сырья к экстракции и извлечение каротиноидов проводили согласно следующей методике. Все виды исходного сырья (мякоть плодов тыквы, корнеплоды моркови, плоды томатов) предварительно сушили при температуре не более 30 °С, предохраняя таким образом каротиноиды от деградации. Далее сырьё измельчали, используя смешанный тип измельчения. Извлечение суммы каротиноидов проводили методом многоступенчатой жидкостной экстракции, а именно – двукратной экстракцией [2] органическим

растворителем – спиртом этиловым 95%. Полученный первичный экстракт обрабатывали раствором гидрокарбоната натрия до нейтральной реакции среды. Избыток растворителя удаляли перегонкой. Полученный сухой экстракт растворяли в бензине. Далее разделение экстракта на индивидуальные каротиноиды и выделение β -каротина проводили методом колоночной хроматографии [3]. В качестве адсорбента использовали оксид алюминия для хроматографии, подвижной фазой являлся бензин.

Содержание β -каротина (мкг/мл) в экстрактах до удаления растворителя определяли спектрофотометрически при длине волны 450 нм. Данные по содержанию β -каротина в экстрактах плодов тыквы, томатов и корнеплодов моркови представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержания β -каротина в экстрактах исследуемых объектов

Экстракт	Содержание β -каротина, мкг/мл
Плоды тыквы	0,45±0,08
Плоды томатов	0,11±0,02
Корнеплоды моркови	0,70±0,13

Содержание β -каротина в экстракте пересчитывали на его содержание в сухом веществе и на его массу в экстракте (табл. 2).

Таблица 2

Масса β -каротина и его содержание в сухом веществе

Экстракт	Масса, г	Содержание в сухом веществе, мг/кг
Плоды тыквы	0,024±0,004	0,0010±0,0002
Плоды томатов	0,006±0,001	0,0002±0,0001
Корнеплоды моркови	0,038±0,007	0,0015±0,0003

После удаления растворителя из экстракта определяли массу сухого экстракта (табл. 3).

Таблица 3

Масса сухого экстракта

Экстракт	Масса сухого остатка, г
Плоды тыквы	0,9±0,2
Плоды томатов	0,8±0,2
Корнеплоды моркови	0,9±0,2

В ходе колоночной хроматографии получены хроматограммы, в которых отчетливо виден слой β -каротина. Исходя из интенсивности окраски и длины слоя, заметно, что большее содержание β -каротина обнаружено в экстракте из корнеплодов моркови, наименьшее – в экстракте из плодов томатов.

Таким образом, в результате проведенного эксперимента повышенное содержание β -каротина обнаружено в экстракте из корнеплодов моркови. В целом, это подтверждается данными литературы о содержании каротиноидов и, в частности, β -каротина в различном растительном сырье.

Библиографический список

1. Eggersdorfer M., Wyss A. Carotenoids in human nutrition and health. DOI: 10.1016/j.abb.2018.06.001 // Arch. Biochem. Biophys. 2018. Vol. 652. P. 18–26.
2. ОФС.1.5.3.0006.15. Определение содержания экстрактивных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах // XIV Государственная фармакопея Российской Федерации. Т. 1. М., 2018.
3. Патент № 2648452 С1 РФ, МПК А61К 36/00, А61К 35/56, А61К 35/612. Способ получения индивидуальных каротиноидов: № 2016148100 : заявл. 07.12.2016 : опубл. 26.03.2018 / Курегян А. Г., Печинский С. В., Степанова Э. Ф.

СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ХВОЕ И КОРЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Т. В. Осташева, А. Р. Петрова, Т. А. Адамович
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, tv-ost@mail.ru

В статье представлены результаты определения содержания дубильных веществ, каротиноидов и хлорофиллов в хвое и коре сосны обыкновенной, произрастающей на территории Кировской области. По полученным данным выявлено, что хвоя и кора сосны обыкновенной являются ценным источником биологически активных веществ.

Ключевые слова: кора, хвоя, сосна обыкновенная, каротиноиды, хлорофиллы, дубильные вещества.

Хвойные деревья, в частности сосна обыкновенная, являются важным источником ценных биологически активных веществ, таких как β -каротин, хлорофиллы *a* и *b*, различные дубильные вещества [1]. Содержание пигментов превалирует в хвое, дубильных веществ – преимущественно в коре [2]. Эти вещества находят применение в медицине и фармации, косметологии, пищевой промышленности. Каротиноиды и хлорофилл принимают активное участие в различных метаболических, регуляторных и обменных процессах, в связи с чем представляют интерес в плане фармакологической активности.

Хлорофилл обладает широким спектром биологического действия: проявляет усиливающее воздействие на процессы кроветворения; регулирует сердечную работу, а также работу дыхательного центра и нервной системы; оказывает тонизирующее действие. Каротиноиды, являясь предшественниками витамина А, проявляют антиканцерогенную, фотопротекторную, радиопротекторную, антиоксидантную и иммуномоделирующую активности [3]. Дубильные вещества обладают противоопухолевыми и противовоспалительными эффектами, подавляют рост бактерий, вирусов и многих грибов [4].

Изучение количественного содержания данных веществ является важной задачей для науки и промышленности, так как потребность в них на фар-

мацевтическом, косметическом, пищевом и сельскохозяйственном рынках постоянно растёт [5].

Цель работы: определение содержания дубильных веществ в коре сосны обыкновенной, определение каротиноидов, хлорофиллов *a* и *b* в хвое сосны обыкновенной. Объекты исследования – хвоя и кора сосны обыкновенной.

Сырьё отобрано на территории Кировской области, в Адышевском сельском поселении Оричевского района. Хвою и кору высушивали при температуре 50 °С. Для проведения эксперимента сухое сырьё измельчали, затем просеивали через сито диаметром 2 мм. Экстрагирование проводили дистиллированной водой на электрической плитке с закрытой спиралью в течение 30 мин при температуре 100 °С.

Для количественного определения содержания дубильных веществ использовали метод объемного перманганатометрического титрования по фармакопейной методике [6]. Данный метод основан на легкой окисляемости дубильных веществ калия перманганатом в кислой среде в присутствии индикатора и катализатора индигосульфокислоты, которая в точке эквивалентности раствора меняет окраску от синего до золотисто-желтого. Содержание каротиноидов и хлорофиллов *a* и *b* определяли спектрофотометрическим методом. Суть метода заключается в получении из сосновой хвои ацетонового экстракта и измерении его оптической плотности при двух длинах волн, отвечающих максимумам поглощения хлорофилла *a* и *b* в красной области спектра и при длине волн абсорбционного максимума каротиноидов (440, 644, 662 нм).

Исследования проводили в лабораториях института химии и экологии Вятского государственного университета.

В результате исследования установлено, что содержание дубильных веществ в коре сосны обыкновенной составило $0,90 \pm 0,10\%$. Содержание хлорофиллов *a* и *b* в хвое сосны обыкновенной – $0,39 \pm 0,14$ и $0,35 \pm 0,13$ мг/г соответственно. В хвое сосны обыкновенной обнаружено $0,314 \pm 0,004$ мг/г каротиноидов.

Таким образом, кора и хвоя сосны обыкновенной, благодаря содержанию в ней некоторых биологически активных веществ, являются качественным сырьем для изготовления различных фармацевтических субстанций.

Библиографический список

1. Гиндулин И. К., Щеголев А. А. Методы исследования древесной зелени : учебно-методическое пособие. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 76 с.
2. Федоров В. С., Рязанова Т. В. Комплексная переработка коры сосны обыкновенной с использованием моноэтаноламина // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XIX Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Екатеринбург, 2023. С. 893–897.
3. Лозовицкий Д. А. Изучение липофильных веществ травы *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. // Научные результаты биомедицинских исследований. 2017. Т. 3. № 1. С. 1–7.
4. Противоопухолевые и противовоспалительные свойства дубильных веществ растительного происхождения и перспективы их использования в фармации / Е. Д. Кубасова,

И. А. Крылов, Г. В. Корельская и др. DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2022-24-12-55-60 // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». 2022. Т. 24. № 12. С. 55–60.

5. Перспективность рационального использования биологически активных веществ из хвои *Pinus sylvestris* для создания биопрепаратов / В. В. Михайлов, И. В. Слепцов, С. М. Рожина, Б. М. Кершенгольц. DOI: 10.31242/2618-9712-2022-27-4-610-617 // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2022. Т. 27. № 4. С. 610–617.

6. ОФС.1.5.3.0008. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных средствах растительного происхождения // Государственная фармакопея Российской Федерации. XV издание. [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-5/1-5-1/opredelenie-soderzhaniya-dubilnykh-veshchestv-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennykh-sred/?ysclid=m8egwsnj4r819157819> (дата обращения: 10.02.2025).

СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПЛОДАХ И ЦВЕТКАХ БУЗИНЫ ЧЕРНОЙ

В. С. Былёв, Т. А. Адамович, М. А. Зайцев, Е. В. Береснева
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
Vit-bylyow2017@yandex.ru

Проведено исследование содержания биологически активных веществ (БАВ) в плодах и цветках бузины черной (*Sambucus nigra* L.). Определено содержание витамина С, дубильных веществ, суммы органических кислот, флавоноидов, антоцианов. Установлено, что в цветках бузины черной содержится больше БАВ, чем в плодах.

Ключевые слова: биологически активные вещества, бузина черная, цветок, плод.

Бузина черная (*Sambucus nigra* L.) – вид, часто встречающийся в урбанизированной среде. Его достоинствами являются неприхотливость к условиям произрастания, устойчивость к техногенной нагрузке и высокая декоративность на протяжении всего сезона вегетации [1, 2]. Благодаря неприхотливости, также ввиду химического состава ее плодов и высокой доступности растений в дикой флоре, в последние десятилетия возрос интерес к употреблению бузины. *S. nigra* применяется для лечения и профилактики респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, при диабете и ожирении. Плоды растения известны как сырье с высоким содержанием биологически активных химических веществ (БАВ), которые обладают антидиабетическим и противовирусным действием, мочегонными свойствами, используются для профилактики атеросклероза, сердечно-сосудистых заболеваний и рака [3–6]. Цветки *S. nigra* разрешены для применения в официальной медицине, о чем свидетельствует наличие фармакопейной статьи в Государственной фармакопее Российской Федерации XIV издания (ФС.2.5.0008.15 Бузины черной цветки).

Цель исследования – изучить содержание биологически активных веществ в цветках и плодах бузины черной.

Экстрагирование биологически активных соединений из плодов и цветков *S. nigra* проводили добавлением 70% этилового спирта к навеске материала. Смесь помещали на 30 мин в кипящую водяную баню, после чего охлаждали и фильтровали. В ходе работы было определено содержание флавоноидов по ГОСТ 13399-89 (спектрофотометрический метод), аскорбиновой кислоты по ГОСТ 24556-9 (метод Тильманса), антоцианов по ФС.2.5.0002.15 (спектрофотометрический метод), дубильных веществ и органических кислот (титриметрический метод).

Результаты экспериментов по определению некоторых показателей состава плодов и цветков бузины черной представлены в таблице.

Таблица

**Содержание биологически активных веществ в плодах и цветках
бузины черной**

Определяемое вещество	Количество вещества, мг/100 г	
	в плодах	в цветках
Витамин С	0,506±0,010	0,9975±0,015
Дубильные вещества	3,845±0,030	–
Органические кислоты	6,935±0,005	11,52±0,05
Антоцианы	0,358±0,030	–
Флавоноиды	0,087±0,025	0,206±0,013

Примечание: прочерк означает, что определение не проводили.

Более высоким содержанием БАВ характеризуются цветки бузины черной: содержание витамина С, органических кислот, флавоноидов в них почти в два раза выше, чем в плодах.

Проведенные исследования подтверждают антибактериальные и противовирусные свойства *S. nigra*, благодаря наличию антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов. Бузина черная может широко использоваться во многих отраслях промышленности, включая производство продуктов питания и косметики, фармацевтику.

Библиографический список

1. Виноградова Н. А. Эколого-фитохимические особенности цветков бузины черной *Sambucus nigra* L. в условиях урбанизированной среды // Биосфера. 2021. № 4. С. 180–187.
2. Савушкина И. Г., Леонов В. В. Перспективные представители семейства Caprifoliaceae A. L. Jussien для озеленения в условиях предгорного Крыма // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Сер. Биология, химия. 2009. Т. 22. № 3. С. 130–139.
3. Dawidowicza A. L., Wianowska D., Baraniak B. The antioxidant properties of alcoholic extracts from *Sambucus nigra* L. (antioxidant properties of extracts). DOI: 10.1016/j.lwt.2005.01.005 // Food Sci. Technol. 2006. Vol. 39. No. 3. P. 308–315.
4. Бурак Л. Ч., Сапач А. Н. Биологически активные вещества бузины: свойства, методы извлечения и сохранения. DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-80-94 // Пищевые системы. Т. 6. № 1. С. 80–94.

5. Vinogradova N. A., Glukhov A. Z. Ecological and phytochemical features of *Crataegus fallacina* Klovov under conditions of technogenic pollution. DOI: 10.1134/S1995425521010091 // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14. No. 1. P. 90–97.

6. Potential bioactive ingredient from elderberry fruit: Process optimization for a maximum phenolic recovery, physicochemical characterization, and bioaccessibility / M. L. Gomez Mattson, R. Corfield, L. Bajda, et al. DOI: 10.3233/JBR-200629 // Journal of Berry Research. 2021. Vol. 11. No. 1. P. 51–68.

ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ *PHILADELPHUS SP.*

Т. А. Адамович, А. С. Ефремова

*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, aruinaefremova3235@yandex.ru*

В статье приведены результаты экспериментального изучения химического состава листьев и цветков *Philadelphus sp.* Определено, что эти органы растения обладают различным соотношением биологически активных веществ: антоцианов, флавоноидов, полифенолов, аскорбиновой кислоты; антиоксидантной активностью.

Ключевые слова: цветок, лист, биологически активные вещества, химический состав.

В условиях развития современного общества и технических отраслей промышленности возрастает риск возникновения окислительного стресса. Нарушение окислительно-восстановительных функций клетки ведёт к накоплению свободных радикалов в организме, что сопровождается токсическим последствием, а также повреждением белков, липидов и ДНК. Окислительный стресс – это процесс повреждения клетки в результате окисления. Для торможения нежелательных окислительных процессов применяются синтетические и природные антиоксиданты. Антиоксиданты – вещества, которые ингибируют окисление.

Использование синтетических антиоксидантов не выгодно человеку по ряду причин: токсичность, строгий контроль, высокая стоимость и т. д. В отличие от химически синтезированных, природные антиоксиданты не оказывают негативного влияния на организм человека, не отличаются высокой стоимостью и обогащают организм макро- и микроэлементами.

В качестве природных антиоксидантов применяются биологически активные вещества (БАВ). Количество БАВ варьирует в зависимости от органа растения.

В условиях активного импортозамещения становится необходимым участие российского сырья в изготовлении лекарственных, косметических, пищевых средств. Цель работы – определить содержание биологически активных веществ в листьях и цветках чубушника (*Philadelphus sp.*).

Листья и цветки чубушника, произрастающего на территории Кировской области, собраны в июне 2024 г. в пгт Захарищево Ленинского района г. Кирова. Пробы растительного сырья сушили в условиях лаборатории. Перед проведением исследования пробы измельчали. Для определения содержания дубильных веществ, антоцианов, флавоноидов использовали водные вытяжки, полифенолов – водно-спиртовые. Полифенольные соединения в исследуемом растительном сырье определяли спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу [1]. Аскорбиновую кислоту – методом кулонометрического титрования. Флавоноиды и антоцианы определяли спектрофотометрическим методом с использованием растворов сравнения [2, 3].

Результаты проведенных исследований представлены в таблице.

Таблица

**Содержание биологически активных веществ
в листьях и цветках чубушника**

Объект исследования	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Полифенолы, г/кг	Флавоноиды, %	Антоцианы, %
Листья	21,0±1,3	0,650±0,013	0,028±0,004	33,9±0,7
Цветки	21,75±0,06	0,530±0,011	0,270±0,006	15,00±0,30

В ходе исследования установлено, что наибольшее количество аскорбиновой кислоты выявлено в цветках чубушника (21,75 мг/100 г). Аскорбиновая кислота способствует повышению иммунитета и укреплению кровеносных сосудов.

Максимальное содержание полифенольных соединений определено в листьях чубушника (0,65 г/кг). Полифенольные соединения обладают широким спектром медицинских и фармацевтических свойств. К таким относят: антиоксидантные, противовоспалительные, антиканцерогенные свойства, противомикробные эффекты и др.

Большее процентное содержание флавоноидов выявлено в цветках чубушника и составило 0,27%. Флавоноиды, нейтрализуя действие свободных радикалов, препятствуют разрушению мембран клеток.

Содержание антоцианов в листьях *Philadelphus* выше, чем в цветках в 2,3 раза. Способность антоцианов воздействовать сразу на множество терапевтических мишеней делает их полезными для профилактики и лечения начальных стадий нейродегенеративных заболеваний.

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что изучение содержания БАВ в экстрактах листьев и цветков чубушника имеет практическое значение. Полученные результаты необходимы для оптимизации процесса получения БАВ и использования их в медицине и косметологической промышленности.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 55488-2013 Прополис. Метод определения полифенолов. М. : Стандартинформ, 2013. 9 с.

2. Рябов Н. А., Рыжов В. М., Куркин В. А. Методика количественного определения суммы флавоноидов в почках дуба черешчатого *Quercus robur* L. // Фармация и фармакология. 2021. № 9 (5). С. 356–366.

3. Патент РФ. Способ количественного определения антоцианов в лекарственном растительном сырье : заявлено 11.12.2013 : опубл. 27.07.15 / Куркин В. А., Рязанова Т. К., Куркина А. В., Егорова А. В.

СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПЛОДАХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ВЕРЕСКОВЫХ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ КОНСЕРВАЦИИ

Д. А. Ворожцова, Д. К. Лагунова, Т. А. Адамович
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
DianaVorozhtsova@yandex.ru, ulinirole08@mail.ru

В статье представлены методы и результаты определения биологически активных веществ в плодах лекарственных растений семейства вересковых (черника и клюква) различных способов консервации (замораживание и высушивание).

Ключевые слова: антоцианы, аскорбиновая кислота, высушивание, замораживание, биологически активные вещества.

Клюква и черника – это не только ценные пищевые продукты, но и эффективные лекарственные средства. Они обладают богатым запасом органических кислот, витаминов, минералов, флавоноидов, антоцианов и других биологически активных веществ (БАВ), необходимых для нормальной жизнедеятельности организма [1, 2].

Но, несмотря на всестороннюю изученность биологической активности биокомпонентов этих ягод, остается актуальным вопрос по сохранению высокого содержания аскорбиновой кислоты и антоцианов в плодах клюквы и черники.

Целью работы является изучение влияния различных способов консервации на изменение содержания БАВ в плодах черники и клюквы.

Количественное содержание аскорбиновой кислоты определяли методом кулонометрического титрования [3]. Методом определения количественного содержания антоцианов является спектрофотометрия [4].

Результаты исследования содержания аскорбиновой кислоты в свежих, сушеных и замороженных плодах черники и клюквы представлены в таблице 1.

Аскорбиновой кислоты в плодах черники в 3,1 раза больше, чем в плодах клюквы. Количество аскорбиновой кислоты при консервации обоими методами уменьшается в два раза по сравнению со свежими ягодами, но при высушивании их сохраняется больше.

Таблица 1

**Содержание аскорбиновой кислоты в плодах растений
семейства вересковых, мг/100 г**

Растение	Плоды		
	свежие	замороженные	высушенные
Черника	1,53±0,23	0,20±0,03	0,31±0,05
Клюква	0,49±0,08	0,12±0,02	0,23±0,04

Результаты определения содержания антоцианов в плодах черники и клюквы различных способов консервации представлены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание антоцианов в плодах растений семейства вересковых, %

Растение	Плоды		
	свежие	замороженные	высушенные
Черника	6,04±0,02	6,15±0,06	6,28±0,06
Клюква	1,94±0,06	2,85±0,06	3,08±0,06

Содержание антоцианов в плодах черники в разы больше, чем в клюкве. Количественное содержание антоцианов в высушенных ягодах больше, чем в свежих и замороженных.

В ходе исследования установлено, что черника более богата БАВ, чем клюква. По полученным данным можно сделать вывод о том, что содержание БАВ в большем количестве сохраняется при таком методе консервации, как высушивание. Это может быть связано с тем, что количество воды в высушенных ягодах уменьшается, соответственно концентрация БАВ в них увеличивается по сравнению с замороженными плодами.

Полученные водно-спиртовые экстракты из высушенных ягод с высоким содержанием БАВ в дальнейшем можно использовать как биологическую добавку, а также в косметологии.

Библиографический список

1. Исаева Е. Л. Клюква и черника: ягоды, побеждающие бактерии. М. : РИПОЛ классик, 2010. 62 с.
2. Коробкина З. В. Витамины и минеральные вещества плодов и ягод. М. : Колос, 1969. 80 с.
3. Пат. 2 464 558. РФ, МПК G01N 33/02 (2006.01). Способ кулонометрического определения содержания аскорбиновой кислоты в растительном сырье и препаратах из растительного сырья : № 2010137455 : заявл. 08.09.2010: опубл. 20.10.2012 / Абдуллина С. Г. 6 с.
4. Ханько П. Н., Брайкова А. М. Спектрофотометрическое определение содержания антоцианов в винограде // Современный механизм функционирования торгового бизнеса и туристической индустрии: реальность и перспективы : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых (г. Минск, 6–7 декабря 2018 г.). Минск : БГЭУ, 2019. С. 396–398.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ПЛОДОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА ROSACEAE РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ КОНСЕРВАЦИИ

Д. К. Лагунова, Д. А. Ворожцова, Т. А. Адамович
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
ulinirole08@mail.ru, DianaVorozhtsova@yandex.ru

В статье представлены методы определения биологически активных веществ и их количественное содержание в плодах лекарственных растений семейства розовые (рябина обыкновенная и арония черноплодная) различных способов консервации.

Ключевые слова: флавоноиды, антоцианы, высушивание, замораживание, биологически активные вещества.

Рябина обыкновенная и арония черноплодная являются не только полезными продуктами питания, но и ценными биологически активными добавками. Они содержат в себе ценный запас органических и тритерпеновых кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, флавоноидов, антиоксидантов и других биологически активные вещества (БАВ), необходимых для нормального функционирования всех систем организма [1, 2].

Цель работы – изучение влияния различных способов консервации на изменение содержания БАВ в плодах рябины обыкновенной и аронии черноплодной.

Антиоксидантную активность (АОА) определяли титриметрическим методом с перманганатом калия в кислой среде. Содержание флавоноидов – спектрофотометрическим методом.

Результаты исследования содержания антиоксидантов в свежих, сушеных и замороженных плодах рябины обыкновенной и аронии черноплодной представлены в таблице 1.

В плодах рябины содержится в 1,3 раза больше антиоксидантов, чем в плодах аронии черноплодной. Из полученных данных следует, что при высушивании количество антиоксидантов возрастает в среднем в 1,5 раза, тогда как при замораживании оно уменьшается в 3 раза.

Таблица 1

Содержание антиоксидантов в плодах растений семейства розовых, мг/г

Растение	Плоды		
	свежие	замороженные	высушенные
Рябина обыкновенная	3,11±0,28	1,03±0,03	3,44±0,03
Арония черноплодная	2,34±0,08	0,66±0,01	3,94±0,08

Результаты определения содержания флавоноидов в исследуемых плодах растений различных способов консервации представлены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание флавоноидов в плодах растений семейства розовых, %

Растение	Плоды		
	свежие	замороженные	высушенные
Рябина обыкновенная	0,041±0,013	0,048±0,019	0,091±0,001
Арония черноплодная	0,040±0,028	0,123±0,016	0,140±0,041

Высушивание и замораживание незначительно, но увеличивают количественное содержание флавоноидов в плодах изучаемых растений. По данным исследования при консервации содержание антоцианов в плодах аронии немного больше, чем в рябине обыкновенной.

Основываясь на результатах исследования, можно сделать вывод о том, что в плодах рябины обыкновенной и аронии черноплодной содержится примерно одинаковое количество антиоксидантов и флавоноидов. Из полученных данных заметно, что содержание БАВ увеличивается при таком методе консервации, как высушивание.

Полученные водно-спиртовые экстракты из высушенных плодов с высоким запасом БАВ этих растений в дальнейшем можно использовать в качестве основного компонента при изготовлении косметической продукции, например, маски-пленки.

Библиографический список

1. Гребенкина А. В. Сравнительный фармакогностический анализ плодов рябины обыкновенной и аронии черноплодной // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2020. № 12. С. 327.
2. Сергунова Е. В. Изучение состава биологически активных веществ лекарственного растительного сырья различными способами консервации и лекарственных препаратов на их основе : дис. ... канд. хим. наук. М. : МГМУ имени И. М. Сеченова, 2015. 211 с.
3. Пат. 2 170 930. РФ. МПК G01N 33/50 3352. Способ определения антиокислительной активности : № 2000111126/14 : заявл. 05.05.2000 : опубл. 20.07.2001 / Максимова Т. В., Никулина И. Н., Пахомов В. П. и др. 5 с.
4. ГОСТ Р 13399-89. Цветки арники. Технические условия : действ. с 01.05.1990. М.: Госстандарт, 1990. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022823> (дата обращения: 20.03.2025).

СРАВНЕНИЕ ФИТОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЦВЕТКОВ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА РОЗОЦВЕТНЫЕ

Т. А. Адамович, П. К. Белослудцева
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, polina.gundina@yandex.ru

В статье приведены результаты экспериментального изучения фитохимического состава цветков растений семейства розоцветные (боярышник обыкновенный, рябина обыкновенная, черемуха обыкновенная, арония черноплодная). Выявлено, что цветки данных растений обладают различным

фитохимическим составом, который включает множество биологически активных соединений: флавоноиды, полифенолы, аскорбиновую кислоту, каротиноиды и антоцианы.

Ключевые слова: цветок, семейство розоцветные, фитохимический состав.

Важнейшим природным источником лекарственных средств являются лекарственные растения, которые содержат разнообразные биологически активные вещества (БАВ). Интерес к растительным лекарственным средствам не только не уменьшается в связи с беспрецедентным увеличением числа синтетических препаратов, а наоборот, неуклонно возрастает. Это связано с низкой стоимостью лекарственного растительного сырья (ЛРС), относительно простыми технологиями его переработки. По сравнению с синтетическими лекарственными средствами природные БАВ в терапевтических дозах значительно менее токсичны, вызывают меньше побочных эффектов, а благодаря разнообразному составу компонентов оказывают многостороннее воздействие на живой организм.

Растения семейства розоцветные (Rosaceae) имеют широкое применение в медицине благодаря своим полезным свойствам. Многие из них используются в виде обычных препаратов, таких как отвары, настойки и экстракты [1]. К растениям семейства розоцветные относятся широко распространенные земляника, манжетка, лапчатка гусиная, рябина, шиповник, спирея, терн и другие.

Например, в качестве источника дубильных веществ и флавоноидов выступают цветки, листья и кора черемухи. В исследованиях они проявляют противовоспалительное, антиоксидантное фармакологическое действие. Подтверждены их антиоксидантные, противовоспалительные, обезболивающие, противодиабетические и противомикробные свойства. Благодаря содержанию антоцианов, обладающих сильными антиоксидантными свойствами, они также могут использоваться в фармацевтической промышленности в качестве компонента кремов, гелей и других средств по уходу и дезинфекции [2, 3].

В плодах, листьях и цветках рябины содержатся такие фенольные соединения, как различные классы флавоноидов, дубильные вещества [4].

Листья, цветки и плоды боярышника содержат различные биофлавоноидоподобные комплексы. Бифлавоноиды, обнаруженные в растениях боярышника, включают олигомерные процианидины (ОРС), витексин, кверцетин, гиперозид и другие химические компоненты, включая витамин С, сапонины, танины, кардиотонические амины (фенилэтиламин, тирамин, изобутиламин, О-метоксифенилэтиламин, холин и ацетилхолин).

В цветках аронии выявлено высокое содержание полифенольных соединений и антоцианов [5].

Таким образом, растения семейства розоцветных занимают важное место в народной и традиционной медицине, предлагая широкий спектр лечебных эффектов [6].

Цель работы – провести сравнительный анализ фитохимического состава цветков различных представителей семейства розоцветных и описать их лечебные свойства.

Растительное сырьё для анализа отобрано в поселке Захарищево Кировской области в июне 2024 года. Пробы сушили в условиях лаборатории. Перед проведением исследования их измельчали до частиц диаметром 1 мм. Для определения содержания дубильных веществ и аскорбиновой кислоты были использованы водные вытяжки. Для определения содержания антиоксидантных свойств, полифенолов, антоцианов и флавоноидов – спиртовые. При определении каротиноидов экстрагировали ацетоном. Полифенольные соединения в исследуемом растительном сырье определяли спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу. Дубильные вещества и аскорбиновую кислоту – титрометрическим методом: для определения дубильных веществ титрантом выступал перманганат калия, а для определения аскорбиновой кислоты – 2,6-ди-хлорфенолиндифенолят натрия. Каротиноиды, флавоноиды и антоцианы определяли методом спектофотометрии с использованием растворов сравнения.

Результаты проведенных исследований представлены таблице.

Таблица

Содержание биологически активных веществ в цветках растений семейства розоцветных и антиоксидантная активность

Группа веществ	Рябина обыкновенная	Черемуха обыкновенная	Арония черноплодная	Боярышник обыкновенный
Дубильные вещества, %	0,83±0,05	12,5±0,6	6,5±0,4	11,4±0,4
Полифенолы, мг/г	0,831±0,001	0,229±0,001	0,435±0,001	0,208±0,010
Антоцианы, %	0,053±0,001	0,006±0,001	0,135±0,007	0,009±0,001
Аскорбиновая кислота, %	1,250±0,012	1,219±0,014	1,16±0,06	1,135±0,007
Флавоноиды, %	0,379±0,012	0,212±0,012	0,250±0,013	0,212±0,012
Каротиноиды, мг%	1,7±0,4	1,08±0,05	2,7±0,4	3,5±0,4
АОА, мг/г	2,89±0,14	2,78±0,14	3,8±0,6	2,67±0,13

Примечание: АОА – антиоксидантная активность; жирным шрифтом выделены наибольшие значения.

В ходе исследования установлено, что наибольшее количество полифенольных соединений содержится в цветках рябины обыкновенной (0,83 мг/г). Полифенолы могут взаимодействовать с неполярными компонентами гидрофобной части плазматической мембраны; эти изменения в мембране влияют на скорость окисления липидов и белков.

Максимальный выход дубильных веществ обнаружен в водно-спиртовых извлечениях цветков черемухи обыкновенной и составляет 12,5 мг/г. Дубильные вещества относятся к полифенольным соединениям, они

осаждают белки и различные другие органические соединения, включая аминокислоты и алкалоиды.

Максимальное количество флавоноидов обнаружено в цветках рябины обыкновенной (0,379%). Флавоноиды способны взаимодействовать с азотистыми основаниями нуклеиновых кислот, тормозя активность нуклеаз и тем самым нарушая процессы репликации, транскрипции и трансляции.

Максимальное содержание аскорбиновой кислоты обнаружено также в цветках рябины (1,24 мг/г). Аскорбиновая кислота способствует повышению иммунитета и укреплению кровеносных сосудов.

Максимальное содержание каротиноидов содержится в цветках боярышника обыкновенного и составляет 3,527 мг%. Антиоксидантные свойства каротиноидов обуславливают их радиопроекторное, антимуtagenное, иммуномодулирующее, антиинфекционное, антиканцерогенное действие.

Максимальное содержание антоцианов выявлено в цветках аронии черноплодной (0,135%).

Наибольшая суммарная антиоксидантная активность выявлена в цветках аронии черноплодной и составляет 3,81 мг/г.

Таким образом, цветки исследуемых растений семейства розоцветных имеют уникальный фитохимический профиль. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о целесообразности их использования в качестве источника БАВ. Такое исследование позволит оптимизировать процесс получения этих веществ для использования в медицине, пищевой промышленности и косметологии.

Библиографический список

1. Егошина Т. Л., Лугинина Е. А. Ресурсы плодов некоторых представителей семейства Розоцветных в России // Биологические особенности лекарственных и ароматических растений и их роль в медицине : сб. науч. трудов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 85-летию ВИЛАР. М., 2016. С. 54–59.

2. Аймасова В. М., Костикова Е. Н. Изучение показателей доброкачественности листьев, цветков и коры черемухи обыкновенной (*Padus avium* Mill.) // Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения : сб. науч. трудов Междунар. науч. конф. М., 2020. С. 364–368.

3. Telichowska A., Kobus-Cisowska J., Szulc P. Phytopharmacological possibilities of bird cherry *Prunus padus* L. and *Prunus serotina* L. species and their bioactive phytochemicals // Nutrients. 2020. Vol. 12. No. 7. Article No. 1966.

4. Оценка эффективности использования фенолсодержащих комплексов из различных частей рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) в онкологическом эксперименте / О. Ю. Рыбалкина, Т. Г. Разина, Е. А. Киселева и др. // Биомедицина. 2022. Т. 18. № 4. С. 74–85.

5. Изучение биологически активных веществ листьев рябины черноплодной / Т. А. Брежнева, Е. И. Недолужко, Е. Е. Логвинова и др. // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Химия. Биология. Фармация. 2018. № 2. С. 306–311.

6. Куркин В. А., Морозова Т. В., Правдивцева О. Е. Исследования по разработке методики стандартизации листьев боярышника кроваво-красного. DOI: 10.14258/jcprpm.2017031286 // Химия растительного сырья. 2017. № 3. С. 169–173.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В КОРНЕПЛОДАХ СВЕКЛЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

К. Ю. Краев, Е. С. Соловьёва

*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, kirill.kraev.04@mail.ru*

В статье представлены данные о содержании антиоксидантов (АО) в экстрактах свеклы и отдельных фракциях ее пигментов. Установлено, что наибольшее содержание АО приходится на водно-спиртовой экстракт и фракцию, содержащую желтые пигменты бетаксантины.

Ключевые слова: свекла, антиоксиданты, экстракция, хроматография, спектрофотометрия, перманганатометрия, потенциометрия.

В Российской Федерации свёкла не получила широкого применения в качестве лекарственного сырья. Достоинства свеклы заключаются не только в ее использовании в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Она вызывает интерес как источник биологически активных веществ (БАВ), представленных растительными пигментами, обладающими антиоксидантными свойствами и являющимися основой при устранении последствий окислительного стресса, нарушающего важнейший для организма окислительно-восстановительный гомеостаз. Пигменты свеклы снижают содержание общего холестерина, триглицеридов и липопротеидов низкой плотности в крови, нормализуют артериальное давление, подавляют развитие опухолей легких, кожи, печени и пищевода [1].

Целью работы является изучение содержания БАВ, представленных растительными пигментами, в экстрактах корнеплодов свеклы обыкновенной (*Beta vulgaris* L.).

Растительные пигменты свеклы представлены беталаинами. Это азотсодержащие водорастворимые пигменты, обеспечивающие яркие цвета органов растений. Их подразделяют на две группы: красно-фиолетовые бетацианины, составляющие большую долю пигментов (76–95%), и желтые бетаксантины с меньшей долей (5–26%). По химической структуре бетацианины состоят из беталаминовой кислоты, связанной с цикло-дигидрокси-фенилаланин-5-β-О-глюкозидом. Бетаксантины, напротив, содержат аминокислоту или амин, связанный с беталаминовой кислотой [2].

На стабильность беталаинов влияет множество факторов: температура, pH, свет и др. Наиболее оптимальным является использование в качестве экстрагента подкисленной дистиллированной воды или 20% раствора этанола, гидромодуль для водного экстракта – 1:20, а для водно-спиртового – 1:25, время экстрагирования – 90 мин при температуре 40 °C [3].

Качественную идентификацию полученных экстрактов на содержание беталаинов проводили на спектрофотометре СФ 103. Снимали спектрограмму

экстрактов при длинах волн от 400 до 700 нм и фиксировали на ней два максимума поглощения. Опираясь на данные литературы по длинам волн максимумов абсорбции некоторых бетацианинов и бетаксантинов, делали вывод о наличии двух групп пигментов.

Разделение пигментов проводили с помощью тонкослойной хроматографии (ТСХ) с применением двух смесей растворителей, состоящих из разного количества изопропанола, этанола, воды и 5% уксусной кислоты на пластинках Sorbfil ПТСХ-АФ-А. Экстракты наносили сплошной тонкой полоской [4]. Также использовали колоночную хроматографию с «гравитационным элюированием» (диаметр колонки 30 мм), в качестве сорбента выступал измельчённый силикагель (высота слоя 80 мм), элюенты – 96% этанол, которым вымывали желтую фракцию пигментов (бетаксантины), при этом в колонке удерживалась красная фракция (бетацианины), и дистиллированная вода для удаления красной фракции [5].

Концентрацию беталаинов в полученных экстрактах определяли с помощью спектрофотометрического анализа. Антиоксидантные свойства полученных экстрактов определяли методом перманганатометрии с перерасчетом на галловую кислоту, а разделенных пигментов – потенциометрией с перерасчётом на аскорбиновую кислоту.

После проведения экстракции оба экстракта получились гранатового цвета, водный – с несильным запахом свеклы, а водно-спиртовой – со слабым запахом этанола. И в водном, и в водно-спиртовом экстрактах на спектрограмме были видны два пика оптической плотности: первый (на $\lambda = 490$ нм) отвечал за содержание желтых пигментов (бетаксантины), а второй (на $\lambda = 520$ нм) – за пигменты красно-фиолетовой окраски (бетацианины).

Содержание пигментов и антиоксидантов в экстрактах представлено в таблице 1. Водно-спиртовой экстракт смог извлечь из корнеплодов свеклы большее количество беталаиновых пигментов и антиоксидантов, чем водный.

Таблица 1

Содержание пигментов и антиоксидантов в полученных экстрактах

Вещество	Водный экстракт	Водно-спиртовой экстракт
С (бетаксантины), мг/г	0,2491±0,0006	0,2659±0,0013
С (бетацианины), мг/г	0,3691±0,0019	0,4287±0,0019
АО, мг ГК/г	0,40±0,17	1,5±0,9

Примечание: ГК – галловая кислота; АО – антиоксиданты.

После проведения ТСХ на пластинке были видны две полосы. Тускло-пурпурная полоса соответствовала красным пигментам бетацианинам, а желтая – желтым пигментам бетаксантинам. Результаты расчета коэффициента подвижности (R_f) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результат расчета коэффициента подвижности (R_f)

Показатель	Бетацианины	Бетаксантины
Линия фронта, см	12,5	
Расстояние, пройденное пигментом от линии старта, см	8,75	10,5
Коэффициент подвижности (R_f)	0,70	0,84

Бетаксантины обладают большей подвижностью, чем бетацианины.

После проведения разделения пигментов с помощью колоночной хроматографии из водного экстракта было получено две фракции: желтая, содержащая бетаксантины, и слабо-розовая, содержащая бетацианины. Результаты определения содержания антиоксидантов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Содержание антиоксидантов в экстракте и разделенных пигментах

Вещество	Водный экстракт	Бетаксантины	Бетацианины
АО, мг/мл	0,08079±0,00035	0,0439±0,0007	0,0226±0,0010

Примечание: АО – антиоксиданты.

Более высокое содержание антиоксидантов обнаружено у бетаксантинов. Индивидуальные антиоксидантные эффекты в обеих группах получились слабее их сочетания. Бетаксантины имеют большее количество гидроксильных (–ОН) и имино-групп (>C=NH), что может увеличить их способность удалять свободные радикалы.

Таким образом, водно-спиртовой экстракт обеспечивает наибольшее извлечение антиоксидантов. Содержание антиоксидантов больше в желтых пигментах свеклы – бетаксантинах, чем в красных – бетацианинах.

Библиографический список

1. Колдаев В. М. Лечебно-профилактические эффекты пигментов красной свеклы при наиболее угрожающих патологических состояниях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2024. № 5. С. 46–50.
2. Milton-Laskibar I., Martínez J. A., Portillo M. P. Current knowledge on beetroot bioactive compounds: Role of nitrate and betalains in health and disease // Foods. 2021. Vol. 10. No. 6. Article No. 1314.
3. Hoang T. N. N., Nguyen T. T. H. Optimization of extraction of betalain from red beetroot (*Beta vulgaris* var. *rubra* (L.) Moq) // Journal of Science Technology and Food. 2020. Vol. 20. No. 2. P. 93–102.
4. Bilyk A. Thin-layer chromatographic separation of beet pigments. DOI:10.1111/j.1365-2621.1981.tb14588.x // J. Food Sci. 1981. Vol. 46. P. 298–299.
5. Выделение и идентификация бетацианиновых пигментов из *Beta vulgaris* и *Amaranthus retroflexus* / И. В. Слепцов, И. В. Воронов, А. Н. Журавская, Е. Р. Поскачина. DOI: 10.14258/jcprpm.201503757 // Химия растительного сырья. 2015. № 3. С. 111–115.

ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ В ЭКСТРАКТАХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

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

Проведена валидация методики перманганатометрии для определения суммарного содержания антиоксидантов в водно-спиртовых экстрактах лекарственных растений (лабазника вязолистного), произрастающих на территории Кировской области.

Ключевые слова: валидация, перманганатометрия, суммарное содержание антиоксидантов, лекарственные растения, *Filipendula ulmaria*.

В настоящее время флора Кировской области насчитывает 1470 видов сосудистых растений [1], более 200 из них являются лекарственными [2]. Одним из наиболее широко распространенных на территории Кировской области лекарственных растений является лабазник вязолистный (таволга вязолистная), *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. (сем. Rosaceae) [2, 3]. По данным [4], в нашем регионе пойменные таволговые луга приурочены к притокам р. Вятки и характерны преимущественно для понижений в центральной пойме. Н. Ю. Егорова и В. Н. Сулейманова [5] выявили три экотипа местообитаний *F. ulmaria*: пойменные влажные луга (высокотравно-злаковый, вейниково-злаковый, разнотравно-таволговый, осоково-кровохлебково-таволговый и др.), вырубки на месте сырых лесов (березняков и сероольшанников травяных и болотно-травяных) и влажные мелколиственные леса (березняки болотно-травяные, нитрофильно-травяные, таволговые, сероольшанники нитрофильно-травяные, таволговые).

F. ulmaria является ценным лекарственным растением с разнообразными фармакологическими свойствами: антиоксидантным, антикоагулянтным, гастропротекторным, противодиабетическим, иммуномодулирующим и т. д. [6]. Основную группу биологически активных веществ этого растения составляют фенольные соединения (более 100 соединений, в т. ч. гликозиды кверцетина), полифенольные компоненты спиреин, салициловая кислота и др.), флавонолы (спиреозид, гиперозид, рутин и др.), эллаготанины (теллимаграндины I и II, ругозин D), которые обладают выраженными антиоксидантными свойствами [6, 7].

Ранее нами с помощью метода перманганатного титрования было определено суммарное содержание антиоксидантов (в пересчете на кверци-

тин) в водно-спиртовых экстрактах из листьев и цветков *F. ulmaria*, произрастающего в различных районах Кировской области [8]. Для того, чтобы убедиться в возможности использования той или иной аналитической методики, ее необходимо валидировать. Валидация аналитической методики представляет собой экспериментальное подтверждение того, что методика, используемая для контроля качества лекарственных средств, подходит для решения поставленных задач и может быть выполнена в условиях лаборатории [9, 10].

Объектом исследования служили соцветия и листья *F. ulmaria*. Лекарственное растительное сырье отбирали вблизи сл. Захарищево Кировской области в июле 2023 г. в соответствии с правилами сбора, высушены и в последующем измельчены. Хранение ЛРС соответствовало требованиям. Листья и цветки хранили отдельно, на упаковки была прикреплена этикетка с наименованием сырья, месяцем и годом сбора [11].

Для приготовления экстракта лекарственное растительное сырье предварительно измельчали и просеивали через сито. Навеску измельченного растительного сырья 0,3 г помещали в пробирку и приливали 15 мл экстрагента (70% этиловый спирт). Пробирку помещали в водяную баню и, поддерживая медленное кипение, нагревали в течение 2 ч. После охлаждения проводили фильтрацию полученного экстракта через сухой беззольный фильтр в сухую мерную пробирку [12].

Для определения суммарного содержания антиоксидантов полученного водно-спиртового экстракта *F. ulmaria* использовали метод перманганатного титрования. В качестве стандартного раствора использовали спиртовой раствор кверцетина [13, 14]. Установлено, что суммарное содержание в водно-спиртовых экстрактах листьев и цветков *F. ulmaria* составляет соответственно $39,15 \pm 1,9$ и $45,58 \pm 2,3$ мг/г (в пересчете на кверцетин), что согласуется с данными других авторов [7, 15, 16].

Валидацию методик проводили по таким характеристикам как линейность, повторяемость и правильность согласно [9].

Определение линейности проводили на 5 уровнях концентрации 80, 90, 100, 110, 120% от номинального значения (1,3 мл для экстракта листьев и 0,8 мл для экстракта цветков). Методику можно признать валидной по характеристике «линейность», так как коэффициент корреляции $R \approx 1,00$ (рис.).

Повторяемость результатов методики определялась на пяти уровнях концентраций в трех повторностях. Критерий валидности методики по показателю «повторяемость» – относительное стандартное отклонение (RSD, %). Исходя из полученных данных (табл. 1), методика дает повторяющиеся результаты, величина относительного стандартного отклонения не превышает допустимые пределы: для экстракта листьев – 1,5%, для экстракта цветов – 4,8%.

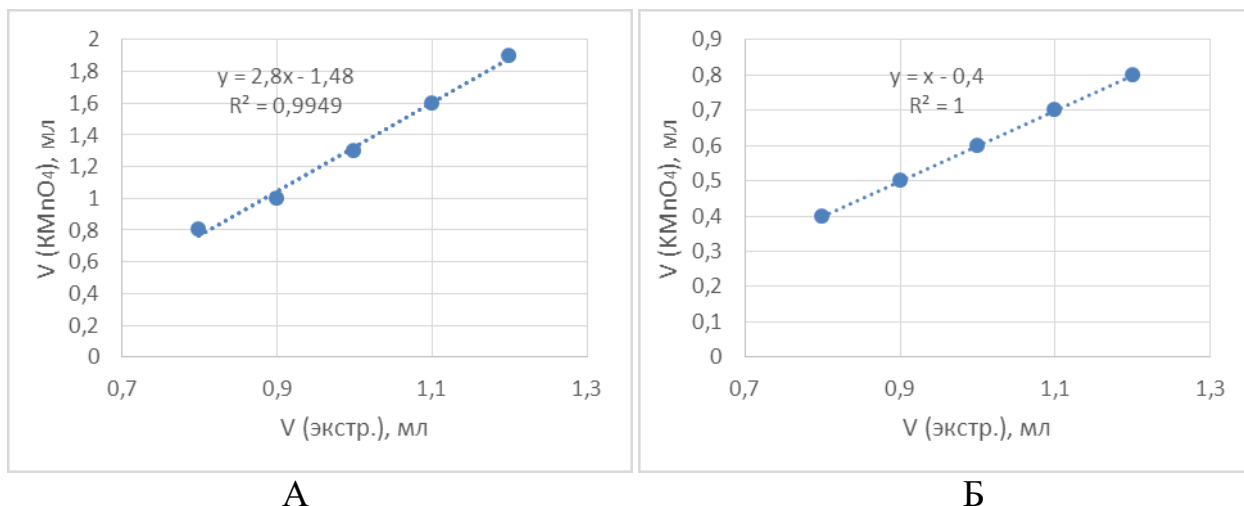


Рис. Результаты валидации методики определения суммарного содержания антиоксидантов в экстрактах листьев (А) и цветков (Б) *Filipendula ulmaria* методом перманганатометрии по характеристике линейность

Таблица 1

Результаты валидации методики определения суммарного содержания антиоксидантов в экстрактах листьев (А) и цветков (Б) *Filipendula ulmaria* методом перманганатометрии по характеристике «повторяемость»

Вариант	Найдено, мг/мл	$X_{\text{ср.}}$, мг/мл	СКО (SD)	Относительное СКО, % (RSD)	$\Delta x = \frac{(СКО \cdot t)}{\sqrt{n}}$
А	0,624	0,490	1,2	1,2	1,2
	0,560				
	0,480				
	0,400				
	0,390				
Б	1,250	1,066	2,9	2,9	3,5
	1,120				
	1,040				
	0,980				
	0,940				

Для проверки «правильности» методики объединяли экстракты листьев и цветков лабазника. Проверяли правильность методики методом «введено-найденно». Значение, принимаемое за истинное, лежит внутри доверительного интервала соответствующего среднего результата анализа, полученного экспериментально (табл. 2), поэтому мы можем сделать вывод, что методика по характеристике «правильность» валидна.

Результаты валидации методики определения суммарного содержания антиоксидантов в экстрактах листьев (А) и цветков (Б) *Filipendula ulmaria* методом перманганатометрии по характеристике «правильность»

Суммарное содержание антиоксидантов, мг/мл	
Введено	Найдено
0,5	0,4±0,2

В результате проделанной работы можно сделать вывод о том, что методика перманганатометрии валидна, т. е. экспериментально было доказано, что методика подходит для определения суммарного содержания антиоксидантов в экстрактах листьев и цветов *F. ulmaria*.

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

Библиографический список

1. Гордеева З. И. Кировская область. Природа [Электронный ресурс]. – URL: <https://bigenc.ru/c/kirovskaja-oblast-priroda-7d52ac> (дата обращения: 19. 03.2025).
2. Лугинина Е. А. Ресурсы дикорастущих лекарственных, ягодных, плодовых растений и грибов в Кировской области и особенности их использования // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. 2004. № 1. С. 70–71.
3. Егошина Т. Л., Лугинина Е. А., Кириллов Д. В. Лекарственные растения и грибы народной медицины Кировской области: особенности использования и ресурсы // Вестник Оренбургского государственного университета. 2016. № 4 (192). С. 66–71.
4. Щукина К. В. К вопросу о классификации таволговых лугов поймы р. Вятки // Наука сегодня : проблемы и пути решения : материалы международной научно-практической конференции. Ч. 1. Вологда : ООО «Маркер», 2016. С. 34–36.
5. Егорова Н. Ю., Сулейманова В. Н. Эколого-ценотическая и ресурсная характеристика местообитаний *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. (Rosaceae) в Кировской области // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. 2023. № 1 (91). С. 5–15.
6. Дубашинская Н. В., Юркевич А. А. Лабазник вязолистный: химический состав и фармакологическая активность // Вестник фармации. 2017. № 4 (78). С. 55–58.
7. Васфилова Е. С., Сушенцов О. Е. Взаимосвязь морфологических показателей и содержания флавонолов в различных органах растений лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. S.L.) // Вестник Удмуртского университета. 2016. Т. 26. № 1. С. 43–52.
8. Пономарева Д. А., Сазанова М. Л. Изучение суммарного содержания антиоксидантов в лекарственном сырье // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы междунар. науч.-практ. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 208–213.
9. ОФС.1.1.0012. Валидация аналитических методик [Электронный ресурс]. – URL : <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-1/validatsiya-analiticheskikh-metodik/> (дата обращения: 19. 03.2025).

10. Валидация аналитических методик: теория и практика. Часть I. Теория / П. Носырев, М. Носырева, Т. Рассказова, Н. Корнеева // Ремедиум. Журнал о российском рынке лекарств и медицинской технике. 2003. № 11. С. 62–64.

11. Правила сбора и сушки лекарственных растений (сб. инструкций). М. : Медицина, 1985. 328 с.

12. ОФС.1.5.3.0006. Определение содержания экстрактивных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-5/1-5-1/opredelenie-soderzhaniya-ekstraktivnykh-veshchestv-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennykh/> (дата обращения: 19.03.2025).

13. Пат. 2 170 930. РФ, МПК G01N 33/50 (2006.01), G01N 33/52 (2006.01). Способ определения антиокислительной активности : № 2000111126/14 : заявл. 05.05.2000 : опубл. 20.07.2001 / Т. В. Максимова, И. Н. Никулина, В. П. Пахомов и др. 6 с.

14. ОФС.1.2.3.0029 Титриметрия (титриметрические методы анализа) [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-2/1-2-3-metody-kolichestvennogo-opredeleniya/titrimetriya-titrimetricheskie-metody-analiza/> (дата обращения: 19. 03.2025).

15. Башилов А. В. Антиокислительная активность экстрактивных веществ *Polemonium caeruleum* L. и представителей рода *Filipendula* Mill. // Вестник БГУ. Сер. 2. 2007. № 2. С. 65–69.

16. 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.

ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ГИДРОЛАТЕ ПИХТЫ

А. К. Юферева¹, М. Л. Сазанова^{1,2}

¹ Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
yufereva.anna.k@list.ru,

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

Проведена валидация методики перманганатометрии для определения суммарного содержания антиоксидантов и методики спектрофотометрии для определения суммы фенольных соединений в гидролате из хвои пихты сибирской.

Ключевые слова: валидация, перманганатометрия, спектрофотометрия, суммарное содержание антиоксидантов, сумма полифенолов, гидролат.

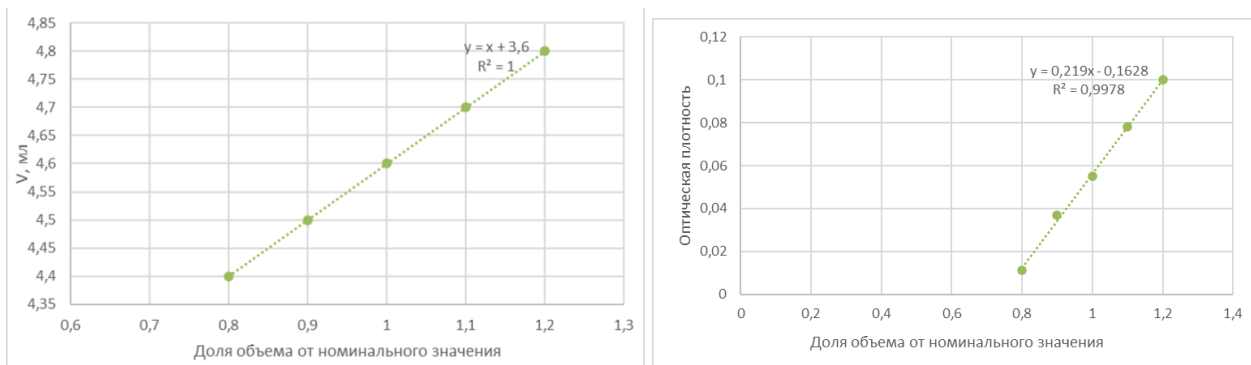
Препараты на основе растительного сырья издавна используются в медицине и косметологии. По данным [1], почти 80% населения мира, особенно в развивающихся странах, для лечения и профилактики заболеваний используют препараты растительного происхождения. Путем паровой дистилляции

растительного материала можно получить гидролаты – продукты мягкого действия, насыщенные ценными водорастворимыми компонентами, содержащимися в растениях: эфирными маслами, ароматическими кислотами, биофлавоноидами, витаминами и др. [2]. Насыщенные антиоксидантами гидролаты в составе лечебной и уходовой косметики защищают кератиноциты кожи от ксенотоксического стресса, стимулируют заживление ран и т.п. [3–5].

Современные способы экстракции (микроволновая, сверхкритическим CO_2 и т.п.) и инструментальные методы анализа (масс-спектрометрия, ядерно-магнитный резонанс, высокоэффективная жидкостная хроматография, газовая хроматография и т.п.) позволяют более точно определять химический состав и более эффективно извлекать биологически активные вещества из растительного сырья. Все используемые методы должны быть валидированы перед применением. Валидация – подтверждение посредством представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены [6]. Валидация методик необходима и по той причине, что различные методы экстракции влияют на профиль химической и биологической активности [1]. Валидация методов химического анализа должна проводиться в соответствии с действующей официальной фармакопеей (в России – XV издание) [7] и/или последними руководящими принципами (например, АОАС, FDA, ЕМА, ВОЗ и т. д.) [1]. Параметры валидации (линейность, правильность, повторяемость и др.) должны соответствовать критериям приемлемости используемой в настоящее время фармакопеи или официального руководства.

Ранее нами был синтезирован гидролат из хвои пихты сибирской и в нем определено суммарное содержание антиоксидантов (в пересчете на кверцетин) методом перманганатометрии и суммы фенольных соединений методом спектрофотометрии с использованием реактива Фолина-Чокальтеу [8]. В данной работе приведены результаты валидации использованных методик. Валидация методик проводилась по таким характеристикам как линейность, повторяемость и правильность согласно [7].

Валидация методики определения суммы антиоксидантов методом перманганатометрии. Для определения «линейности» методики было проведено 5 измерений с растворами KMnO_4 с концентрациями 80%, 90%, 100%, 110%, 120% от номинального значения (1,0 мл). В конические колбы вносили 0,8, 0,9, 1,0, 1,1, 1,2 мл 0,05 н раствора KMnO_4 и 5 мл 20% раствора серной кислоты, перемешивали и титровали из микробюретки гидролатом. Измерения проводились в трех повторностях. Результаты представлены на рисунке А; зависимость имеет линейную форму. Методику можно признать валидной по характеристике «линейность», так как коэффициент корреляции $R^2 = 1$ ($\geq 0,99$).



А

Б

Рис. Результаты валидации методики определения суммарного содержания антиоксидантов (А) и методики определения суммы фенольных соединений (Б) по характеристике линейность. V, мл – объем гидролата

Повторяемость результатов методики определялась также по растворам KMnO_4 пяти различных концентраций в трех повторностях. Критерий валидности методики по показателю «повторяемость» – относительное стандартное отклонение (RSD, %), которое не должно превышать 5%. Исходя из полученных данных (табл. 1), методика дает повторяющиеся результаты, величина относительного стандартного отклонения не превышает допустимые пределы.

Таблица 1

Результаты валидации методики определения суммарного содержания антиоксидантов (А) и методики определения суммы фенольных соединений (Б) по характеристике «повторяемость»

Параметры		80%	90%	100%	110%	120%
А	Измерение 1, мг/дм ³	8,860	8,660	8,480	8,160	7,960
	Измерение 2, мг/дм ³	8,660	8,480	8,480	8,300	8,160
	Измерение 3, мг/дм ³	8,860	8,660	8,300	8,300	8,160
	Среднее, мг/дм ³	8,793	8,600	8,420	8,253	8,093
	СКО повторяемости, мг/дм ³	0,115	0,104	0,104	0,081	0,115
	СКО _{отн.} (RSD), %	0,013	0,012	0,012	0,010	0,014
Б	Измерение 1, мг/дм ³	0,04687	0,07685	0,05672	0,08435	0,08370
	Измерение 2, мг/дм ³	0,05116	0,07899	0,05558	0,08542	0,08456
	Измерение 3, мг/дм ³	0,05544	0,07899	0,05672	0,08542	0,08542
	Среднее по 3 измерениям, мг/дм ³	0,05116	0,07828	0,05634	0,08506	0,08456
	СКО повторяемости, мг/дм ³	0,00428	0,00124	0,00066	0,00062	0,00086
	СКО _{отн.} (RSD), %	0,08372	0,01579	0,01167	0,00727	0,01013

Примечание: СКО – среднее квадратичное отклонение, СКО_{отн.} (RSD) – относительное СКО.

Для проверки «правильности» методики использовался метод «введено – найдено». Метод основан на выявлении введенного точно известного коли-

чества добавки искомого компонента проверяемой методики. Добавка должна содержать известное количество определяемого компонента, что и в анализируемом объекте. Для нашей методики добавкой являлся кверцетин. Значение, принимаемое за истинное, лежит внутри доверительного интервала соответствующего среднего результата анализа, полученного экспериментально (табл. 2), поэтому мы можем сделать вывод, что методика по характеристике «правильность» валидна.

Таблица 2

Результаты валидации методики определения суммарного содержания антиоксидантов по характеристике «правильность»

Суммарное содержание антиоксидантов, мг/мл	
Введено	Найдено
0,5	0,4±0,2

Валидация методики определения суммы полифенолов методом спектофотометрии. Для определения «линейности» было проведено 5 измерений с различными концентрациями полученного гидролата в растворе: 80%, 90%, 100%, 110%, 120% от номинального значения (0,3 мл). В пять мерных колб вносили 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 и 0,5 мл полученного гидролата, 10 мл дистиллированной воды, 2 мл реактива Фолина-Чокальтеу и 3 мл раствора Na_2CO_3 . Доводили растворы до метки во всех колбах дистиллированной водой, через 2 ч измеряли оптическую плотность растворов при длине волны 765 нм. Результаты представлены на рисунке Б. Методику можно признать валидной по характеристике «линейность», так как коэффициент детерминации $R^2 = 0,9978 (\geq 0,99)$, а график имеет линейную зависимость.

Повторяемость результатов методики определялась также на пяти уровнях концентраций перманганата калия в трех повторностях. Критерий валидности методики по показателю «повторяемость» – относительное стандартное отклонение (RSD, %), которое не должно превышать 3%.

В результате проделанной работы можно сделать вывод о том, что использованные методики валидны, т. е. экспериментально было доказано, что методики подходят для определения суммарного содержания антиоксидантов и суммы фенольных соединений в гидролате из хвои пихты.

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

Библиографический список

1. Indrayanto G. The importance of method validation in herbal drug research. DOI: 10.1016/j.jpba.2022.114735 // J. Pharm. Biomed. Anal. 2022. Vol. 214. Article No. 114735.
2. Богданова С. А., Копанева М. С. Коллоидно-химические свойства косметических средств с гидролатами // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 10. С. 14–16.

3. Костюк В. А. Роль эндогенных и экзогенных антиоксидантов в защите кожи от негативного воздействия экспозома // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2021. № 2. С. 3–12.
4. Fernblock® upregulates NRF2 antioxidant pathway and protects keratinocytes from PM_{2.5}-induced xenotoxic stress // P. Delgado-Wicke, A. Rodríguez-Luna, Y. Ikeyama, et al. DOI: 10.1155/2020/2908108 // Oxid. Med. Cell. Longev. 2020. Vol. 14. Article No. 2908108.
5. Современные методы стимуляции процесса регенерации послеоперационных ран / А. М. Морозов, А. Н. Сергеев, Н. А. Сергеев и др. DOI: 10.20333/2500136-2020-3-54-60 // Сибирское медицинское обозрение. 2020. № 3. С. 54–60.
6. Порошин С. А. Валидация и верификация // Методы оценки соответствия. 2013. №. 7. С. 5–6.
7. ОФС.1.1.0012. Валидация аналитических методик [Электронный ресурс]. – URL : <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-1/validatsiya-analiticheskikh-metodik/> (дата обращения: 09.04.2025).
8. Юферева А. К., Сазанова М. Л. Синтез гидролата из хвои пихты сибирской и анализ суммарного содержания антиоксидантов и полифенолов // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 263–267.

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И НЕКОТОРЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ

А. С. Пакичев, Т. А. Адамович

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
alexsandrpakichev2001@gmail.com*

В статье представлены результаты исследования влияния тяжелых металлов (ТМ) на антиоксидантную активность в лекарственных растениях, собранных на территории Кировской области. Установлено, что изучение содержания антиоксидантов в лекарственных растениях можно рекомендовать для экологического мониторинга загрязнения окружающей среды ТМ.

Ключевые слова: атомно-абсорбционная спектроскопия, лекарственные растения, тяжелые металлы, антиоксиданты.

Кировская область является крупным промышленным регионом Приволжского федерального округа. Стремительное развитие промышленности приводит к увеличению вредных веществ в биосфере и тем самым оказывает негативное влияние на состояние окружающей среды. В результате воздействия техногенных загрязнений на лекарственные растения происходит накопление различных токсикантов, в том числе тяжелых металлов (ТМ) [1].

Контроль качества лекарственного сырья является важной задачей фармацевтических предприятий. Использование лекарственных растений в качестве растительного сырья для производства лекарственных препаратов, собранных на загрязненных территориях, может представлять серьезную

угрозу для здоровья человека. Целью работы стало определить влияние ТМ на антиоксидантную активность лекарственных растений, собранных на территории Кировской области.

Для проведения исследования отобраны пробы лекарственных растений в Кировской области: г. Нолинск, с. Чистополье и п. Захарищевы. В каждом населенном пункте собраны листья березы и дуба, цветки зверобоя. В лаборатории определили содержание ТМ (Zn, Cu, Fe, Cd, Ni) и антиоксидантов в пробах.

Количественное содержание полифенолов (ПФ) и флавоноидов определяли с помощью спектрофотометрического метода [2, 3]. Экстрагирование ПФ и флавоноидов из проб лекарственных растений проводили добавлением 70%-го этилового спирта к навеске материала и помещали на 2 часа в водяную баню при температуре 79 °С, после охлаждали и фильтровали [4].

Содержания ТМ в пробах определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-7000 («Shimadzu Corporation», Япония). Метод заключается в распылении испытуемой пробы и атомизации в высокотемпературном пламени с последующим измерением уровня оптического поглощения спектральных линий, характерных для атомов определяемых элементов. Подготовка проб к минерализации заключалась в предварительной сушке собранных органов лекарственных растений до воздушно-сухого состояния, измельчении и озолении. Для каждой пробы по данным сухой минерализации рассчитывали зольность [5, 6].

Полученные в результате исследования данные по содержанию ПФ и флавоноидов в лекарственных растениях представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание полифенолов и флавоноидов в лекарственных растениях, мг/г

Место отбора	Лекарственное растение, орган	Содержание полифенолов	Содержание флавоноидов
Нолинск	Береза, листья	25±6	5,4±0,3
	Дуб, листья	16±4	8,9±1,5
	Зверобой, цветки	54±14	14,4±1,7
Захарищевы	Береза, листья	6,9±1,7	32,1±0,1
	Дуб, листья	38±10	10,5±0,4
	Зверобой, цветки	46±11	8,0±0,3
Чистополье	Береза, листья	35±9	11,4±1,1
	Дуб, листья	17±4	11,0±0,2
	Зверобой, цветки	54±14	16,6±0,3

Примечание: жирным шрифтом выделены наибольшие значения.

Лидирующее положение по содержанию ПФ зафиксировано в цветках зверобоя из г. Нолинска и с. Чистополье (54±14 мг/г). Максимальное содержание флавоноидов выявлено в листьях березы (32,1±0,1 мг/г) из п. Захарищевы.

Согласно полученным данным зольность лекарственных растений варьировала от 5 до 9%.

Результаты работы по определению ТМ в органах лекарственных растениях представлены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в пробах лекарственных растений, мг/кг

Место отбора	Лекарственное растение, орган	Zn	Cu	Fe	Cd	Ni
Нолинск	Береза, листья	165±17	2,8±0,3	35,3±3,5	н/о	0,8±0,1
	Дуб, листья	19,8±2,0	5,3±0,5	46±5	н/о	0,6±0,1
	Зверобой, цветки	30,5±3,1	6,2±0,6	88±9	н/о	1,2±0,1
Захарищевы	Береза, листья	66±7	9,5±1,0	23,3±2,3	0,12±0,01	3,2±0,3
	Дуб, листья	8,8±0,9	4,2±0,4	22,9±2,3	0,030±0,003	0,7±0,1
	Зверобой, цветки	26,8±2,7	40±4	44±4	0,12±0,01	1,7±0,2
Чистополье	Береза, листья	45±4	3,8±0,4	9,1±0,9	0,05±0,01	0,9±0,1
	Дуб, листья	10,2±1,0	3,7±0,4	49±5	н/о	0,6±0,1
	Зверобой, цветки	51±5	8,9±0,9	33,1±3,3	н/о	0,47±0,05

Примечание: н/о – результаты ниже предела обнаружения, жирным шрифтом выделены наибольшие значения.

В результате изучения содержания ТМ можно отметить, что преобладающими металлами в составе исследуемых образцов растений являются цинк и железо. Ряд убывания содержания ТМ в лекарственных растениях выглядит следующим образом: Zn > Fe > Cu > Ni > Cd. Наибольшее содержание цинка и железа зафиксировано в листьях березы (165±17 мг/кг) и цветках зверобоя (88±9 мг/кг), собранных в г. Нолинске. Содержание меди, кадмия и никеля было наибольшим в пробах растений из п. Захарищевы.

Таким образом, наиболее загрязненными ТМ являются пробы из г. Нолинска и п. Захарищевы, максимальное содержание ПФ и флавоноидов также выявлено в этих населённых пунктах, что может быть связано с окислительным стрессом, который могут вызывать ТМ. Следовательно, изучение содержания антиоксидантов в лекарственных растениях можно рекомендовать для экологического мониторинга загрязнения окружающей среды ТМ.

Библиографический список

1. Изучение загрязнения лекарственных растений тяжелыми металлами в Тюменской области / Л. М. Григорьева, А. М. Гареева, М. Д. Ваганов, И. А. Мезенцева. DOI: 10.23670/IRJ.2021.110.8.024 // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 8–1 (110). С. 147–152.
2. ГОСТ Р 55488-2013. Прополис. Метод определения полифенолов. М. : Стандартинформ, 2013. 9 с.
3. ГОСТ 13399-89. Цветки арники. Технические условия. М. : ИПК Изд-во стандартов, 1995. 11 с.
4. Пакичев А. С., Фокина А. И., Адамович Т. А. Валидация методики спектрофотометрического определения полифенолов с реактивом Фолина-Чокальтеу в семенах маша // Химические проблемы современности 2023 : материалы VII Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Донецк : Донецкий национальный университет, 2023. С. 56–59.

5. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. М. : Стандартинформ, 2010. 12 с.

6. ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. М. : Стандартинформ, 2010. 10 с.

ТОКСИЧНОСТЬ РОЗУВАСТАТИНА ДЛЯ РЯСКИ МАЛОЙ

А. В. Ипатов

*Марийский государственный университет,
г. Йошкар-Ола, Россия, alexsandr.ipatov.1997@mail.ru*

В статье описано воздействие фармацевтического препарата розувастатина на водное растение ряску малую (*Lemna minor* L.). Определены изменения скорости роста, площади покрытия и доли фрондов с хлорозами в зависимости от разных концентраций данного лекарственного средства.

Ключевые слова: лекарственный препарат, розувастатин, ряска малая, экотоксичность.

Современный этап развития человеческого общества характеризуется постоянным увеличением производства и потребления лекарственных средств. Одновременно повышается проникновение фармацевтических соединений в естественные экосистемы [1]. Они могут мигрировать в виде метаболитов жизнедеятельности человека и сельскохозяйственных животных, а также вместе с лекарственными отходами. Фармацевтические соединения обладают выраженным физиологическим действием на живые организмы и могут оказывать влияние даже в незначительных количествах.

Розувастатин – синтетическое гиполипидемическое лекарственное средство IV поколения из группы статинов, селективный и конкурентный ингибитор ГМГ-КоА-редуктазы. Данный препарат широко применяется для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний у людей из группы высокого риска и для лечения нарушений липидного обмена. Как правило, его используют в таблетках, в виде кальциевой соли.

По сравнению с другими лекарственными средствами розувастатин пока редко обнаруживается в окружающей среде. Он обнаружен в городских дренажных каналах (до 38,5 нг/л) и в прибрежных морских водах Бразилии [2], а также в поверхностных водах Канады до 74,9 нг [3]. Токсичность розувастатина для нецелевых организмов также практически не изучена. Одной из немногих таких работ было исследование действия этого препарата на двустворчатых моллюсков *Lampsilis siliquoidea* Barnes в течение 20 дней [4]. Розувастатин не оказывает летального или угнетающего роста эффекта при концентрациях до 100 мг/л, но способен снижать фильтрующую способность моллюсков до 70%. В другой работе изучено влияние розувастатина на прирост биомассы, содержание фотосинтетических пигментов, белков и жиров у цианобактерии *Synechocystis* sp. [5]. Было обнаружено, что концентрации до

600 мг/л не влияют на прирост биомассы, но могут снижать содержание общего хлорофилла на 7–8 день исследования.

Для оценки действия фармполлютантов на экосистемы мы сочли необходимым изучить влияние лекарственных средств на нецелевые организмы. Так как основой большинства экосистем являются фотоавтотрофы, целесообразно исследовать токсичность лекарств среди этих групп организмов. Одними из часто используемых объектов для биотестирования среди растений являются ряска малая (*Lemna minor* L.) и ряска горбатая (*Lemna gibba* L.) [6]. Более того, у ряски обнаружен потенциал к биоремедиации некоторых загрязнителей.

Целью данной работы являлось изучение влияния розувастатина на основные морфологические и ростовые показатели ряски малой.

Образцы *Lemna minor* отобраны в пруду в 3 км от г. Йошкар-Ола на территории СНТ «Энергетик» в июле 2023 г. Для создания материнской культуры отобрали 100 колоний, состоящие из 2–4 фрондов без видимых повреждений и хлорозов. Отобранные растения промывали дистиллированной водой, затем опускали на 3–4 с в 3% раствор перекиси водорода, а затем снова промывали дистиллированной водой. Перед экспериментом культуру ряски выращивали в течение 2 месяцев на питательной среде Штейнберга при стандартных условиях: освещённость 7000 лк, температура 24 ± 2 °C.

В качестве источника действующего вещества применяли препарат розувастатин производства АО «Биохимик». Использовали лекарственную форму в виде таблеток, покрытых плёночной оболочкой, которые содержат 10,4 мг розувастатина кальция (в пересчёте на розувастатин – 10 мг). Для извлечения лекарственного вещества таблетки измельчали в ступке до состояния порошка и растворяли в дистиллированной воде температурой 37 °C в течение 30 мин. Полученный раствор фильтровали и использовали для эксперимента.

Тест на токсичность розувастатина проводился в соответствии с ГОСТом 32426-2013 [7]. Использовался статический тест в течение 7 дней. В эксперименте использовали растворы лекарственного препарата в концентрациях 10, 20, 40, 60 и 80 мкг/л в трёх повторениях каждый. Диапазон концентраций взят на основе предварительных тестов и данных литературы. Экспериментальными ёмкостями служили стеклянные стаканы объёмом 250 мл, в которые добавляли 100 мл среды Штейнберга, 100 мл дистиллированной воды и необходимое количество раствора лекарственного препарата. Ёмкости закрывали пищевой плёнкой с отверстиями для уменьшения испарения и загрязнения растворов.

По итогам эксперимента фиксировали морфологические изменения фрондов, вычисляли удельную скорость роста (μ_{i-j}), отношение площадей покрытия фрондов до и после эксперимента (S_2/S_1), а также долю фрондов с хлорозами. Удельную скорость роста вычисляли как отношение разности десятичных логарифмов числа фрондов в начале и в конце эксперимента к количеству дней, согласно ГОСТ 32426-2013:

$$\mu_{i-j} = (\ln(N_j) - \ln(N_i)) / t, \quad (1)$$

где μ_{i-j} – средняя удельная скорость роста от времени i до времени j ; N_j – переменная теста в опыте во время j ; N_i – переменная теста в контроле во время i ; t – период времени от i до j . Площадь покрытия определяли с помощью обработки фотографии в программе ImageJ.

В ходе эксперимента обнаружено, что высокие концентрации розувастатина приводят к распаду колоний ряски на отдельные фронды, а также отпадению корней. Данные эффекты были ярко выражены при концентрациях 80 и 60 мкг/л. При концентрации 40 мкг/л отпадение фрондов и корней обнаружено только у 1–2 колоний и не наблюдалось при концентрациях 20 и 10 мкг/л. Распад колонии на отдельные фронды и отпадение корней является отличительной реакцией колоний ряски на стресс. Считается, что данный механизм помогает предотвратить распространение токсичных веществ в новые фронды.

Удельная скорость роста показывает способность ряски к образованию новых фрондов. Исследование данного параметра обнаружило достоверное снижение скорости образования новых фрондов при концентрациях 80 и 60 мкг/л. При концентрации розувастатина в 80 мкг/л наблюдалось снижение скорости роста, в среднем более чем на 50% по сравнению с контролем (рис. 1). При концентрации 60 мкг/л наблюдалось снижение роста более чем на 25%. При концентрациях 40, 20 и 10 мкг/л не было выявлено достоверных отличий в скорости роста.

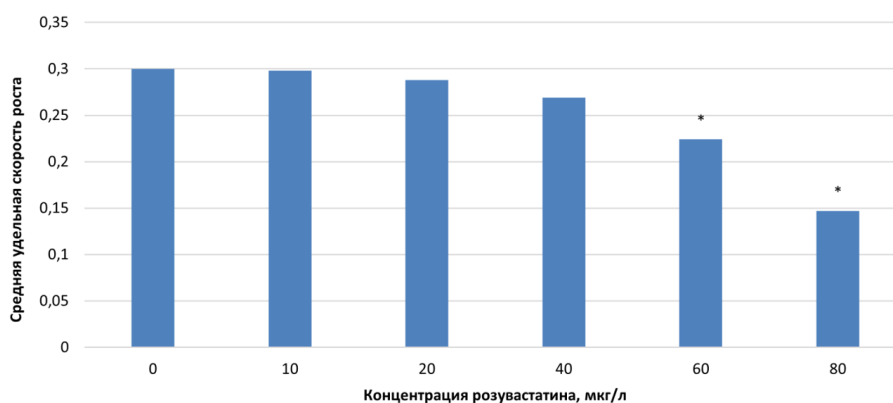


Рис. 1. Средняя удельная скорость роста ряски в зависимости от концентрации розувастатина через 7 дней после воздействия:

* – отличия достоверны ($p \leq 0.01$), t-критерий Стьюдента

Изучение площади покрытия фрондов выявило достоверное уменьшение отношения площадей в начале и в конце эксперимента при концентрациях 80, 60 и 40 мкг/л. При концентрации розувастатина в 80 мкг/л площадь за 7 дней увеличилась чуть больше чем в 2 раза (рис. 2), что на 70% меньше чем в контроле. При концентрации 60 мкг/л площадь покрытия в среднем увеличилась в 3,45 раза, а при концентрации 40 мкг/л – в 5,13 раз. При концентрациях 20 и 10 мкг/л не было выявлено достоверных отличий в отношениях площадей. Можно отметить, что при 40 мкг/л показатель удельной скорости роста

достоверно не отличался, в отличие от отношения площадей. Можно предположить, что розувастатин в большей степени влияет на среднюю площадь новых фрондов, чем на их число.

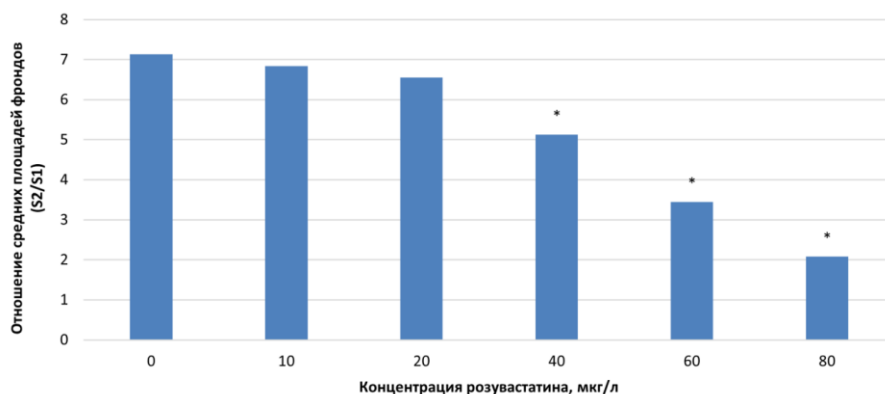


Рис. 2. Отношение средних площадей фрондов до и через 7 дней после воздействия розувастатина:

* – отличия достоверны ($p \leq 0.01$), t-критерий Стьюдента

Хлорозы – желтые или белые участки растения, образующиеся в результате повреждения фотосинтетического аппарата растений. Исследование доли фрондов с хлорозами выявило достоверное увеличение при концентрациях 80, 60 и 40 мкг/л. При концентрации розувастатина в 80 мкг/л доля фрондов с хлорозами в среднем составила 63% (рис. 3.). При концентрации 60 мкг/л она в среднем составила 20%, а при концентрации 40 мкг/л – 13%. При концентрациях 20 и 10 мкг/л не было выявлено достоверных отличий от контроля.

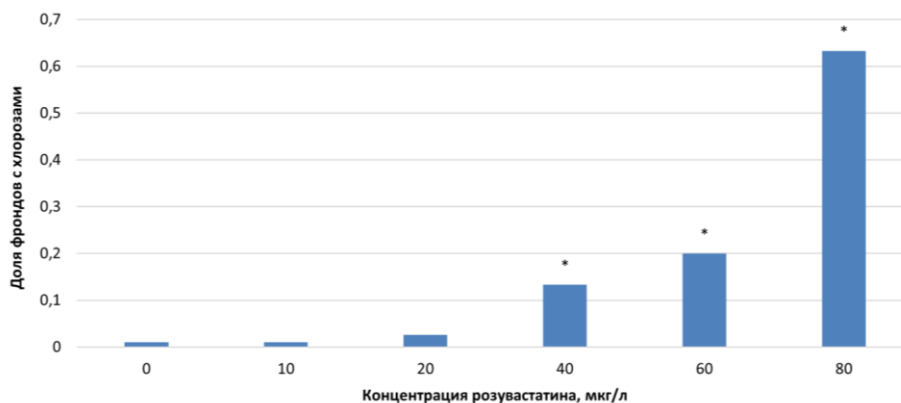


Рис. 3. Средняя доля поврежденных фрондов ряски малой через 7 дней после воздействия розувастатина:

* – отличия достоверны ($p \leq 0.01$), t-критерий Стьюдента

Розувастатин, извлеченный из твердой лекарственной формы, оказывает токсическое действие на ряску малую. Эффект наблюдается при концентрациях 80, 60 и 40 мкг/л. Он выражается в снижении средней удельной скорости роста, уменьшении их площади покрытия и увеличении доли растений с хлорозами при всех изученных концентрациях. Наиболее чувствительными

были показатели площади покрытия и доли фрондов с хлорозами, которые достоверно отличались от контроля также при концентрации 40 мкг/л, в отличие от показателя удельной скорости роста.

Библиографический список

1. Баренбойм Г. М., Чиганова М. А., Березовская И. В. Особенности загрязнения поверхностных водных объектов компонентами лекарственных средств // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 3. С. 131–141.
2. Occurrence and ecological risk assessment of pharmaceuticals and cocaine in a beach area of Guarujá, São Paulo State, Brazil, under the influence of urban surface runoff / V. Roveri, L. L. Guimarães, W. Toma, A. T. Correia. DOI: 10.1007/s11356-020-10316-y // Environ. Sci. Pollut. Res. 2020. Vol. 27. No. 36. P. 45063–45075.
3. Occurrence and fate of rosuvastatin, rosuvastatin lactone, and atorvastatin in Canadian sewage and surface water samples / H. B. Lee, T. E. Peart, M. L. Svoboda, S. Backus. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2009.09.068 // Chemosphere. 2009. Vol. 77. No. 10. P. 1285–1291.
4. Toxicity and bioconcentration of the pharmaceuticals moxifloxacin, rosuvastatin, and drospirenone to the unionid mussel *Lampsilis siliquoidea* / E. A. Gilroy, J. S. Klinck, S. D. Campbell, et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.03.051 // Sci. Total Environ. 2014. Vol. 487. No. 15. P. 537–544.
5. Investigation of pharmaceutical compounds (metronidazole, rosuvastatin and codeine phosphate) removal by *Synechocystis* sp. PCC6803 microalga / M. Bahman, H. Jalili, M. Etesam, A. Amrane. DOI: 10.1016/j.jwpe.2022.102820 // J. Water Proc. Eng. 2022. Vol. 47. Article No.102820.
6. Цаценко Л. В., Пасхалиди В. Г. Рясковые как модельный объект в биотестировании водной и почвенной среды // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИ масличных культур. 2018. № 4 (176). С. 146–151.
7. ГОСТ 32426-2013. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание ряски на угнетение роста [Электронный ресурс]. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=185415> (дата обращения: 20.03.2025).

CAPSELLA BURSA-PASTORIS L. ECOLOGICAL CHARACTERISTICS AND CULTIVATION TECHNOLOGY IN SYRDARYA REGION

F. Abdukholikov¹, A. Eshtemirov¹, M. Norkulov²

¹ Gulistan State University, Gulistan, Uzbekistan,
farrukh.abdukholikov@gmail.com,

² Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan,
masud.norqulov@mail.ru

The bioecological properties and cultivation of the medicinal plant – *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. – are outlined. *C. bursa-pastoris* is a widespread, cold- and drought-resistant ephemeral-ruderal plant. This plant grows well on fertile soils and requires little care. In medicine *C. bursa-pastoris* is widely used as a hemostatic and uterine muscle tonic, and is also used to treat hepatic diseases. It contains the great amount of biologically active substances. It can be used for phytoremediation properties.

Keywords: medicinal plant, *Capsella bursa-pastoris*, ecological characteristics, cultivation.

There are more than 350 thousand plant species growing wild in the world, of which 35 thousand species are cultivated [1, 2]. Today, people use more than 7 thousand documented plant species (up to 30 000) for food purposes [2]. Also, about 53 thousand species of plants are used in medicine for various therapeutic purposes [3]. These data demonstrate the importance of effective use and culturalization of natural resources, which will help to increase the role of medicinal and food plants in meeting food and medical needs [4].

Medicinal plants have been known to mankind since ancient times and have been widely used not only as food but also as a source of biologically active substances. There is historical evidence that these plants were used for medicinal purposes in the Sumerian civilization 5000 years ago. For long periods of history, medicinal plants served as the only source of medicines [5].

Today, approximately 50% of the world's pharmaceutical products are made from medicinal plants. In particular, most of the drugs for cardiovascular, liver, and gastrointestinal diseases, as well as expectorants and hemostatics, are created on the basis of these plants [4].

About 4500 higher plants are distributed in Uzbekistan, of which 1200 species have therapeutic properties. 112 species of medicinal plants are officially allowed for use in medicine in the republic, 80% of which grow naturally. This fact confirms the rich and biologically diverse nature of Uzbekistan's medicinal plant reserves [6].

In the Republic of Uzbekistan, a number of measures have been identified to meet the demand of the pharmaceutical industry and the population for medicinal plant raw materials and to expand the production of modern medicines. In particular, in accordance with [7], it was determined to create industrial-scale medicinal plant plantations for the organization of enterprises for the study of medicinal plants and the production of new medicines. Also, according to [8] measures were developed to accelerate the development of the Uzbek pharmaceutical industry, in particular to work out the program of measures for organizing plantations of medicinal plants and a list of investment projects for the production of finished pharmaceuticals and medical products. These measures play an important role in improving the process of modern drug production and satisfying the population's need for natural medicines [7, 8].

The need for medicinal plant products in Uzbekistan is increasing every year. This situation leads to an increase in the volume of raw material reserves of medicinal plants. However, as a result of the depletion of natural resources due to increased demand, there is a risk that the process of preparing raw materials for some medicinal plants will be limited or completely stopped.

To solve this problem and rationally use medicinal plant resources, it is necessary to establish their cultivation in industrial plantations. This approach creates

broad opportunities for preserving natural resources, stabilizing the production of medicinal products, and developing the pharmaceutical industry [9].

The Shepherd's purse, *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. (Uzbek name – zhaq-zhaq), Brassicaceae, is an annual herbaceous plant, reaching a height of 20–30 cm, sometimes up to 60 cm. The stem is single or multiple, erect, branched or unbranched. The basal leaves are serrated, oblong-lanceolate, with a serrated or pinnately cut edge, at times with a straight edge. The leaves on the stem are smaller, straight-edged, arranged in a row without serrations. The small, whitish, four-lobed flowers are located in a panicle.

The fruit is an inverted triangular or inverted-triangular-cordate capsule. *C. bursa-pastoris* flowers from April to autumn, and the fruit ripens from June. This plant is a very common species. It grows as a weed in meadows, roadsides, residential areas, fields, and arable land in all regions, except for the far north and desert zones [9, 10].

Anatomically, the leaves of *C. bursa-pastoris* have a cuticular epidermis, the upper layer of which contains stomata. In the middle of the leaf there is the main tissue, the mesophyll, which consists of columnar cells in the upper layer of cells and spongy parenchyma tissue in the lower layer [11, 12].

It is light-demanding. It likes the sun, but can also grow in semi-shaded areas.

Seeds of *C. bursa-pastoris* germinate at +2...+4° C. The optimum temperature for its growth and development is +15...+25° C. The plant is low moisture demanding, i. e. it needs moderate moisture, so it is also drought-resistant.

The Shepherd's purse mainly germinates in early spring and late autumn. Its flowering period is from March to June, and its fruiting period is from May to August. The growing season lasts about 80–120 days. If soil and climatic conditions are favorable, the plant can produce two crops per year.

C. bursa-pastoris reproduces mainly by seeds in nature. The seeds are dispersed by wind, rain, and animals. In agriculture, they are propagated through artificial planting methods.

C. bursa-pastoris was found on almost all continents: it is native to Eurasia and North Africa [12–15]. It has been introduced to Central and southern Africa, North America, South America, and Australia. In Uzbekistan, it is mainly found in the Syrdarya, Tashkent, Jizzakh, and Samarkand regions [13].

C. bursa-pastoris is adapted to a variety of climatic conditions and is mainly found in cultivated fields, roadsides, wastelands and gardens. It is frost-resistant and grows well, especially on moist and fertile soils. The growing season is short and can produce several generations in one season [13].

Syrdarya region within the Republic of Uzbekistan was established on February 16, 1963. It borders the Republic of Kazakhstan to the north, Tashkent region to the east, the Republic of Tajikistan to the south, and Jizzakh region to the west. The relief is mainly a rolling plain, sloping from south to northwest. Part of the Mirzachul steppe is included in the region. The altitude is 230 m in the north, 400–450 m in the central part, and 600–650 m in the south and southwest. In the east there is the wide Syrdarya valley.

The weather in Syrdarya region is extremely changeable and dry. The average annual temperature is 14 °C. Frequent hot winds dry out the soil and adversely affect plant development. The growing season is 218 days. Annual precipitation is 180–220 mm, mainly in winter. The predominant soils are light-colored, weakly loamy gray soils, with low and moderate salinity, and are loamy and sandy loam soils according to their mechanical structure. Salt loam and salt toxic soils are found on the plains [12, 16].

In the above region *C. bursa-pastoris* is mainly found in irrigated fields, roadsides, edges of cultivated areas, and gardens. Climatic conditions are favorable for the growing season of the Shepherd's purse, and there is a possibility of its industrial cultivation in this area [9]. Due to fast-growing, cold-resistant, and adaptable this plant can grow in a variety of soil and climate conditions, but thrives in fertile, well-drained soils [17].

In medicine, the aerial part of the plant is prepared and used before flowering. During the flowering and fruiting period, the plant is pulled up by the roots, cut off the roots, and dried in a cool place.

The herb of *C. bursa-pastoris* contains rhamnoglucosides (including hysopin), organic acids (malic, citric, grape, bursic, oxalic, fumaric, 18 amino acids, etc.), vitamins A, C, B1, B2, B6 and K, flavonoids (tricin, kaempferol, quercetin, etc.), choline, acetylcholine, inositol, saponins, tannins, phytoncides, essential oils, and other active ingredients [12, 14].

C. bursa-pastoris is a medicinal plant that has been used in folk medicine for a long time. In Kyrgyz folk medicine the aboveground parts are used to treat uterine bleeding, malignant ulcers, stomach cancer, dysentery, gastritis, tuberculosis, and venereal diseases. In Chinese medicine the roots are used to treat dysentery and eye diseases. In Tibet medicine they are used as an antiemetic [12]. The anti-inflammatory and antibacterial effect of a sulforaphane-containing solution isolated from Shepherd's purse manifests in decreasing levels of nitric oxide, cytokines, and prostaglandin E2 in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 murine macrophages [18]. The herb strengthens the tonus of uterine muscles and narrows the peripheral veins [12]. Its tincture is mainly used as a hemostatic agent and in the treatment of hepatic diseases [9]. Sprout aqueous extract and whole herb extract protect skin against external factors, and are useful in the production of modern cosmetics [19].

C. bursa-pastoris is an ephemeral-ruderal plant, and its cultivation and reproduction are convenient in Uzbekistan conditions. The seeds of the plant are sown in November and December on fertile soils and in areas with limited irrigation opportunities. During the growing season, the plant is irrigated 5–6 times and the yield is 7–12 quintals per hectare. The plant is harvested in May–June [20].

Due to its resistance to diseases and pests, *C. bursa-pastoris* is recommended to be planted in areas where potatoes, tomatoes, and cucumbers are cultivated. It also grows well in the inter-row spaces between trees and shrubs. When harvesting raw materials, the aerial part of the plant is collected during flowering and dried in

dry weather in shelters or in the open air. The moisture content of the dried raw materials should not exceed 13 % [21].

Thus, *C. bursa-pastoris* is a widespread, cold- and drought-resistant ephemeral-ruderal plant. This plant grows well on fertile soils and requires little care. In medicine *C. bursa-pastoris* is widely used as a hemostatic and uterine muscle tonic, and is also used to treat hepatic diseases. It contains the great amount of biologically active substances. The medicinal properties of this plant have long been known in folk medicine. Although it is found as a weed in irrigated lands [22], it is of great importance as a medicinal and agriculturally useful crop. Moreover, *C. bursa-pastoris* is valuable thanks to phytoremediation properties and the numerous practical uses in biotechnology [19].

References

1. Khoshbakht K., Hammer K. How many plant species are cultivated? DOI: 10.1007/s10722-008-9368-0 // Genet. Resour. Crop Evol. 2008. Vol. 55. P. 925–928.
2. The plants that feed the world – Baseline data and metrics to inform strategies for the conservation and use of plant genetic resources for food and agriculture / C. K. Khoury, S. Sotelo, D. Amariles, G. Hawtin. DOI: 10.4060/cc6876en. Rome: FAO, 2023. 146 p.
3. Schippmann U., Leaman D. J., Cunningham A. B. Impact of cultivation and gathering of medicinal plants on biodiversity: global trends and issues // FAO. 2002. Biodiversity and the Ecosystem Approach in Agriculture, Forestry and Fisheries [Internet resource]. – URL: https://www.fao.org/4/AA010E/AA010e02.htm#P21_4752 (accessed: 01.02.2025).
4. Egamberdieva D., Jabborova D. Medicinal plants of Uzbekistan and their traditional uses // Vegetation of Central Asia and Environs / Eds. D. Egamberdieva, M. Öztürk. DOI: 10.1007/978-3-319-99728-5_8. Springer, Cham, 2018. 381 p.
5. Dushenkov V., Raskin I. New strategy for the search of natural biologically active substances. DOI: 10.1134/S1021443708040201 // Russ. J. Plant Physiol. 2008. Vol. 55. No. 4. P. 624–628.
6. Medicines and food are organized by planters and raw foodists / B. E. T'ykhataev, T. Kh. Maxkamov, A. A. T'ylaganov, et al. Toshkent, 2015. 137 p. (in Uzbek).
7. On additional measures to accelerate the development of the pharmaceutical industry: Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan No. PP-3532, dated 15.02.2018 [Internet resource]. – URL: <https://lex.uz/docs/3557210#> (accessed: 05.03.2025).
8. On measures to create a value chain through the efficient use of the raw material base and support for the processing of medicinal plants : the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. UP-139, dated 20.05.2022 [Internet resource]. – URL: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/uzb226905.pdf> (accessed: 05.03.2025).
9. Berdiev E. T., Akhmedov E. T. Natural medicinal plants (adaptation). Toshkent, ЎзР FA Minitipografiyasi, 2017. 252 p. (in Uzbek).
10. Flora of Uzbekistan / Ed. R. R. Shreder. Vol. 5. Toshkent : Izdatelstvo Uzbekistanskogo filiala akademii nauk SSSR, 1961. 156 p. (in Russian).
11. Fahn A. Plant anatomy. Oxford; New York : Pergamon Press, 1982. 611 p.
12. Medicinal plants of Central Asia: Uzbekistan and Kyrgyzstan / Eds. S.W. Eisenman, L. Struwe, D. E. Zaurov. DOI: 10.1007/978-1-4614-3912-7_1. Springer, Cham, 2018. 340 p.
13. Devyatkina A. V. Plant and animal life of Uzbekistan. Tashkent : Fan, 1966. 468 p. (in Russian).
14. Al-Snafi A. E. The chemical constituents and pharmacological effects of *Capsella bursa-pastoris* – a review // International Journal of Pharmacology & Toxicology. 2015. Vol. 5. No. 2. P. 76–81.

15. Plants of the World Online [Internet resource]. – URL: <https://powo.science.kew.org/> (accessed: 05.03.2025).
16. National Encyclopedia of Uzbekistan. Letter S. [Internet resource]. – URL: https://n.ziyouz.com/books/uzbekiston_milliy_ensiklopediyasi/O'zbekiston%20Milliy%20Ensiklopediyasi%20-%20S%20harfi.pdf (accessed: 05.03.2025).
17. Taiz L., Zeiger E. Plant physiology. Sunderland, Massachusetts : Sinauer Associates, 2010. 782 p.
18. Anti-inflammatory and anti-superbacterial properties of sulforaphane from Shepherd's purse / W. J. Choi, S. K. Kim, H. K. Park, et al. DOI: 10.4196/kjpp.2014.18.1.33 // Korean J. Physiol. Pharmacol. 2014. Vol. 18. No. 1. P. 33–39.
19. Łukaszyk A., Kwiecień I., Szopa A. Traditional uses, bioactive compounds, and new findings on pharmacological, nutritional, cosmetic and biotechnology utility of *Capsella bursa-pastoris*. DOI: 10.3390/nu16244390 // Nutrients. 2024. Vol. 16. No. 24. Article No. 4390.
20. *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. [Internet resource]. – URL: <https://uzbbg.uz/ru/plants/annual/pastusa-sumka-obyknovennaa> (accessed: 05.02.2025).
21. FS.2.5.0090.18. *Capsella bursae-pastoris* herba. [Internet resource]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-5/pastushey-sumki-obyknovennoy-trava-capsella-bursae-pastoris-herba/?ysclid=m8h4h8t0jx252381541> (accessed: 05.02.2025).
22. Tukhtaev B. E., Axmedov E. T. Cultivation of medicinal plants (instructions). Tashkent : Tasvir, 2021. 103 p. (in Uzbek).

НАКОПЛЕНИЕ СВОБОДНЫХ И СВЯЗАННЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОРОСТКАХ ОВСА

Е. В. Товстик^{1,2}, А. С. Романова¹, О. Н. Шуплецова²

¹ Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,

² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия,
tovstik2006@inbox.ru

В статье представлены результаты исследования содержания свободных и связанных фенольных соединений (ФС) в проростках овса (*Avena sativa* L.) сорта «Медведь». Установлено, что общее содержание ФС в побегах и корнях проростков овса по сравнению с его зерном (10,6 мг/г) увеличилось в 1,7 и 3,4 раза соответственно за счет повышения свободной фракции. Наибольшая доля ФС, как в проростках, так и зерне находилась в связанном состоянии.

Ключевые слова: *Avena sativa* L., зерно, проросток, корень, связанные, свободные фенольные соединения.

В последние годы наблюдается значительный рост потребления овса (*Avena sativa* L.), что обусловлено данными о его диетических свойствах и высоком содержании в зерне фенольных соединений (ФС), особенно авенантрамидов и отдельных флавоноидов [1, 2]. Благодаря уникальному составу овес сочетает в себе высокую питательную ценность и антиоксидантные свойства [3]. Однако, толстый слой клеточной стенки в субэпидермальной области и неравномерность распределения питательных веществ по зерновке

затрудняют использование овса для производства пищевых продуктов, что определяет необходимость поиска эффективных технологических приемов для решения данной проблемы. Одним из возможных путей является использование цельного зерна с применением процедуры проращивания, которая способствует разрушению сложных трудноусвояемых комплексов, повышая уровень их доступности для организма человека [4].

На сегодняшний день запатентован способ проращивания зерновок овса с увеличенным содержанием авенантрамидов. Повышается количество публикаций, посвященных пользе проростков овса для здоровья человека. Изучен противоаллергический потенциал проростков, который значительно увеличивается на пятые сутки после начала прорастания. Продемонстрирована антимикробная активность экстрактов порошка пророщенного зерна овса против *Escherichia coli* [5].

Согласно данным научной литературы, ФС в растениях встречаются в трех основных формах: свободной (агликон), конъюгированной (этерифицированы с углеводами и низкомолекулярными компонентами) и связанной (ковалентно связаны со структурными компонентами клеточной стенки) [6]. Конъюгированные и связанные являются основными формами ФС в зернах злаков. Они участвуют в сшивании полимеров, особенно в их клеточных стенках. В молодых, интенсивно растущих, растениях содержание свободных ФС увеличивается, что является следствием образования фенольных кислот и ферментов (целлюлазы и эндоксилазы), разрушающих клеточную стенку и способствующих высвобождению ФС [7]. При этом биосинтез ФС в проростках обеспечивает им защиту от возможных неблагоприятных факторов окружающей среды [8]. Разные фракции ФС в растениях напрямую влияют на их антиоксидантный потенциал. Установлено, что свободные ФС превосходят связанные формы по антиоксидантной способности [9].

Период культивирования проростков овса, как источника с повышенным содержанием ФС, в литературе варьирует. Чаще всего он колеблется в пределах 2–7 суток. Кроме того, на содержание ФС в структурных частях проростка помимо возраста, влияет сортовая принадлежность [10].

В представленной работе проводили анализ шестисуточных проростков овса сорта «Медведь».

Цель работы заключалась в исследовании фракционирования фенольных соединений в проростках овса.

Зерновки проращивали на дистиллированной воде в рулонной культуре. Полученные растения сушили при комнатной температуре (20 ± 2) °С, делили на побег и корень, измельчали. Из абсолютно сухих образцов растительного сырья извлекали свободные и связанные ФС, используя соответственно 70%-ый этиловый спирт и 2н. раствор гидроксида натрия. Концентрацию ФС определяли спектрофотометрическим методом. В качестве стандарта использовали галловую кислоту [11]. Полученные данные сопоставляли с результатами по зерну [12].

Согласно данным эксперимента, общее содержание ФС в побегах и корнях проростков овса по сравнению с его зерном (10,6 мг/г) увеличилось в 1,7 и 3,4 раза соответственно (табл.).

Таблица

Фракционирование фенольных соединений в проростках овса

Фракция фенольных соединений	Побег	Корень
Свободная, мг/г	4,2±0,4	4,4±0,4
Связанная, %	76,9	87,8
Общее содержание, мг/г	18,2±1,5	36,0±2,9

Наибольшая доля ФС, как в проростках, так и зерне (93,2%) находилась в связанном состоянии. Однако, при проращивании зерна доля связанных форм снижалась в пользу свободной фракции. По сравнению с зерном снижение составило 16,3% – в побегах и 5,4% – в корнях проростков. В тоже время содержание свободной фракции ФС увеличивалось по сравнению с зерном (0,7 мг/г) в 6 раз.

Таким образом, установлены значительные отличия фракционирования ФС в проростках и зерне овса. Проростки (6 сут) характеризуются более высокой концентрацией ФС в основном за счет увеличения их доли свободной фракции. Согласно полученным данным, проращивание зерна является способом повышения содержания ФС, биодоступных для человека.

Библиографический список

1. Кудряшова Т. Р., Иванченко О. Б. Овес и продукты его переработки как перспективное пищевое сырье Северо-Западного региона России. DOI: 10.20914/2304-4691-2019-3-149-153 // Актуальная биотехнология. 2019. № 3. С. 149–153.
2. Germinated grains: a superior whole grain functional food? / K. Nelson, L. Stojanovska, T. Vasiljevic, et al. DOI: 10.1139/cjpp-2012-0351 // Canadian Journal of Physiology and Pharmacology. 2013. Vol. 91. No. 6. P. 429–441.
3. Oat and oat processed products – Technology, composition, nutritional value, and health / D. Leszczyńska, A. Wirkijowska, A. Gasiński, et al. DOI: 10.3390/app132011267 // Applied Sciences. 2023. Vol. 13. No. 20. Article No. 11267.
4. Возможность использования ультразвукового воздействия для регулирования функциональных свойств пророщенного зерна *Avena sativa* L. / Н. В. Попова, И. Ю. Потороко, И. В. Калинина и др. DOI: 10.20914/2310-1202-2020-4-196-201 // Вестник ВГУИТ. 2020. № 4. С. 196–201.
5. Comprehensive study of the effect of oat grain germination on the content of avenanthramides / M. Jágr, A. Hofinger-Horvath, P. Ergang, et al. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.137807 // Food Chemistry. 2024. Vol. 437. No. 1. P. 315–327.
6. Improving free, conjugated, and bound phenolic fractions in fermented oats (*Avena sativa* L.) with *Monascus anka* and their antioxidant activity / Q. Bei, Y. Liu, L. Wang, G. Chen. DOI: 10.1016/j.jff.2017.0028 // Journal of Functional Foods. 2017. Vol. 3. P. 185–194.
7. Функциональная ценность талгана, изготовленного из пророщенного зерна пшеницы и ячменя / А. В. Сумина, В. И. Полонский, Т. М. Шалдаева // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 1. С. 163–168.
8. Лучик Т. А., Ржечицкая Л. Э. Влияние спиртового экстракта голозерного овса на стабильность подсолнечного масла // Пищевые технологии и биотехнологии : материалы

Всерос. XVIII науч. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием, посвященная 40-летию биотехнологического образования в КНИТУ. Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2023. С. 210–214.

9. Cereal sprout-based food products: Industrial application, novel extraction, consumer acceptance, antioxidant potential, sensory evaluation, and health perspective / Z. Maqbool, W. Khalid, M. A. Khan, et al. DOI: 10.1002/fsn3.3830 // Food Science & Nutrition. 2023. Vol. 12. No. 2. P. 707–721.

10. Comparative phenolic profile and antioxidant potential of *Mentha* hairy roots and aerial parts / Z. Rahimi, S. Yousefian, M. Farhadpour, et al. DOI: 10.1016/j.bcab.2024.103469 // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2025. Vol. 63. Article No. 103469.

11. Шеромов А. М., Товстик Е. В., Шуплецова О. Н. Валидация методики определения свободных и связанных полифенолов в растениях ячменя методом спектрофотометрии. DOI: 10.31163/2618-964X-2024-7-2-80-85 // Экобиотех. 2024. Т. 7. № 2. С. 80–85.

12. Содержание фенольных соединений в зерновке овса посевного и его фракциях / Е. В. Товстик, О. Н. Шуплецова, В. В. Окулова, А. С. Романова // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы Всерос. XVII науч. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 276–279.

НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЛЛУСНОЙ ТКАНИ ЯЧМЕНЯ НА СЕЛЕКТИВНЫХ СРЕДАХ

О. Н. Шуплецова¹, Е. В. Товстик^{1,2}, В. В. Окулова²

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия,

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

Представлены результаты оценки влияния ионов алюминия (30 мг/л) и железа (II) (30 мг/л) на накопление фенольных соединений (ФС) в каллусной ткани трех генотипов ячменя селекции ФАНЦ Северо-Востока. Выявлена генотипически зависимая реакция ячменя на избыточное количество ионов металлов в среде. Установлено, что ионы алюминия снижают общее содержание ФС в каллусной ткани в среднем на 30–40 % и увеличивают фракцию «свободных» ФС в 1,5–1,7 раза по сравнению с контролем. Влияние железа в аналогичной концентрации было менее выражено, что возможно связано с его биофильной природой.

Ключевые слова: свободная фракция, общее содержание, галловая кислота, алюминий, железо, регенерация *in vitro*, каллусообразование.

Фенольные соединения (ФС) составляют важную группу вторичных метаболитов, которые играют значимую роль в контроле таких морфогенетических процессов, как стимуляция органогенеза [1] и соматического эмбриогенеза [2]. Антиоксидантные свойства ФС способствуют снижению окислительного стресса, что особенно актуально в культуре *in vitro*, когда идет формирование клеточных структур, необходимых для регенерации полно-

ценного растения [3, 4]. В тоже время, ФС повышают жесткость стенок растительных клеток посредством образования молекулярных мостиков между компонентами клеточной стенки [5]. Высокая частота образования фенольных мостиков приводит к потере возможности увеличения объема клеток и, таким образом, вызывает прекращение их роста [6].

Для индукции каллусообразования с последующей регенерацией *in vitro* ячменя (*Hordeum vulgare* L.) применяют различные экспланты: молодые соцветия, зрелые зерновки [7], незрелые зародыши и их щитки [8], сегменты колеоптилей [9]. Среди них наиболее предпочтительны незрелые зародыши, находящиеся в стадии относительной автономности. Независимо от физиологических факторов материнского организма, они способны самостоятельно дать начало полноценному растению в оптимальных условиях *in vitro* и далее *ex vitro* [10].

Разработка эффективного и воспроизводимого протокола каллусообразования и регенерации стрессоустойчивых сортов требует оптимизации селективных сред для клеточной селекции. Культивирование каллуса в присутствии стрессоров влияет на его биохимический состав, в частности, изменяет фенольный синтез в каллусных клетках. Установлено, что содержание ФС в каллусе изменяется в ответ на различные стрессовые факторы, в том числе свет, тяжелые металлы и др. [11]. На примере *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. показано, что каллусная ткань формируется в местах с незначительной локализацией ФС. При этом, содержание данных соединений в клетках каллуса, полученного в темноте меньше, чем при освещении [12]. В каллусных культурах *Ipomoea batatas* (L.) Lam., инициированных из листовых пластинок и выращиваемых на питательной среде с α -нафтилуксусной кислотой, количество клеток с ФС уступает количеству на среде с 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислотой [13]. На примере *Hordeum vulgare* L. продемонстрировано, что каллус с более высоким содержанием ФС характеризуется меньшим размером и более компактной консистенцией при низкой регенерационной способности [14].

Таким образом, изучение количественного изменения ФС в каллусе при культивировании на стрессовых фонах имеет практическое значение для корректировки схем отбора *in vitro*.

Цель работы – оценка влияния условий культивирования на содержание фенольных соединений в каллусной ткани ячменя.

Объектом исследования служили линии ячменя 460-20, 515-20, 502-20. Индукцию каллуса с последующей регенерацией растений осуществляли по авторским методикам, разработанным в ФАНЦ Северо-Востока [15]. Предварительно индуцированную в отсутствие стресса каллусную ткань в возрасте двух-трех недель переносили на селективные среды. Для создания стресса, обусловленного ионами металлов, в плотные питательные среды MS с pH = 4,5 вводили соли в виде кристаллогидратов: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (30 мг/л Al^{3+}) и $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (30 мг/л Fe^{2+}). Длительность культивирования в селективных условиях составляла 20 суток. Сформированный каллус сушили (60°C) до

постоянной массы, измельчали, экстрагировали 70% этиловым спиртом (свободная фракция ФС) и 2н. раствором щелочи (общее содержание). Определение содержания ФС проводили спектрофотометрическим методом с реактивом Фолина-Чокальтеу [16]. В качестве стандарта использовали галловую кислоту [17].

Введение ионов металлов в избыточной концентрации в состав питательных сред изменяло фракционирование ФС в каллусе в зависимости от природы иона (табл.).

Таблица

Содержание фенольных соединений в каллусной ткани ячменя, мг/г

Условия культивирования	Генотип		
	460-20	515-20	502-20
Контроль	$\frac{1,59 \pm 0,13}{27,6 \pm 2,2}$	$\frac{1,80 \pm 0,14}{20,7 \pm 1,7}$	$\frac{1,81 \pm 0,14}{20,8 \pm 1,7}$
30 мг/л Al^{3+}	$\frac{2,35 \pm 0,19^*}{21,2 \pm 1,7^*}$	$\frac{1,90 \pm 0,14}{16,1 \pm 1,3^*}$	$\frac{3,05 \pm 0,24^*}{14,5 \pm 1,2^*}$
30 мг/л Fe^{2+}	$\frac{2,72 \pm 0,22^*}{24,1 \pm 1,9}$	$\frac{1,79 \pm 0,14}{20,9 \pm 1,7}$	$\frac{1,57 \pm 0,13}{18,8 \pm 1,5}$

Примечание: в числителе – содержание свободной фракции фенольных соединений; в знаменателе – общее содержание; * – вариант отличается от контроля при $P > 0,95$.

Условия культивирования существенно влияли на содержание свободных ФС. В контроле в среднем по генотипу доля свободной фракции ФС к их общему содержанию составила 5,9–9,0%, на среде с ионами алюминия – 11,1–20,0%; с ионами железа – 8,3 и 11,1%. Для каллуса, полученного на среде с ионами алюминия, отмечали повышение содержания свободной фракции ФС в 1,5–1,7 раза по сравнению с контролем. Исключение составил каллус, индуцированный от линии 515-20, для которого достоверных различий с контролем не было выявлено. На фоне повышения свободной фракции ФС в каллусной ткани, их общее содержание на среде с ионами алюминия снижалось в 1,3–1,4 раза по сравнению с контролем.

Влияние ионов железа на содержание ФС в каллусе определялось как незначительное, за исключением линии 460-20. В этом случае отмечали в 1,7 раза более высокое, чем в контроле накопление свободных ФС в каллусе на фоне незначительного снижения общего содержания ФС. Это может указывать на то, что ионы алюминия в концентрации (30 мг/л) могут изменять метаболические пути синтеза ФС в каллусной ткани, приводя к перераспределению их фракций на фоне общего снижения их накопления. Влияние ионов железа в аналогичной концентрации (30 мг/л) менее выражено, но также имеет генотипические особенности, что, возможно связано с его биофильностью [18].

Таким образом, результаты исследования показали, что ионы алюминия влияют на биосинтез ФС, приводя к перераспределению их фракций на фоне снижения общего содержания ФС.

Библиографический список

1. Sugarcane micropropagation and phenolic excretion / J. C. Lorenzo, M. A. Blanco, O. Peláez, et al. DOI: doi.org/10.1023/A:1010666115337 // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2001. Vol. 65. P. 1–8.
2. Reis E., Batista M. T., Canhoto J. M. Effect and analysis of phenolic compounds during somatic embryogenesis induction in *Feijoa sellowiana* Berg. DOI: 10.1007/s00709-008-0290-2 // Protoplasma. 2008. Vol. 232. P. 193–202.
3. Callus induction and plant regeneration from *Carum copticum* and assessment of anti-oxidant responses and phytochemical profiling by *in vitro* salinity stress / R. Razavizadeh, F. Adabavazeh, M. R. Chermahini, S. Komatsu. DOI: 10.3390/horticulturae9010022 // Horticulturae. 2022. Vol. 9. No. 1. Article No. 22.
4. Karakas F. P. Efficient plant regeneration and callus induction from nodal and hypocotyl explants of goji berry (*Lycium barbarum* L.) and comparison of phenolic profiles in calli formed under different combinations of plant growth regulators. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.11.009 // Plant Physiology and Biochemistry. 2020. Vol. 146. P. 384–391.
5. Fry S. C. Cross-linking of matrix polymers in the growing cell walls of Angiosperms. DOI:10.1146/annurev.pp.37.060186.001121 // Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 1986. Vol. 37. No. 1. P. 165–186.
6. Morphological and polyamine content changes in embryogenic and non-embryogenic callus of sugarcane / V. Silveira, A. M. de Vita, A. F. Macedo, et al. DOI: 10.1007/s11240-013-0330-2 // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2013. Vol. 114. P. 351–364.
7. Чернов В. Е., Пендинен Г. И. Сравнительная оценка каллусогенеза и регенерации у различных видов ячменя // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 1. С. 44–53.
8. Evaluation of the enhanced regeneration system for *in vitro* regeneration in barley / G. Seedhabadee, J. W. Brian, B. Monica, et al. DOI: 10.4141/P05-055 // Canadian Journal of Plant Science. 2006. Vol. 86. No. 1. P. 63–69.
9. Sahrawat A. K., Chand S. High frequency plant regeneration from coleoptile tissue of barley (*Hordeum vulgare* L.). DOI: 10.1016/j.plantsci.2004.02.019 // Plant Science. 2004. Vol. 167. No. 1. P. 27–34.
10. Круглова Н. Н., Зинатуллина А. Е. Культура *in vitro* автономных зародышей как модельная система для исследования стресс-устойчивости растений к абиотическим факторам (на примере злаков) // Успехи современной биологии. 2021. Т. 141. № 5. С. 483–495.
11. Regulation of the phenolic compounds accumulation in the tea-plant callus culture with a separate and combined effect of light and cadmium ions / M. Y. Zubova, T. L. Nechaeva, A. V. Kartashov, N. V. Zagorskina. DOI:10.1134/S1062359020060175 // Biology Bulletin. 2020. Vol. 47. P. 593–604.
12. Влияние эндогенных полифенолов, фотопериода и минерального состава питательной среды на формирование каллусной ткани реликтовых голосеменных растений *Sequoia sempervirens* (D. DON) Endl. / С. М. Зайцева, Е. А. Калашникова, Р. Н. Киракосян. DOI: 10.29296/25877313-2023-03-06 // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2023. Т. 26. № 3. С. 46–57
13. Влияние гормонального состава питательной среды и эндогенных полифенолов на формирование каллусной ткани *Ipomoea batatas* (L.) Lam. / Е. А. Калашникова, Р. Н. Киракосян, Х. Г. Абубакаров, С. М. Зайцева. DOI: 10.29296/25877313-2022-11-08 // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2022. Т. 25. № 11. С. 46–58.
14. The effect of endogenous hormones, total antioxidant and total phenol changes on regeneration of barley cultivars / A. Saeedpour, S. G. Jahanbakhsh, T. Lohrasebi, et al. DOI: 10.30498/IJB.2021.2838 // Iranian J. Biotechnol. 2021. Vol. 19. No. 1. P. 30–39.

15. Шуплецова О. Н., Товстик Е. В. Аккумуляция кадмия и цинка регенерантами ячменя на провокационном почвенном фоне с кадмием. DOI: 10.30901/2227-8834--2021-4-117-125 // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 4. С. 117–125.

16. Шуплецова О. Н., Широких И. Г. Повышение устойчивости ячменя к токсичности металлов и осмотическому стрессу путем клеточной селекции // Зерновое хозяйство России. 2015. № 1. С. 57–62.

17. Шеромов А. М., Товстик Е. В., Шуплецова О. Н. Валидация методики определения свободных и связанных полифенолов в растениях ячменя методом спектрофотометрии. DOI: 10.31163/2618-964X-2024-7-2-80-85 // Экобиотех. 2024. Т. 7. № 2. С. 80–85.

18. Симонова О. А., Симонов М. В., Товстик Е. В. Сортные особенности биоаккумуляции железа в растениях ячменя. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-142-151 // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3 (23). С. 142–151.

КРИОСОХРАНЕНИЕ КАЛЛУСНЫХ КЛЕТОК ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМОРОЗИЛЬНИКА

**М. И. Сергушкина^{1,2}, О. Н. Шуплецова³, Т. В. Полежаева²,
О. О. Зайцева², О. Н. Соломина², А. Н. Худяков²**

¹ Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, maria.kovalkova@mail.ru,

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

³ ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
г. Киров, Россия, olga.shuplecova@mail.ru

Зерновые культуры – основной источник питания человека и кормов для сельскохозяйственных животных. Культивирование клеток и тканей растений *in vitro* является перспективным методом сохранения генотипов растений с ценными признаками. В статье описано исследование по применению метода криоконсервации при отрицательной температуре -80 °С для длительного сохранения клеток каллуса зерновых культур.

Ключевые слова: каллус, консервирующий раствор, глицерин, жизнеспособность, сохранность.

Ячмень и пшеница являются одними из основных продовольственных культур для современного мира. Огромные усилия и средства направляются на улучшение их производственных характеристик путем использования наиболее совершенных научных методов. Помимо классических генетических методов применяется биотехнологический подход, который предполагает селекцию клеток *in vitro* с использованием каллусных и суспензионных культур, генетическую трансформацию и соматическую гибридизацию [1]. Сохранение *in vitro* клеточных линий, полученных в результате этих сложных и затратных процедур, являются актуальной проблемой. Для решения данной задачи можно применить современный и эффективный способ – криоконсер-

вирования. Серьезной проблемой использования данного метода, особенно для однодольных культур, является низкая жизнеспособность и слабое возобновление роста растительных клеток после оттаивания. В настоящее время разработаны типичные протоколы криоконсервации, которые основаны на хранении клеток при температуре -196°C в жидком азоте [2]. Процедура заморозки с использованием жидкого азота связана с большими трудностями (дорогостоящее оборудование и его обслуживание, необходимость специального обучения персонала и др.). Особенности современных российских лабораторий и использование более доступного технического оборудования, в частности, бытовых электроморозильников, дает возможность разрабатывать новые протоколы для заморозки культур клеток, без применения жидкого азота. Также стоит отметить, что при процедуре заморозки используются консервирующие среды, которые способствуют сохранности разных типов клеток, тканей и т. д. Поэтому цель данной работы – оценить применение криоконсервирующих сред (глицерин, глицерин и яблочный пектин) для сохранения каллусных клеток яровых ячменя и пшеницы при температуре -80°C в условиях бытового электроморозильника.

Используемые в работе генотипы ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) (селекционные линии 143-20; 460-20; 515-20; 502-20) и яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) (селекционные линии 151; 230) относятся к селекции ФАНЦ Северо-Востока и ранее не подвергались отбору на устойчивость к экстремальным температурам. При введении в культуру *in vitro* эксплантами служили незрелые зародыши, извлеченные из зерновки на 12–14 день после опыления. Индукцию каллуса осуществляли на среде Мурасиге-Скуга (СМ) [3], содержащей витамины (мг/л: $V_1 - 1,0$; $V_2 - 0,5$; $V_3 - 2,0$; $V_5 - 1,0$; $V_6 - 1,0$; $V_7 - 1,0$; $V_9 - 0,5$; $V_{12} - 0,0015$) и синтетический фитогормон 2,4-Д (2,4 дихлорфеноксиуксусная кислота – 2–5 мг/л). В 3-недельном возрасте каллус пассировали на селективные (с водным дефицитом, токсичностью металлов) и контрольные среды. Прошедшие клеточную селекцию каллусные линии ячменя и пшеницы с перспективой регенерации растений представляли селекционную ценность в качестве генотипов с устойчивостью к почвенным стрессорам.

В качестве биологического объекта для криоконсервации клеток использовали клетки каллуса (в возрасте 5 недель). Отмечен цвет каллусной ткани – белый без примесей. Для эксперимента от тела каллуса отделяли агрегат размером 10×10 мм и помещали в криопробирку. Далее к каждому образцу добавляется одну из криоконсервирующих сред по 1,8 мл. Каллусы замораживали в среде МС с добавлением криопротектора – глицерина 10% (контрольная группа) и с криоконсервирующей среды в комбинации глицерина 10% и яблочного пектина (AU-701) 0,2%. Среда для криоконсервирования приготовлены за 1 сутки до заморозки и автоклавированы при 1 атмосфере 25 мин, при $\text{pH} = 5,8\text{--}6,1$. Криопробирки с образцами, погруженными в криоконсервирующие среды, помещали в воздушную среду холодильника при $+5^{\circ}\text{C}$ для экспозиции в течение 1 сут. Затем, для дальнейшего заморажи-

вания и хранения их переносили в воздушную среду камеры электроморозильника при температуре -80°C «Vestfrost» (Дания). Средняя скорость охлаждения от $+20^{\circ}\text{C}$ до -20°C составила $2,6^{\circ}/\text{мин}$, далее до -80°C – по $3,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Через 1 сут. хранения пробы размораживали в 10-литровой водяной бане ($+38$ – 40°C), при интенсивном встряхивании в течение 2 мин. После отогрева проводили процедуру отмывки каллуса от криоконсервирующего раствора (замена криопротекторной среды на среду МС), экспозиция в среде МС 30 мин. Процедуру замораживания-отогрева осуществляли по 5 тестирований с каждой из сред для каждого генотипа (всего 50 исследований).

После оттаивания и процедуры отмывки каллусы культивировали на питательной среде Мурасиге-Скуга такого же состава, как и при индукции каллуса до заморозки. Данная процедура необходима для анализа способности клеток каллуса к возобновлению роста и морфогенетической способности после воздействия отрицательной температуры. Культивация каллусов проводилась в течение 3 недель. После истечения данного срока визуально оценивали прирост и особенности возобновления роста клеток.

При работе с клеточными культурами важнейшим параметром является их жизнеспособность. С помощью световой микроскопии (Nikon H550S, Япония) до заморозки и после отогрева оценивали целостность клеточной мембраны при помощи витального красителя – трипанового синего. Отбирали пинцетом часть каллуса и помещали его в эппендорф, далее добавляли 400 мкл. среды МС и аккуратно встряхивали каллус. Пипеткой Пастера отбирали 100 мкл. жидкости с клетками, каплю помещали на предметное стекло и добавляли 100 мкл. 0,1% раствора трипанового синего, накрывали покровным стеклом, излишки убирали фильтровальной бумагой. Препарат оценивали под микроскопом при увеличении 10×10 . Определяли процент жизнеспособных клеток в образце (на 100 клеток), исходя из того, что краситель проникает через поврежденную мембрану погибших клеток, окрашивая их в синий цвет, при этом живые клетки (с неповрежденной мембраной) им не окрашиваются. Нарушение барьерной функции клеточной мембраны является общим и необходимым критерием смерти клетки.

Статистическая обработка данных заключалась в вычислении среднего арифметического значения и среднеквадратичного отклонения. Для определения статистической значимости различий между значениями с помощью программного обеспечения «BIOSTAT» 23 применялись непараметрические критерии Уилкоксона и Манна–Уитни. Значения считались достоверными при $p < 0,05$. Сохранность (выживаемость) представляли в процентах по отношению к уровню до замораживания, принятого за 100%.

После проведенного исследования (заморозки и отогрева) на первом этапе проводилась первичная визуальная оценка состояния каллусной ткани, характеризуя изменения морфологических признаков. До воздействия отрицательной температуры цвет каллуса во всех пробах был белый без особенностей в цветовой окраске, консистенция рыхлая, легкое разделение на агрегаты. После заморозки и отогрева во всех образцах цвет каллуса не изменил-

ся, но повысилась плотность и, как следствие, разделение на агрегаты стало трудоемким.

Установлено, что после процедуры криоконсервирования, во всех вариантах (образцах исследования) возобновления роста и деления клеток при рекультивации на питательной среде не выявлено. Однако в образцах с использованием криоконсервирующей среды, в составе которой был яблочный пектин, у генотипов пшеницы наблюдалось формирование ризогенных структур в каллусе.

В нашем исследовании установлено, что целостность клеточной мембраны каллусов зерновых культур (ячменя, пшеницы) различных генотипов сохранялась стабильно на уровне 50% (рис.). Статистически значимых различий между образцами при использовании экспериментальных (различных по составу) криоконсервирующих сред не наблюдалось. Стоит отметить, что без добавления криопротектора после воздействия отрицательной температуры у клеток каллуса проницаемость мембраны клеток повышалась, и в последствии наблюдалась гибель клеток, что указывало на эффективность используемого метода [4].

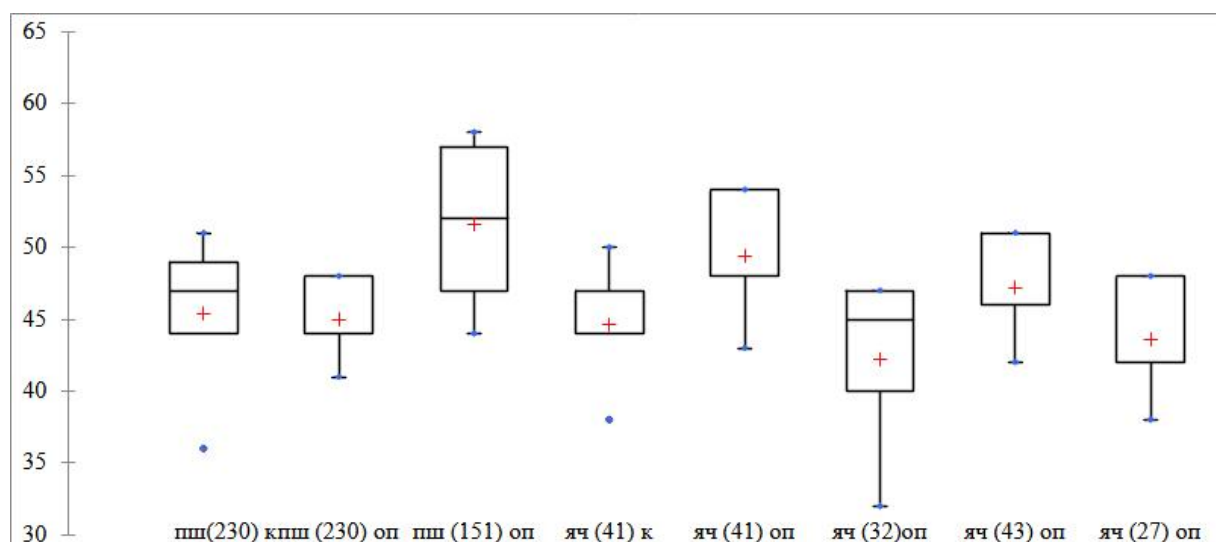


Рис. Показатели целостности клеточной мембраны каллусных клеток зерновых культур (ячмень, пшеница) разных генотипов ($M \pm \sigma$, $n=5$), хранившихся при -80°C в течение 1 суток. К – контроль (глицерин 10%); оп – опыт (глицерин 10% и яблочный пектин 0,2%); пше – пшеница; яч – ячмень; (230) – генотип

Таким образом, по результатам эксперимента определено, что применение криоконсервирующих сред (глицерин, глицерин и яблочный пектин) положительно влияет на сохранность каллусных клеток зерновых культур различных генотипов при воздействии отрицательной температуры -80°C . Это связано с тем, что данные криоконсервирующие среды увеличивали общую концентрацию осмотических веществ, связывали свободную внутриклеточную воду, повышали вязкость, тем самым предупреждая повреждения клеток кристаллами льда.

Библиографический список

1. Freezing of dehydrated calli of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in liquid nitrogen and their morphogenetic potential / A. I. Solov'eva, O. N. Vysotskaya, A. S. Popov, Yu. I. Dolgikh. DOI: 10.1134/S1062359010050080 // Biology Bulletin. 2010. Vol. 37. No. 5. P. 489–495.
2. Benson E. E. Cryopreservation of phytodiversity: a critical appraisal of theory & practice. DOI: 10.1080/07352680802202034 // Crit. Rev. Plant Sci. 2008. Vol. 27. No. 3. P. 141–219.
3. Murashige T. A., Scoog F. Revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue culture // Physiologia Plantarum. 1962. Vol. 15. P. 473–497.
4. Криосохранение каллусных клеток *Lupinus angustifolius* L. при низких температурах в условиях электроморозильника / М. И. Сергушкина, О. О. Зайцева, Т. В. Полежаева и др. DOI: 10.19110/1994-5655-2024-5-7-127-132 // Известия Коми НЦ УрО РАН. Сер. Сельскохозяйственные науки. 2024. № 7 (73). С. 127–132.

ПОЛУЧЕНИЕ ОЗДОРОВЛЕННОГО ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА КАРТОФЕЛЯ *IN VITRO* МЕТОДОМ КУЛЬТУРЫ АПИКАЛЬНОЙ МЕРИСТЕМЫ

Ю. А. Злобина¹, О. Е. Кононова^{1,2}

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, ylechkaaaa@mail.ru,

² Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

В работе исследуется возможность получения оздоровленного посадочного материала картофеля с использованием метода культуры апикальной меристемы *in vitro*, а также метода микроклонального размножения, который позволяет получить безвирусные растения картофеля, свободные от основных патогенов, что приводит к повышению качества посадочного материала. Описана методика выделения и культивирования апикальных меристем, проведен подбор оптимального режима стерилизации эксплантов картофеля.

Ключевые слова: апикальная меристема, стерилизация, оздоровление растений, микроклональное размножение, картофель.

Картофель является одной из самых выращиваемых культур в мире. Однако, при массовом размножении высококачественного посадочного материала в каждом поколении происходит ухудшение продуктивности в связи с поражением клубней патогенными организмами, такими как вирусы, вириды, бактерии и грибы [1]. Одним из способов получения оздоровленных растений и, вследствие – качественного посадочного материала [2, 3], является применение метода апикальной меристемы *in vitro*. Апикальные меристемы обеспечивают верхушечный тип роста, расположены в верхушках стебля побегов и корня.

Целью нашей работы было исследование эффективности стерилизации эксплантов картофеля для получения оздоровленного качественного посадочного материала.

В работе использовали апикальные меристемы картофеля сорта «Улада» селекции ФАНЦ Северо-Востока, выделенные из молодых боковых побегов, формирующихся на клубнях картофеля (рис. 1.).

На первом этапе клубни картофеля очищали с помощью моющих средств под проточной водопроводной, далее дистиллированной водой; затем клубни помещали в теплое темное место для проращивания.

На втором этапе отделяли проростки от клубней, стерилизовали их в специальных растворах. В качестве стерилизующих агентов для эксплантов используют различные растворы, содержащие активный хлор (гипохлорит натрия, гипохлорит кальция, хлорамина), бром (бромная вода), ртутные препараты (сулема, диацид) и окислители (перекись водорода, перманганат калия), этиловый спирт, концентрированную серную кислоту, препараты азотнокислого серебра и антибиотики [4]. В нашей работе в качестве стерилизующего агента использованы этиловый спирт (70%) и хлорамина (5%). Концентрации и экспозиция стерилизующих растворов подбирались экспериментально. Все манипуляции проводили в стерильных условиях ламинарного бокса.

Апикальные меристемы помещали в этиловый спирт на 1–2 мин, далее – в раствор хлорамина (время экспозиции от 5 до 8 мин), затем трехкратно промывали в стерильной дистиллированной воде.

После стерилизации меристемы высаживали в пробирки на питательную среду Мурасиге-Скуга [5] с добавлением ауксинов (ИУК 0,1–1 мг/л), гиббереллинов (ГК 0,1–1 мг/л) и цитокининов (кинетин 0,1–1 мг/л).

На 5 сутки культивирования проведена оценка эффективности подобранных режимов стерилизации. Наиболее подходящий режим стерилизации для данного сорта: этиловый спирт – 1 мин, хлорамина – 6 мин. В данном варианте были удалены все грибковые и бактериальные заражения, и сохранена на высоком уровне жизнеспособность эксплантов (выход растений-регенератов 85–90%).

Первые проростки начали появляться на 6 сутки культивирования. Развитие растений происходило стабильно, поэтапно развивались листья и корни (рис. 2).

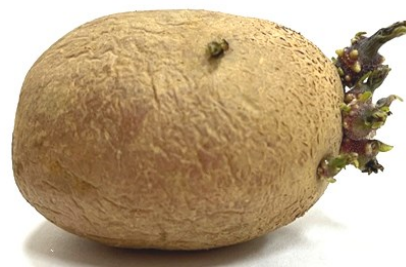


Рис. 1. Внешний вид клубня картофеля сорта «Улада» с почками



Рис. 2. Внешний вид растения картофеля сорта «Улада», полученное методом апикальной меристемы

В дальнейшем полученные растения картофеля были размножены при помощи микроклонального размножения и помещены на безгормональную питательную среду Мурасиге-Скуга.

После размножения на базе лаборатории молекулярной биологии и селекции проведен ПЦР-скрининг растительных тканей микроклонов на отсутствие вирусной (PVM, PLPV, PVX, PSTVd) и бактериальной (*Dickeya* sp., *Pectobacterium* sp.) инфекций.

Таким образом, в культуру *in vitro* введен и оздоровлен картофель сорта «Услада» с помощью метода апикальных меристем. Подобран оптимальный режим стерилизации, при котором соблюден баланс жизнеспособности эсплантов и избавление от патогенов. Данный метод является наиболее эффективным в освобождении растений от вирусных и бактериальных инфекций и не требует много затрат, относительно других методов.

Библиографический список

1. Семеноводство картофеля в России: состояние, проблемы и перспективные направления / Б. В. Анисимов, А. И. Усков, С. М. Юрлова, Ю. А. Варицев // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 7. С. 15–19.
2. Naik P. S., Buckseth T. Recent advances in virus elimination and tissue culture for quality potato seed production. DOI: 10.1007/978-3-319-78283-6_4 // Biotechnologies of Crop Improvement / Eds. S. Gosal, S. Wani. Cham : Springer, 2018. Vol. 1. P. 131–158.
3. Applications of new breeding technologies for potato improvement / A. Hameed, S. S. Zaidi, S. Shakir, S. Mansoor. DOI: 10.3389/fpls.2018.00925 // Front. Plant Sci. 2018. Vol. 9. No. 9. Article No. 925.
4. Исследование эффективности различных способов стерилизации эксплантов картофеля при микроклональном размножении / М. Б. Лебедь, Ю. В. Берестнева, И. В. Волков и др. // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 26–30.
5. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x // Physiologia Plantarum. 1962. Vol. 15. No. 3. P. 473–497.

АКТИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

С. А. Чуракова

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, sveta.1917@mail.ru

С помощью ОЛР-теста изучена динамика параметров флуоресценции на трех вегетативных этапах развития яровой пшеницы. Обнаружена тенденция снижения значений F_o и F_m , F_v/F_m и PI_{ABS} на всех этапах и увеличение с последующим снижением к фазе молочной спелости для потоков энергии (кроме DI_0/RC) и PI_{ABS_total} .

Ключевые слова: флуоресценция, фаза развития, хлорофилл а, ОЛР-тест.

Рост и развитие растения – энергозатратный процесс. Главным источником этой энергии выступает фотосинтез. Набор биомассы влияет на способность растения к поглощению энергии фотонов, воды и минералов, и скорость преобразования этой энергии в физический рост [1]. Для злаковых культур этот процесс особенно важен, так как формирование зерна идет за счет накопленной энергии зеленых частей растений. Поэтому изучение взаимосвязей между эффективностью поглощения, преобразования и использования световой энергии в ходе первичных реакций фотосинтеза, которые зависят от структурной организации фотосинтетического аппарата, и качественными показателями зерна является дополнительным источником понимания процессов формирования урожая.

Такое понимание сущности природных процессов позволит селекционерам уже сегодня выводить культуры, обеспечивающие более высокие урожаи. На нынешнем этапе исследований только подтверждено, что более высокая скорость фотосинтеза приводит к увеличению листьев и может становиться причиной развития более длинных и толстых корней или более обильного цветения.

Объектами исследования являлись 32 сорта яровой пшеницы коллекционного питомника. Полевые исследования проводили на территории экспериментального поля с. Красное г. Кирова Кировской области. Погодные условия в период изучения характеризовались недостаточным увлажнением (8 мм) при средней температуре 27,6 °С. Измерения кинетики индукции флуоресценции хлорофилла *a* проводили после темновой адаптации в течение 20–30 мин с использованием флуорометра FluorPenFP 110/S при помощи ОЛР-теста по методике производителя в 10 повторностях для каждого сорта. Измеряемые параметры: F_o (минимальная флуоресценция); F_m (максимальная флуоресценция); F_v/F_m (максимальный квантовый выход PSII); специфические потоки энергии внутри PSII (ABS/RC – поток адсорбированной световой энергии; TR_o/RC – максимальный поток захваченных экситонов; ET_o/RC – поток электронного транспорта от Q_A до Q_B ; DI_o/RC – поток энергии, рассеянной в виде тепла); перфоманс-индексы сохранения энергии от адсорбированного фотона до редукции Q_B (PI_{ABS}) или до акцептора PSI (PI_{ABS_total}).

Статистическая обработка данных проводилась в программе Microsoft Excel 2016.

В фазу выхода в трубку уже сформировалось большинство побегов кущения, активно развивается вторичная корневая система. Очень важно с этого периода сохранить сформированное количество побегов и дать им всем стать продуктивными. Каждый последующий ростовой формообразовательный акт, ведущий побег в новое очередное морфологическое состояние, опирается на результаты непосредственно предшествующего акта, на предшествующее морфологическое состояние, т. е. на внутреннее более устойчивое состояние системы. Для понимания процессов перехода энергии и ее динамика по фазам развития были измерены параметры флуоресценции фотосистемы 2 – PSII (табл.).

Значения параметров флуоресценции по фазам развития

Фазы	Параметры								
	F_0	F_m	F_v/F_m	ABS/RC	TR _o /RC	ET _o /RC	DI _o /RC	PI _{ABS}	PI _{ABStotal}
ФВвТ	4708,38	25521,19	0,81	1,63	1,33	0,83	0,30	4,92	6,54
ош. %	1,00	0,97	0,16	0,88	0,78	0,98	1,46	3,24	4,80
ФК	4628,24	23217,34	0,80	1,74	1,39	0,87	0,36	4,22	6,99
ош. %	1,10	1,13	0,28	1,59	1,38	1,82	2,58	3,97	5,22
ФМС	3674,03	14850,56	0,72	1,62	1,11	0,65	0,50	3,06	5,20
ош. %	1,97	3,78	1,44	2,86	1,47	1,50	8,15	6,13	6,77

Примечание: ФВвТ – фаза выхода в трубку; ФК – фаза колошения; ФМС – фаза молочной спелости.

Ко второй фазе развития обнаружено снижение данных четырех параметров: начальной и максимальной флуоресценции, максимальный квантовый выход PSII и перфоманс-индекс сохранения энергии от поглощенного фотона до вторичного акцептора. При этом все потоки энергии выросли на 4,65–16,97%. Увеличение потерь энергии путем диссипации на 16,97% в значительной степени повлияло на общую эффективность сохранения энергии до конечного акцептора PSII. Однако PI_{ABS_total} все же к фазе колошения стал более эффективным.

Известно, что PSII является наиболее уязвимой частью фотосинтетического аппарата для индуцированного светом повреждения, и такое повреждение является первым проявлением стресса в листе, что позволяет даже на ранних этапах стресса оценить фотосинтетическую активность [2]. Учитывая засушливые погодные условия в период исследования, имеет смысл отдельный анализ параметра максимального квантового выхода. Значения F_v/F_m отражают потенциальный квантовый выход PSII и используются в качестве чувствительного индикатора состояния фотосинтеза. В промежутке значений 0,81–0,83 состояние растения считается оптимальным [3]. В фазу выхода в трубку значение F_v/F_m находится на нижней границе нормального значения, что указывает на снижение фотоингибирования, стимуляцию фотосинтеза и защиту PS при водном дефиците. В фазу колошения значения параметра опустились за эту границу, а в фазу молочной спелости потеряли до 12% от первоначальных значений. Следовательно, при длительном воздействии стрессовых погодных условий, под влиянием ускоренного развития и старения зеленых частей растения эффективность фотосинтетического аппарата неуклонно снижается.

В фазу молочной спелости вслед за снижением максимального квантового выхода все остальные параметры теряют в своих значениях. Наибольшие потери произошли у F_m (на 36,04%). При этом резко снижается эффективность сохранения энергии по обоим-перфоманс индексам и соответствующее увеличение потерь энергии на 63,87% по сравнению с фазой выхода в

трубку. F_o показывает уровень флуоресценции при открытых реакционных центрах (активных), готовых принимать энергию, F_m – при закрытых (неактивных), когда растение максимально насыщено энергией. По мнению V. N. Gotsev и соавт. [4], снижение начальной и максимальной флуоресценции может свидетельствовать о состоянии стресса у растений. В нашем случае, оба параметра флуоресценции снижались в течение вегетации, что может свидетельствовать о водном и тепловом стрессе (рис.).

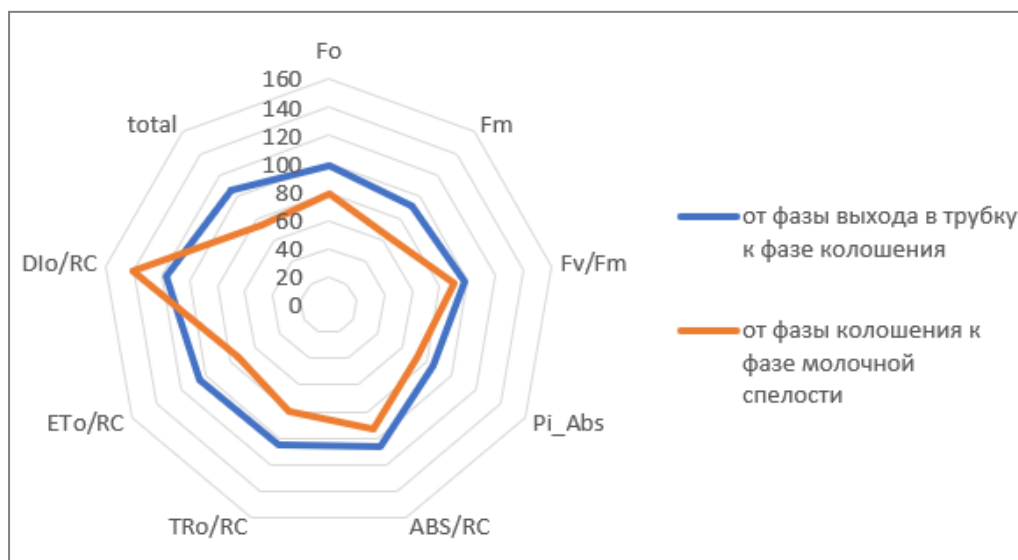


Рис. Динамика параметров флуоресценции в течение вегетационного развития, %

На рисунке показана динамика параметров флуоресценции от первой изученной фазы ко второй и от второй к третьей. Как видно, изменения ко второй фазе происходят более плавно, а при переходе к молочной спелости рисунок приобретает угловатый характер, что говорит о развивающемся характере нарушений фотосинтезирующей функции. Таким образом, полученные данные подтверждают информацию о росте значений, соответствующих островершинной динамике нарастания листовой массы с пиком в фазу колошения-цветения [5]. Ассимиляты, полученные в ходе работы PSII, идут на построение добавочного фотосинтезирующего аппарата и на нарастание площади листовой поверхности. Продуктивные потоки энергии, несмотря на негативное воздействие окружающей среды, сохраняют увеличенные значения от поглощения фотонов до переноса на конечный акцептор PSII. Затем в следствие старения и отмирания листьев происходит значительное снижение эффективности преобразования энергии, что отражается в отрицательной динамике всех измеряемых параметров в фазу молочной спелости. Единственный параметр, прогрессирующий в течение всего развития растений, отражает уровень диссипации. Причиной данного явления могут считаться стрессовые воздействия окружающей среды, отмеченные на второй и третьей фазах.

Библиографический список

1. Unmanned aerial vehicle-based phenotyping using morphometric and spectral analysis can quantify responses of wild tomato plants to salinity stress / K. Johansen, M. J. L. Morton, Y. M. Malbeteau, et al. DOI: 10.3389/fpls.2019.00370 // Front. Plant Sci. 2019. Vol. 10. Article No. 370.
2. Maxwell K., Johnson G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. DOI: 10.1093/jxb/51.345.659 // J. Exp. Bot. 2000. Vol. 51. No. 345. P. 659–668.
3. Гусейнова И. М., Рустамова С. М., Алиев Д. А. Фотохимическая эффективность ФС II генотипов пшеницы, выращенных при почвенной засухе // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 5. С. 111.
4. Variable chlorophyll fluorescence and its use for assessing physiological condition of plant photosynthetic apparatus / V. N. Goltsev, H. M. Kalaji, M. Paunov, et al. DOI: 10.1134/S1021443716050058 // Russ. J. Plant Physiol. 2016. Vol. 63. No. 6. P. 869–893. et al. // Plant physiology. 2016. Vol. 63. No. 6. P. 881–907.
5. Динамика формирования площади листьев местных и интродуцированных сортов пшеницы, выращенных в условиях богары / Б. Н. Сатторов, М. Б. Ниязмухамедова, Ф. Косумбекова и др. // ДАН РТ. 2018. Т. 60. № 11–12. С. 621–626.

АККУМУЛЯЦИЯ ЦИНКА В ЗЕЛЕННОЙ МАССЕ КУКУРУЗЫ

Н. В. Сырчина¹, Л. В. Пилип²

¹ Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, nvms1956@mail.ru,

² Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, pilip_larisa@mail.ru

Длительное внесение в агродерново-подзолистую почву навоза крупного рогатого скота приводит к накоплению подвижных форм Zn. Коэффициент аккумуляции соответствующего металла в зеленой массе кукурузы (ЗМК) составляет 1,6. Несмотря на накопление подвижных форм Zn в почве и биоаккумуляцию, содержание этого элемента в ЗМК не достигает оптимального для животных уровня.

Ключевые слова: почва, цинк, зеленая масса кукурузы, биоаккумуляция цинка.

Цинк является важнейшим микроэлементом, жизненно необходимым для нормального развития и функционирования растений, животных и микроорганизмов [1]. Очень важно, чтобы соответствующий элемент поступал в организм в оптимальном количестве. Как избыточное, так и недостаточное снабжение цинком приводит к развитию опасных патологических состояний. Растения получают Zn из почвы и передают его животным по трофическим цепям. Согласно имеющимся оценкам, почти половина обрабатываемых земель в мире испытывает дефицит доступных форм этого элемента, что приводит к снижению урожайности и ухудшению качества получаемой продукции. По данным Агрохимцентра «Кировский» низкая обеспеченность Zn (ме-

нее 2 мг/кг) характерна для 76–96% обследованных площадей различных агропочвенных районов Кировской области. Низкое содержание подвижного Zn в почвах приводит к дефициту этого элемента в кормах для животных. Согласно опубликованным данным, содержание Zn в объемистых кормах, заготовленных на территории Кировской области, составляет 17–20 мг на 1 кг сухого вещества [2], что ниже оптимального уровня в 2–3 раза: в рационах крупного рогатого скота (КРС) оптимальным считается уровень 30–60 мг Zn на 1 кг сухого вещества корма [3]. Для обогащения рационов сельскохозяйственных животных цинком используют специальные витаминно-минеральные комплексы или включают соединения этого элемента в комбикорма. В сбалансированном рационе для коров содержание Zn должно составлять 695 мг. Не усвоенный в пищеварительной системе Zn выводится из организма животных в составе непереваренного корма и мочи [4]. В жидком навозе КРС (влажность 92–96%) содержание Zn варьирует в пределах от 2,8 до 37,1 мг/кг [5].

Образующийся на предприятиях навоз КРС обычно используется в качестве органического удобрения. Поскольку транспортировка влажного навоза на значительные расстояния (> 30 км) нерентабельна, соответствующее удобрение вносят в пашню, расположенную вблизи животноводческих комплексов. Длительное внесение высоких норм навоза приводит к постепенному накоплению в почве Zn, что является фактором экологического риска для окружающей среды [6]. В связи с этим, контроль содержания Zn в агроземах, удобряемых навозом и навозными стоками, а также в растениеводческой продукции, выращиваемой в соответствующих условиях, является актуальным и практически значимым.

Цель работы – изучить влияние длительного внесения навоза КРС на содержание Zn в почве и растениеводческой продукции (зеленой массе кукурузы, выращиваемой на силос).

В качестве объекта исследований было выбрано пахотное поле, удобряемое навозом КРС (преимущественно обезвреженной в лагунах жидкой фракцией навоза (ЖФН)). Период внесения ЖФН – 7 лет. Норма внесения – 200–220 т/га (в расчете на естественную для ЖФН влажность). Почва агродерново-подзолистая, среднесуглинистая. Поле использовали в кормовом севообороте. ЖФН вносили в почву с помощью буксируемой шланговой системы. Отбор проб агрозема (Опыт) и зеленой массы кукурузы (ЗМК) проводили в конце вегетационного периода. Пробы почвы отбирали тростевым буром на глубину пахотного слоя согласно ГОСТ Р 58595-2019. Контрольные пробы почвы (Контроль) отбирали на заросшем кустарниками участке, расположенном на расстоянии более 300 м от границ пашни. Пробы ЗМК отбирали и обрабатывали согласно ГОСТ Р 58588-2019. Для определения содержания подвижных и валовых форм Zn в почве и ЗМК использовали атомно-абсорбционный метод. Исследования почвы проводили по ФР 1.31.2018.31189 на спектрометре ААС «Спектр-5-4». Содержание Zn в ЗМК

определяли согласно ГОСТ 32343-2013. Подвижные формы Zn из проб почвы извлекали ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH=4,8.

Индекс аккумуляции (ИА) Zn рассчитывали по формуле:

$$ИА = C_k / C_p, \quad (1)$$

где C_k – содержание Zn в воздушно-сухой ЗМК, мг/кг; C_p – содержание подвижных форм Zn в воздушно-сухих образцах агрозема, мг/кг.

Статистическую обработку результатов проводили общепринятыми методами в программе Microsoft Excel. Статистическую значимость различий средних величин оценивали по t-критерию Стьюдента.

В таблице приведены данные о химическом составе агрозема и почвы контрольного участка.

Таблица

Химический состав почвы разных участков

Показатель	Значение показателя		Метод анализа
	Контроль	Опыт	
N общий, мг/кг	480±90	1340±430	ГОСТ Р 58596-2019
P ₂ O ₅ подвижный, мг/кг	179±42	1050±180	ГОСТ Р 54650-2011
K ₂ O обмен, мг/кг	128±18	830±110	
Ca обменный, мг/кг	9,2±1,8	13,5±2,3	ГОСТ 26487-8
Органическое вещество, %	2,2±0,5	5,5±1,3	ГОСТ 23740-2016
pH _{KCl}	4,0±0,2	7,2±0,2	ГОСТ 26483-85
Zn валовый, мг/кг	17,5±2,4	16,8±5,5	ФР 1.31.2018.31189
Zn подвижный, мг/кг	3,4±0,8	5,9±1,4	

Примечание: полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия между показателями контрольного и опытного участков.

Результаты исследований показали, что долговременное внесение навоза КРС в почву привело к значительному накоплению органического вещества, общего азота, подвижных соединений фосфора и калия, а также повышению pH. Полученные данные свидетельствуют о глубокой трансформации естественных геохимических и микробиологических процессов в почвах, удобряемых высокими нормами навоза [7–10]. По содержанию валового Zn в почвах контрольного и опытного участков статистически значимых отличий выявлено не было, однако содержание подвижных форм этого элемента в агроземе (опыт) было значительно выше, чем в почве контрольного участка. На контрольном участке в подвижной форме находилось около 20% Zn, в агроземе – более 35%. Содержание подвижного Zn в удобряемом навозом агроземе соответствовало высокому уровню обеспеченности (> 5мг/кг).

Содержание Zn в зеленой массе кукурузы составило 9,6±2,4 мг/кг (на сухое вещество), что выше средних значений для кукурузы, выращенной без удобрений или на минеральных удобрениях (1,4–4,5 мг/кг [11]), но значительно ниже максимально допустимого уровня – 50 мг/кг [12] и ниже рекомендованного уровня содержания соответствующего элемента в объемистых кормах.

Рассчитанный на основе экспериментальных данных индекс аккумуляции Zn в ЗМК составил 1,6. Значения ИА > 1 свидетельствуют о накоплении соответствующего элемента в вегетативной массе растений.

Результаты выполненных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Долговременное внесение в почвы значительных норм навоза приводит к увеличению подвижности Zn в пахотном горизонте. Кукуруза способна аккумулировать и активно выносить Zn из почвы, о чем свидетельствует значение ИА > 1.

2. Несмотря на накопление подвижных форм Zn в почве, содержание этого элемента в ЗМК не достигает оптимального для животных уровня. Дефицит Zn в кормах может быть восполнен за счет включения в рацион сбалансированных витаминно-минеральных комплексов.

Библиографический список

1. Якимовский А. Ф. Нейробиология цинка. DOI 10.1134/S0042132419030104 // Успехи современной биологии. 2019. Т. 139. № 3. С. 267–279.

2. Русаков Р. В., Гарифуллина Н. А. Обеспеченность рационов крупного рогатого скота Кировской области микроэлементами, обладающими антиоксидантными свойствами // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 5. С. 65–66.

3. Герман Н. В. Эффективность использования солей микроэлементов и витаминов в рационах питания крупного рогатого скота // Аграрный вестник Урала. 2011. № 9. С. 26–28.

4. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Кузнецов Д. А. Животноводческие комплексы как источники загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (Cu, Zn). DOI: 10.15393/j1.art.2023.13182 // Принципы экологии. 2023. № 1 (47). С. 82–89.

5. Дозовые нагрузки биогенных элементов и тяжелых металлов на дерново-подзолистые почвы в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик / Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Т. М. Кирдун и др. / Земледелие и растениеводство. 2022. № 2. С. 18–22.

6. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Влияние органических удобрений на содержание микроэлементов в зеленой массе кукурузы. DOI: 10.14258/jcprm.20240112298 // Химия растительного сырья. 2024. № 1. С. 372–380.

7. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Бактерии рода *Proteus* в побочных продуктах животноводства и почве. DOI: 10.46845/1997-3071-2024-75-40-51 // Известия КГТУ. 2024. № 75. С. 40–51.

8. Влияние навозных стоков на почвенные фототрофные микроорганизмы / Л. В. Кондакова, Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, И. А. Кондакова. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-190-197 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 190–197.

9. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Влияние хвостов обогащения фосфоритов, используемых в качестве удобрения, на почвенные альго-цианобактериальные сообщества. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-174-180 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 174–180.

10. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых и др. DOI: 10.35885/1684-7318-2023-1-107-116 // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 107–116.

11. Бахитова А. Р., Лапушкин В. М. Накопление микроэлементов в зелёной массе кукурузы при её выращивании на дерново-подзолистой почве // Плодородие. 2018. № 4 (103). С. 18–21.

12. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках [Электронный ресурс]. – URL: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293725464> (дата обращения: 02.02.2025).

УСТОЙЧИВОСТЬ К СНЕЖНОЙ ПЛЕСЕНИ И УРОЖАЙНОСТЬ НОВЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ РЖИ СЕЛЕКЦИИ ФГБНУ ФАНЦ СЕВЕРО-ВОСТОКА

Л. М. Щеклеина

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Россия, immunitet@fanc-sv.ru

Гриб *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and I. C. Hallett является одним из наиболее распространенных и эпифитотийно-опасных болезней на озимой ржи. Поражение растений возбудителем снежной плесени приводит к снижению урожайности и качества продукции. Использование наиболее устойчивых сортов в селекции озимой ржи может привести к уменьшению вредоносности данного заболевания.

Ключевые слова: *Secale cereale* L., *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and I. C. Hallett, поражение, инфекционный фон, устойчивость, продуктивность.

Продовольственное использование зерна озимой ржи требует применения гибких технологий селекции и создания сортов, экологически и технологически ориентированных на конкретные задачи [1]. Несмотря на то, что эта культура относительно устойчива к выпреванию (снежная плесень, склеротиния, тифулез) на фоне комплексного действия средовых факторов (агро-экологических, биотических, антропогенных и др.), механизмы регуляции растений оказываются подавленными или полностью разрушенными, даже у наиболее устойчивых сортов [2].

В условиях северного земледелия России озимая рожь ежегодно поражается снежной плесенью (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and I. C. Hallett), возбудителем которой является актиномицетный гриб *M. nivale* [3, 4], как наиболее распространенный и вредоносный фитопатоген озимых зерновых культур в умеренном и холодном климате [5, 6]. Частота проявления снежной плесени на производственных посевах ржи в нашей области составляет 9–10 раз за 10 лет при уровне вредоносности 15–25% [7], что обусловлено снижением продуктивности растений в зависимости от степени их поражения на 19–82% [2]. Интенсивность развития заболевания в основном зависит от фитотоксичности патогенов, поражающих растения, и ответной защитной реакции сорта.

Снежная плесень проявляется ранней весной после схода снега в виде розовой плесени, поражающей листья молодых растений. Важной биологической особенностью возбудителя *M. nivale* является переносимость морозов ниже -20°C и потребность в высокой влажности среды (90–100%), при которой начинается интенсивное развитие мицелия гриба [8–10]. Поэтому *M. nivale* инфицирует растения, как правило, еще осенью, но особенно активен зимой в период оттепелей и в начале весны, когда сохраняются пониженные температуры и наблюдается длительное таяние снега. На перезимовавших листьях появляется рост белого или розового паутинистого мицелия и образование оранжевых спородохий. Сильно пораженные растения погибают очагами, что приводит к значительной изреженности посевов. До настоящего времени мировой генофонд озимой ржи не располагает высокоустойчивыми к поражению снежной плесенью образцами [11]. Известно, что эффективность селекции на болезнеустойчивость определяется многими факторами, среди которых решающее значение имеет уровень изученности генофонда и наличие иммунологически ценного исходного материала.

Цель наших исследований – анализ устойчивости сортов и новых популяций озимой ржи селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока к снежной плесени и их урожайных свойств на провокационно-инфекционном фоне *M. nivale*.

Полевые исследования выполнены в 2021–2024 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого на искусственном инфекционном фоне *M. nivale*. Материалом были 17 сортов озимой ржи селекции этого НИУ, из которых девять (Вятка 2, Кировская 89, Фаленская 4, Снежана, Рушник, Флора, Графиня, Батист, Лика) внесены в Государственный реестр селекционных достижений; восемь новых популяций (Графит, Графит ФП, Гармония, Перепел, Симфония, Талица, Кипрез и Фаленская универсальная) проходят изучение в питомнике конкурсного испытания.

Для учета зараженности и изреженности посевов в связи с их гибелью от болезни с осени подсчитывали все растения на делянках, а весной – сохранившиеся. При весеннем осмотре посевов определяли процент площади делянки, занятой пораженными растениями. Для создания искусственного фона и дифференциацию сортообразцов по устойчивости к снежной плесени проводили по методике В. К. Неофитовой [12]. Методика создания инфекционного фона: внесение инфицированной *M. nivale* размолотой зерносмеси в почву при посеве из расчета 200 г/м^2 непосредственно в контакт с семенами. Характеристику сортов по устойчивости давали на основании регенерационной способности растений (отрастание): высокоустойчивый образец – отрастание растений 81–100%; устойчивый – 61–80%; среднеустойчивый – 41–60%; слабоустойчивый – 21–40%; неустойчивый – $< 21\%$.

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.) и Microsoft Office Excel.

Годы исследований были разнообразными по температурному режиму, количеству выпавших осадков и их распределению в период весенне-летней вегетации. Возобновление вегетации, как правило, наблюдается в конце апреля–начале мая. В апреле температурный режим был неустойчивым (в среднем 4,0–7,6 °С), с частыми, в отдельные дни обильными осадками. Гидротермический коэффициент (ГТК) по Г. Т. Селянинову составил 1,43–5,20. Как правило, погодные условия весны при достаточном количестве влаги в почве и благоприятном температурном фоне способствовали усилению поражения растений снежной плесенью (рис.). Май был как теплый и прохладный (средняя температура воздуха варьировала от 7,4–8,5 °С до 13,8–15,0 °С), так и сухой и дождливый (ГТК = 0,91–3,21). Июнь характеризовался от умеренно-теплой до жаркой погодой (средняя температура – 14,1–19,9 °С, что около климатической нормы) при уровне ГТК от 0,56 (2024 г.) до 2,44 (2022 г.).



а



б

Рис. Поражение растений: а – общий вид поражения сортов озимой ржи снежной плесенью; б – развитие мицелия гриба *Microdochium nivale* на листьях

Как уже отмечали, исследования выявили широкую изменчивость изучаемого генофонда озимой ржи по восприимчивости к снежной плесени в провокационно-инфекционных условиях. Несмотря на внесенную в почву инфекцию *M. nivale*, значительное влияние на патогенез оказывают погодные условия в период таяния снега [7], поэтому поражение отдельных сортов варьировало в среднем по годам от 20,0 до 100%. Быстрое снеготаяние и установившаяся солнечная и теплая погода в мае 2023 г. привела к относительно слабому поражению растений – от 10,0 до 40,0% (в среднем – 22,9%). В остальные годы сложились естественные провокационные условия для усиления развития фузариозной инфекции, что привело к поражению изучаемых сортов на уровне 90,0–100%. В этих условиях вегетации можно отметить новые сорта озимой ржи (Флора, Лика и Батист) со средним уровнем поражения 72,5–75,0%, что близко к высокостойкому сорту Вятка 2 (табл.).

**Поражение снежной плесенью и урожайность сортообразцов
озимой ржи (провокационно-инфекционные фоны, 2021–2024 гг.)**

Сорт, популяция	Снежная плесень		Масса зерна, г/м ²
	поражение, %	отрастание, %	
Вятка 2	70,0±21,2	91,3±4,3	484,3±53,5
Фаленская 4 – ст.	77,5±22,5	71,3±8,3	513,0±92,9
Кировская 89	77,5±19,3	76,3±7,2	418,3±119,9
Снежана	91,3±8,7	75,0±8,7	631,5±61,5
Рушник	76,3±14,6	68,8±4,7	527,0±63,7
Флора	72,5±21,4	82,5±7,8	634,3±83,4
Графиня	80,0±20,0	63,8±3,8	506,5±76,6
Батист	72,5±18,9	78,8±3,1	678,8±150,2
Лика	75,0±18,9	88,1±4,7	725,0±96,2
Талица	76,3±19,1	71,1±9,7	565,5±73,2
Графит	80,0±16,8	65,1±4,6	569,0±39,5
Графит ФП	81,3±14,2	73,8±2,4	697,0±93,1
Гармония	82,5±14,4	66,3±5,2	504,5±80,8
Перепел	75,0±18,9	79,8±4,8	656,0±113,9
Симфония	76,3±19,1	77,5±3,2	713,5±63,8
Фаленская универсальная	77,5±16,5	61,3±8,5	466,0±90,4
Кипрез	77,5±19,3	78,8±2,4	576,0±112,6
Индикаторные (восприимчивые) сорта	80,0...100	45,0...55,0	250,0...300,0
В среднем по сортам	76,4	74,7	580,4
НСР ₀₅	–	–	143,8

Известно, что между степенью поражения растений снежной плесенью и их регенерационной способностью существует достаточно тесная связь [10]. В наших исследованиях она составила $r = -0,84$. Тем не менее, для снежной плесени наиболее ценной иммунологической характеристикой генотипа является не сам факт поражения растения, а его регенерационная способность после инфицирования, выраженная в способности сорта к отрастанию. Отрастание сортов изменялось в среднем от 61,3% (Фаленская универсальная) до 91,3% (Вятка 2). Среди них два сорта (Лика и Флора) можно характеризовать как высокоустойчивые к снежной плесени при отрастании растений в среднем 88,1% и 82,5%, что близко к сорту Вятка 2. Среди новых популяций, проходящих изучение на заключительном этапе селекции в питомнике конкурсного испытания, можно отметить достаточно устойчивые Кипрез, Перепел и Симфония, отрастание которых после поражения снежной плесенью составило в среднем 77,5–79,5%.

Доказано, что урожайность озимой ржи в Кировской области лимитируется, преимущественно, условиями перезимовки растений, обусловленной развитием снежной плесени [2, 7]. В наших исследованиях коэффициент корреляции между отрастанием сортов на инфекционном фоне и их урожайностью составил $r = -0,87$. Среди районированных и возделываемых в настоящее время сортов озимой ржи высокой урожайностью (631,5–725,0 г/м²) отлича-

ются Снежана, Флора, Батист, Лика; у новых популяций – Графит ФП, Перепел, Симфония – уровень признака составил 656,0–713,5 г/м². Эти сорта достоверно превышают зимостойкий и урожайный стандарт Фаленская 4. Однако следует учитывать также варьирование признака в годы исследований. Наибольшим оно было у популяции Симфония (713,5 г/м²), наименьшим – у сорта Кировская 89 (418,3 г/м²), что косвенным образом характеризует их по адаптивности. Как правило, долговечность сорта в производстве определяется, в т. ч., и его адаптивными признаками.

Таким образом, наиболее благоприятное сочетание высоких показателей регенерационной способности растений после поражения снежной плесенью и урожайности на инфекционном фоне *M. nivale* обнаружено у четырех сортов: Флора, Лика, Перепел, Симфония. В 2024 г. сорт Лика включен в Государственный реестр селекционных достижений и допущен к использованию по Северному и Волго-Вятскому регионам РФ. Новые популяции Симфония, Графит ФП, Перепел могут быть размножены и использованы как готовые сорта, другие с урожайностью более 500 г/м² – как источники при гибридизации.

Выносливостью к снежной плесени за годы исследований характеризовались следующие сорта и популяции: Вятка 2, Флора, Лика, Батист, Кипрез, Перепел и Симфония. В условиях жесткого инфекционного фона *M. nivale* 7 образцов (Лика, Симфония, Графит ФП, Батист, Перепел, Флора, Снежана) достоверно ($P \geq 0,95$) превысили стандарт Фаленская 4 по урожайности на 118,5–212,0 г/м². Учитывая проблему распространения снежной плесени на Северо-Востоке России, селекционная программа должна включать исследования по повышению устойчивости создаваемых сортов к одному из наиболее опасных заболеваний в регионе.

Библиографический список

1. Чайкин В. В., Тороп А. А., Тороп Е. А. Изменение архитектоники растения как направление в селекции озимой ржи. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-23-33 // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 3. С. 24–33.
2. Шешегова Т. К. Селекция озимой ржи на устойчивость к фузариозным болезням в Северо-Восточном регионе Нечерноземья России : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2005. 40 с.
3. Zhukovsky A., Ilyuk A. Snow mould harmfulness in winter triticale and the efficiency of seed dressing products in the Republic of Belarus // Progress in Plant Protection. 2010. Vol. 50. No. 4. P. 1841–1846.
4. Гагкаева Т. Ю., Орина А. С., Гаврилова О. П. Разнообразие грибов рода *Microdochium*, выявленных на зерновых культурах в России. DOI: 10.31857/S0026364820050049 // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. № 5. С. 347–364.
5. Snow mold of winter cereals: a complex disease and a challenge for resistance breeding / M. L. Ponomareva, V. Yu. Gorshkov, S. N. Ponomarev, et al. DOI: 10.1007/s00122-020-03725-7 // Theoretical and Applied Genetics. 2021. Vol. 134. No. 2. P. 419–433.
6. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К., Уткина Е. И. Иммунологическая структура и урожайность сортов озимой ржи селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.2.172–180 // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25. № 2. С. 172–180.

7. Кедрова Л. И. Озимая рожь в Северо-Восточном регионе России. Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2000. 158 с.
8. Gawronska K., Gołębiowska-Pikania G. The effects of coldhardening and *Microdochium nivale* infection on oxidative stress and antioxidative protection of the two contrasting genotypes of winter triticale. DOI: 10.1007/s00217-015-2630-8 // European Food Research and Technology. 2016. Vol. 242. No. 8. P. 1267–1276.
9. Evaluation of wheat resistance to snow mold caused by *Microdochium nivale* (Fr) Samuels and I. C. Hallett under abiotic stress influence in the central non-black earth region of Russia / S. K. Temirbekova, I. M. Kulikov, M. Z. Ashirbekov, et al. DOI: 10.3390/plants11050699 // Plants. 2022. Vol. 11. No. 5. P. 699.
10. Дифференциация генетических ресурсов озимой тритикале по устойчивости к возбудителю розовой снежной плесени (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and I. C. Hallett) / М. Л. Пономарева, Н. Ш. Гараева, С. Н. Пономарев и др. DOI: 10.32634/0869-8155-2025-390-01-106-113 // Аграрная наука. 2025. Т. 390. № 01. P. 106–113.
11. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В. Использование доноров ценных признаков растений в селекции новых сортов озимой ржи // Достижения науки и техники АПК. 2015. № 7. С. 7–12.
12. Неофитова В. К. Методы полевой оценки устойчивости сортов озимых зерновых культур к снежной плесени. Минск, 1976. 4 с.

СЕКЦИЯ 11 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

ОСОБЕННОСТИ ФАУНЫ СЛЕПНЕЙ (DIPTERA, TABANIDAE) ПОДЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ПСКОВСКОЙ И ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

В. В. Агасой, В. В. Прокофьев

*Псковский государственный университет,
г. Псков, Россия, agasoi_87@mail.ru*

В статье представлены результаты сравнительного анализа фауны слепней подзоны южной тайги Псковской и Тюменской областей. Показано, что в Псковской области видовое разнообразие табанид выше, чем в Тюменской. При этом, доминирующие виды Псковской области являются субдоминирующими в Тюменской и, наоборот. Предполагается, что различия связаны с тем, что в Тюменской области в разных районах климат изменяется от арктического до умеренного, в то время как в Псковской области он умеренно континентальный влажный, т. е. более мягкий, тёплый и влажный.

Ключевые слова: слепни, фауна, Псковская область, Тюменская область, подзона южной тайги.

Видовой состав слепней в значительной степени зависит от зоны их обитания [1, 2]. Вместе с тем, условия для реализации жизненного цикла слепней (степень увлажнения, растительность, почвы и т. д.) может различаться в разных регионах одной и той же природной зоны. Поэтому целью настоящей работы стало сравнение видового состава и степени обилия слепней подзоны южной тайги Псковской области (северо-запад России) и Тюменской области (Уральский федеральный округ).

Отлов слепней на территории Псковской области осуществляли с 3 декады мая по 3 декаду августа 2011-2013, 2016-2020 гг. на модельном участке вблизи д. Молоди (58°02'19"N, 28°70'34"E) с помощью энтомологического сачка «на себе» за 20 минут и ловушкой типа «Манитоба». Сбор имаго в Тюменской области, в окрестностях г. Тобольска (58°11'43"N, 68°15'29"E), проводили «на себе» за 20 мин с помощью энтомологического сачка и чучелообразной ловушкой [3]. В Псковской области было собрано 14176 слепней, в Тюменской – 5304. В основу подразделения видов по степени их обилия, использовали показатели индекса доминирования, предложенные К. В. Скуфьиным [4]. Согласно этому индексу массовыми (доминирующими) считаются виды, число особей которых в сборах превышает 8%, многочисленными

(субдоминирующими) видами – от 2 до 8%, малочисленными – от 0,5 до 2%, редкими – от 0,1 до 0,5% и единичные – менее 0,1%.

Анализ полученных нами результатов и литературных данных в отношении видового состава и степени обилия кровососущих слепней Псковской [5, 6] и Тюменской областей [3] позволил выявить следующие отличия (табл.). В Псковской области по сравнению с Тюменской отмечено большее видовое богатство (32 и 26 видов, соответственно). При этом, один таёжно-неморальный (*Hybomitra lapponica*) и шесть неморальных видов (*Chrysops viduatus*, *Haematopota crassicornis*, *H. italica*, *Hybomitra distinguenda*, *Tabanus cordiger*, *T. sudeticus*) характерных для Псковской области отсутствуют в Тюменской. И наоборот, таежный вид *Hybomitra nigricornis* отмечен в Тюменской области, но не зарегистрирован на модельном участке в Струго-Красненском районе, хотя встречался в северной части Порховского района Псковской области (наши данные), входящей в подзону южной тайги.

Таблица

**Видовой состав и степень обилия слепней в подзоне южной тайги
Псковской [5] и Тюменской [3] областей**

Вид		Псковская область (2011–2013 гг., 2016–2020 гг.)		Тюменская область (2004–2006 гг.)	
		ИД, %	степень обилия	ИД, %	степень обилия
1		2	3	4	5
Лесной					
1.	<i>Atylotus f. fulvus</i> (Meigen, 1820)	0,10	рд.	1,43	млч.
2.	<i>Chrysops viduatus</i> (Fabricius, 1794)	2,57	мнч.	–	–
3.	<i>Haematopota crassicornis</i> (Wahlberg, 1848)	0,25	рд.	–	–
4.	<i>H. italica</i> (Meigen, 1804)	0,14	рд.	–	–
5.	<i>H. p. pluvialis</i> (Linnaeus, 1758)	20,69	мс.	4,62	мнч.
6.	<i>Heptatoma p. pellucens</i> (Fabricius, 1776)	1,03	млч.	0,02	ед.
7.	<i>Hybomitra d. distinguenda</i> (Verrall, 1909)	3,58	мнч.	–	–
8.	<i>Tabanus bovinus</i> (Linnaeus, 1758)	0,24	рд.	8,09	мс.
9.	<i>T. cordiger</i> (Meigen, 1820)	0,04	ед.	–	–
10.	<i>T. glaucopis</i> (Meigen, 1820)	0,01	ед.	0,13	рд.
11.	<i>T. maculicornis</i> (Zetterstedt, 1842)	7,25	мнч.	0,40	рд.
12.	<i>T. m. miki</i> (Brauer, 1880)	0,03	ед.	0,38	рд.
13.	<i>T. s. sudeticus</i> Zeller, 1843	0,01	ед.	–	–
Лесостепной					
14.	<i>Atylotus rusticus</i> (Linnaeus, 1767)	0,09	ед.	1,02	млч.
15.	<i>Chrysops relictus</i> (Meigen, 1820)	0,10	рд.	5,81	мнч.
16.	<i>C. rufipes</i> (Meigen, 1820)*	–	–	0,15	рд.
17.	<i>Haematopota subcylindrica</i> (Pandellé, 1883)	5,33	мнч.	5,30	мнч.
18.	<i>Hybomitra ciureai</i> (Séguy, 1937)	1,54	млч.	19,80	мс.
19.	<i>Tabanus a. autumnalis</i> (Linnaeus, 1762)	0,01	ед.	1,58	млч.
20.	<i>T. bromius</i> (Linnaeus, 1761)	3,92	мнч.	0,89	млч.

1		2	3	4	5
Таежно-неморальный					
21.	<i>Chrysops c. caecutiens</i> (Linnaeus, 1758)	3,25	мнч.	0,32	рд.
22.	<i>Hybomitra bimaculata</i> (Macquart, 1826)	28,89	мс.	3,03	мнч.
23.	<i>H. kaurii</i> (Chvála and Lyneborg, 1970)	0,47	рд.	0,04	ед.
24.	<i>H. l. lundbecki</i> (Lyneborg, 1959)	5,69	мнч.	4,75	мнч.
25.	<i>H. lurida</i> (Fallén, 1817)	1,49	млч.	1,02	млч.
26.	<i>H. m. montana</i> (Meigen, 1820)	0,06	ед.	2,79	мнч.
27.	<i>H. muehlfeldi</i> (Brauer, 1880)	7,77	мнч.	18,10	мс.
28.	<i>H. nitidifrons confiformis</i> (Chvála and Moucha, 1971)	4,43	мнч.	9,29	мс.
Таежный					
29.	<i>Chrysops divaricatus</i> (Linnaeus, 1758)	0,15	рд.	0,83	млч.
30.	<i>C. nigripes</i> (Zetterstedt, 1838)	0,03	ед.	0,41	рд.
31.	<i>Hybomitra arpadi</i> (Szilády, 1923)	0,42	рд.	9,22	мс.
32.	<i>H. lapponica</i> (Wahlberg, 1848)	0,03	ед.	—	—
33.	<i>H. nigricornis</i> (Zetterstedt, 1842)	—	—	0,51	млч.
34.	<i>H. tarandina</i> (Linnaeus, 1758)	0,40	рд.	0,07	ед.
Общее количество видов		32	—	27	—

Примечание: * – некровососущий вид, мс. – массовый вид, мнч. – многочисленный, млч. – малочисленный, рд. – редкий, ед. – единичный, прочерк означает отсутствие вида.

Следует отметить, что в обеих областях в количественном отношении преобладают слепни таёжно-неморальных видов. Среди слепней с другими ландшафтно-зональными типами ареалов в Псковской области отмечена большая численность неморальных видов, а в Тюменской – лесостепных. Помимо этого, сравниваемые территории различаются доминирующими и субдоминирующими видами. Так, в Псковской области к доминирующим принадлежат два вида – таёжно-неморальный (*Hybomitra bimaculata*) и неморальный (*Haematopota pluvialis*) вид, а в Тюменской пять видов – один таёжный (*Hybomitra arpadi*), два таёжно-неморальных (*Hybomitra muehlfeldi*, *H. nitidifrons confiformis*), один лесостепной (*Hybomitra ciureai*) и один неморальный (*Tabanus bovinus*) вид. При этом доминирующие виды Псковской области относятся к субдоминирующим в Тюменской и наоборот доминирующие таёжно-неморальные виды Тюменской области принадлежат к субдоминирующим в Псковской. В сравниваемых областях к общим субдоминирующим видам относятся лесостепной вид *Haematopota subcylindrica*, таёжно-неморальный вид *Hybomitra lundbecki*.

На наш взгляд, более богатая фауна слепней на модельном участке Псковской области связана с тем, что здесь имеется большее разнообразие мест для выплода различных видов слепней, в то время как, сборы на территории Тюменской области проводились в биотопах рядом со старицей реки и вблизи небольшого постоянного частично заболоченного водоёма, т. е. в условиях меньшего разнообразия мест пригодных для развития табанид. Различия в представительстве доминирующих и субдоминирующих видов свя-

заны с климатическими различиями сравниваемых регионов. В Тюменской области климат от арктического до умеренного, в то время, как в Псковской области умеренно континентальный влажный.

Библиографический список

1. Петерсон А. М. Слепни (Diptera, Tabanidae) Нижнего Поволжья : спец. 03.00.09 : дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2000. 230 с.
2. Пестов С. В., Долгин М. М. Слепни (Diptera, Tabanidae). Фауна европейского Северо-Востока России. Слепни. Т. XI, ч. 1. СПб. : Наука, 2013. 190 с.
3. Атнагулова Л. З. Слепни (Diptera, Tabanidae) г. Тобольска и Тобольского района. Тобольск : ТГПИ имени Д. И. Менделеева, 2008. 135 с.
4. Скуфьин К. В. Методы сбора и изучения слепней. Л. : Наука, 1973. 104 с.
5. Агасой В. В. Слепни (Diptera, Tabanidae) Псковской области : спец. 1.5.14 : дис. ... канд. биол. наук. Псков, 2023. 296 с.
6. Agasoï V. V., Prokofiev V. V., Medvedev S. G. Seasonal dynamics of activity of horseflies (Diptera, Tabanidae) in Pskov Province. DOI: 10.1134/S0013873820090018 // Entomological Review. 2020. Vol. 100. № 9. P. 1205–1217.

К ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (LEPIDOPTERA) ЗАКАЗНИКА «ГОЛУБЫЕ ОЗЕРА» РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

С. Г. Гордиенко¹, Т. А. Гордиенко²

¹ Частная-школа лицей имени Н. И. Лобачевского,
г. Казань, Россия, eiseniata@gmail.com,

² Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
г. Казань, Россия, t_a_gordienko2015@mail.ru

В результате исследования заказника «Голубые озера» в мае-июле 2024г. маршрутным методом было выявлено 44 видов чешуекрылых, среди которых преобладали нимфалиды *Nymphalidae*, голубянки *Lycaenidae*, белянки *Pieridae* и меньше толстоголовок *Hesperiidae*. Всего отмечено два вида бабочек, занесенных в Красную книгу Республики Татарстан.

Ключевые слова: дневные чешуекрылые, заказник, краснокнижные виды.

Главной целью природных заказников является сохранение природных комплексов и их компонентов и поддержания экологического баланса. Исследования чешуекрылых государственного природного заказника регионального значения комплексного профиля «Голубые озера» ранее не проводились. В Татарской энциклопедии [1] было отмечено обитание траурницы *Nymphalis antiopa* Linnaeus, 1758 на территории заказника. В 2014 г. на этой территории были проведены комплексные исследования почв и их обитателей *Ipliclides podalirius* Linnaeus, 1758 [2], здесь были обнаружены и учтены редкие виды наземных беспозвоночных, занесенных в Красную книгу РТ [3]: траурница *N. antiopa* (Малые Голубые озера, участок 9), адмирал *Vanessa*

atalanta Linnaeus, 1758 (Малые Голубые озера, участок 8) и жужелица-улитковод *Cychrus caraboides* (Linnaeus, 1758) (Большое Голубое озеро). В 2018 г. на Большом Голубом озере летом на отдыхе были встречены злато-глазка перла *Chrysopa perla* Linnaeus, 1758 и толстоголовка Морфей *Heteropterus morpheus* Pallas, 1771.

В связи с этим в мае-июле 2024 г. были проведены учеты численности и видового разнообразия хортобионтов маршрутным методом. Основным объектом исследования были чешуекрылые. Животных учитывали на дорожке протяженностью 1 км на Большом Голубом озере и 1,6 км на Малых Голубых озерах, ширина учетной полосы составила 5 метров. Было проведено 8 и 5 маршрутных учетов хортобионтов соответственно на Большом и Малых Голубых озерах.

На маршруте на Большом Голубом озере преобладали чешуекрылые (68%), клопы (17,1%) и стрекозы (9,2%). На луговых участках отмечено наибольшее количество летающих насекомых – бабочек, перепончатокрылых и клопов (на Большом Голубом озере 228 особей против 22 на Малых Голубых озерах). Среди чешуекрылых многочисленны нимфалиды *Nymphalidae* (12,7%, 14 видов), голубянки *Lycaenidae* (28,1%, 8 видов), белянки *Pieridae* (11%, 7 видов), значительно меньше толстоголовок *Hesperiidae* (7,5% и 3 вида), сатирид *Satyridae* (7% и 7 видов). Также встречены перепончатокрылые пчела-листорез *Megachile rotundata* (Fabricius, 1787) и шершень обыкновенный *Vespa crabro* Linnaeus, 1758, жуки бронзовка золотистая *Cetonia (s.str.) aurata* (Linnaeus, 1758), оленек обыкновенный *Dorcus parallelipipedus* (Linnaeus, 1758) и усач-кожевник *Prionus coriarius* Linnaeus, 1758. Среди насекомых четыре вида, занесенные в Красную книгу Республики Татарстан, оленек обыкновенный *D. parallelipipedus*, пчела-листорез *M. rotundata* и бабочки переливница ивовая *Apatura iris* Linnaeus, 1758 и Подалирий *Iphiclidides podalirius* (Linnaeus, 1758).

На Малых Голубых озерах отмечены белянки (79%), голубянки (10,5%), махаон *Papilio machaon* Linnaeus, 1758 (5,3%), а также жук оленек обыкновенный (15,8%). Здесь обилие хортобионтов очень незначительное (22 особи), т.к. практически отсутствует участки с луговой растительностью. Среди редких видов отмечен только один оленек обыкновенный *D. parallelipipedus*.

В заказнике «Голубые озера» было отмечено 43 вида чешуекрылых из 9 семейств:

Семейство Пестрянки *Zygaenidae* Latreille, 1809

1. Пестрянка скобиозовая *Zygaena osterodensis* Reiss, 1921, Б. Голубое озеро, 1 экз.

Семейство Белянки *Pieridae* Duponchel, 1835

2. Лимонница (крушинница) *Gonepteryx rhamni* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 4 экз., М. Голубое озеро, 1 экз.

3. Белянка репница *Pieris rapae* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 3 экз.

4. Боярышница *Aporia crataegi* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 3 экз.

5. Капустница *Pieris brassicae* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 2 экз.
М. Голубые озера, 14 экз.
6. Резедовая белянка *Pontia daplidice* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 1 экз.
7. Белянка брюквенница *Pieris napi* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 1 экз.
8. Желтушка луговая *Colias hyale* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 2 экз.
- Семейство Нимфалиды *Nymphalidae* Rafinesque, 1815
9. Перламутровка таволжанка *Brenthis ino* Rottemburg, 1775, Б. Голубое озеро, 1 экз.
10. Перламутровка Дафна *Brenthis daphne* (Denis et Schiff., 1775), Б. Голубое озеро, 1 экз.
11. Перламутровка большая лесная *Argynnis paphia* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 1 экз.
12. Пестрокрыльница изменчивая *Araschnia levana* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 1 экз.
13. Переливница ивовая *Apatura iris* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 2 экз.
14. Переливница тополевая *Apatura ilia* Denis & Schiffermüller, 1775, Б. Голубое озеро, 2 экз.
15. Углокрыльница с-золотое *Polygonia c-aureum* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 1 экз.
16. Углокрыльница с-белое *Polygonia c-album* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 2 экз.
17. Многоцветница черно-рыжая *Nymphalis xanthomelas* (Esper, 1781), Б. Голубое озеро, 4 экз.
18. Дневной павлиний глаз *Inachis io* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 4 экз.
19. Адмирал *Vanessa atalanta* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 2 экз.
20. Чернушка медуза *Erebia medusa* Denis & Schiffermüller, 1775, Б. Голубое озеро, 1 экз.
21. Шашечница Аталия *Melitaea athalia* Rottemburg, 1775, Б. Голубое озеро, 2 экз.
22. Шашечница черноватая *Melitaea diamina* (Lang, 1789), Б. Голубое озеро, 3 экз.
- Семейство Бархатницы *Satyridae* Boisduval, 1833
23. Меланаргия русская, суворовка *Melanargia russiae* Esper, 1783, Б. Голубое озеро, 2 экз.
24. Галатея *Melanargia galathea* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 1 экз.
25. Бархатница большая *Lasiommata maera* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 1 экз.
26. Бархатница ликаон *Hyponephele lycaon* Rottemburg, 1775, Б. Голубое озеро, 2 экз.

27. Глазок цветочный *Aphantopus hyperantus* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 6 экз.

28. Воловий глаз *Maniola jurtina* (Linnaeus, 1758), Б. Голубое озеро, 2 экз.

29. Сенница обыкновенная *Coenonympha pamphilus* (Linnaeus, 1758), Б. Голубое озеро, 2 экз.

Семейство Голубянки *Lycaenidae* Leach, 1815

30. Червонец непарный *Lycaena dispar* Haworth, 1802, Б. Голубое озеро, 2 экз.

31. Червонец огненный *Lycaena virgaureae* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 3 экз.

32. Червонец фиолетовый *Lycaena alciphron* Rottenburg, 1775, Б. Голубое озеро, 1 экз.

33. Голубянка-икар *Polyommatus icarus* (Rottenburg, 1775), Б. Голубое озеро, 3 экз., М. Голубые озера, 2 экз.

34. Голубянка-аргус *Plebejus argus* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 8 экз.

35. Голубянка крушинная *Celastrina argiolus* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 2 экз.

36. Голубянка быстрая *Polyommatus amandus* Schneider, 1792, Б. Голубое озеро, 4 экз.

37. Голубянка-алексис *Glaucopsyche alexis* Poda, 1761, Б. Голубое озеро, 3 экз.

Семейство Толстоголовки *Hesperiidae* Latreille, 1809

38. Крепкоголовка палеймон *Carterocephalus palaemon* (Pallas, 1771), Б. Голубое озеро, 3 экз.

39. Толстоголовка черно-белая *Pyrgus malvae* (Linnaeus, 1758), Б. Голубое озеро, 2 экз.

40. Толстоголовка тире *Thymelicus lineola* (Ochsenheimer, 1808), Б. Голубое озеро, 11 экз.

Семейство Эребиды *Erebidae* Leach, 1815

41. Медведица бурая *Phragmatobia fuliginosa* Linnaeus, 1758, Б. Голубое озеро, 1 экз.

Семейство Бражники *Sphingidae* Latreille, 1802

42. Бражник малый винный *Deilephila porcellus* (Linnaeus, 1758), Б. Голубое озеро, 1 экз.

Семейство Парусники *Papilionidae* Latreille, 1802

43. Подалирий *Iphiclides podalirius* (Linnaeus, 1758), Б. Голубое озеро, 1 экз.

44. Махаон *Papilio machaon* Linnaeus, 1758, М. Голубые озера, 1 экз.

Таким образом, видовое разнообразие чешуекрылых на Голубых озерах зависит от наличия открытых луговых территорий и разнообразия луговых цветущих трав. На Большом Голубом озере обнаружено 43 вида чешуекрылых, на Малых Голубых – 4 вида (всего 44 вида). Всего на данной охраняемой

территории зарегистрировано 46 видов бабочек, из которых только два занесены в Красную книгу РТ [4] – переливница ивовая *A. iris* и подалирий *I. podalirius*.

Библиографический список

1. Татарская энциклопедия. Казань : Институт Татарской Энциклопедии Академии наук Республики Татарстан. 2005. Т. 2 (Г—Й).
2. Современное состояние почв и мезофауны природного заказника «Голубые озера» Республики Татарстан / А. Б. Александрова, Т. А. Гордиенко, Д. Н. Вавилов и др. // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2016. Т. 158. Кн. 1. С. 101–116.
3. Красная книга Республики Татарстан. Животные, растения, грибы. Казань : «Идел-Пресс», 2006. 832с.
4. Красная книга Республики Татарстан. Животные, растения, грибы. Казань : «Идел-Пресс», 2016. 760с.

БИОТОПИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИНАНТРОПНЫХ ВРАНОВЫХ ПТИЦ ГОРОДА КЫЗЫЛ

О. В. Дандаа, С. О. Чкалов

Тувинский государственный университет,
г. Кызыл, Россия, dandaa2020@mail.ru

Врановые все чаще начинают гнездиться в урбанизированных ландшафтах. Во многих городах происходит успешная адаптация этих птиц к новым условиям. Видовой состав птиц семейства врановых города Кызыл с каждым годом изменяется. Синантропные птицы достаточно пластичная группа животных под влиянием антропогенных факторов может приобретать новые адаптации и изменять характер распределения на антропогенных территориях. Изменение динамики численности и активности птиц в зимний период характеризуется различными факторами. Сравнение результатов исследований с прошлыми годами наблюдений дает нам информацию о биотопическом распределении птиц. Поэтому, в связи с интенсификацией процессов антропогенной трансформации природных сообществ, которые приводят к изменениям в структуре природных экосистем, необходимо проведение исследований для выяснения этих вопросов, поскольку врановые могут использоваться как модельная группа для изучения процессов синантропизации птиц.

Ключевые слова: птицы, врановые, численность, плотность, Каа-Хем, микрорайон Спутник, Кызыл.

Город Кызыл расположен в восточной части Центрально-Тувинской котловины в месте слияния рек Малого (Каа-Хем), Большого (Бий-Хем) Енисеев, образующих Верхний Енисей в точке географического центра Азии. Город основан в 1914 г. и является столицей Республики Тыва. Площадь города 97,41 км², большая часть его расположена на левом берегу Каа-Хема и

Енисей и лишь небольшой район, и дачный поселок – на правом берегу Енисея (рис. 1). Протяженность города вдоль реки со спутниками – поселками городского типа Каа-Хем и Сукпак, непосредственно примыкающими к границам города – 27 км, ширина до 5 км. Высота над уровнем моря 640 м.

В центральной и восточной частях города распространены многоэтажные кирпичные строения, административные и жилые. В западной части города расположены промышленные строения (преимущественно заброшенные), складские и городские очистные сооружения.

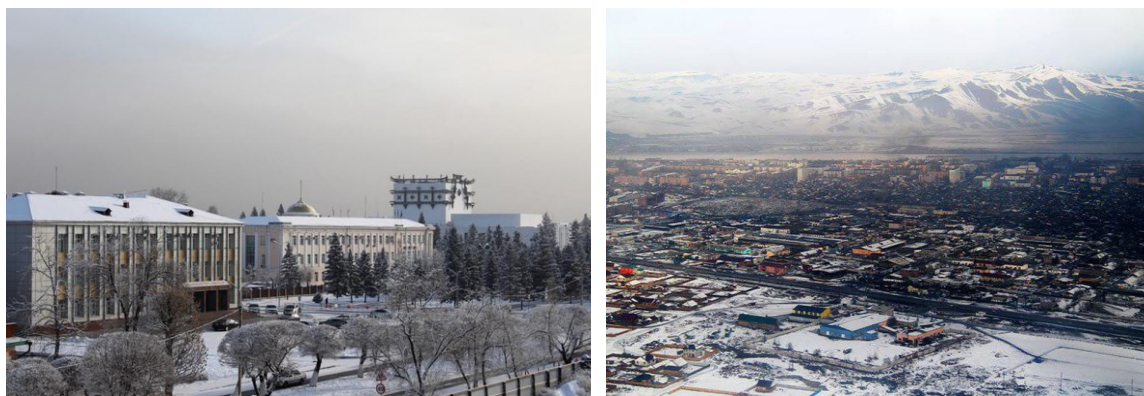


Рис. 1. Город Кызыл

Врановые птицы – важная часть природных сообществ. Занимая одно из доминирующих положений в населении антропогенных ландшафтов, они оказывают существенное влияние на орнитокомплексы, играют важную роль в агроурбоценозах.

Исследования проводили на модельных видах: сорока (*Pica pica*), ворон (*Corvus corax*) и черная ворона (*Corvus corone*) в г. Кызыл с первой половины сентября до начала марта 2023–2024 гг. на постоянных маршрутах. Один маршрут проходил по Центральному району по улицам Титова, Ленина, Рабочая, Комсомольская. Второй маршрут проложен в микрорайоне «Спутник», а третий маршрут в пгт. Каа-Хем. Сбор материала осуществляли по методикам, предложенным Ю. С. Равкиным [1].

В поселке Каа-Хем в осенний период (сентябрь–ноябрь) преобладающим видом по численности среди врановых является ворон. Наибольшую численность ворона отмечали в ноябре с общей плотности 3,6 ос/ км². Это связано с легкодоступностью кормов, обильным количеством мест укрытий. Ближе к этой местности имеются заброшенные здания от бывших заводов. Наименьшая плотность у сороки составляет 1,7 ос/ км² (рис. 2).

В городе Кызыл преобладает сорока – обычный и многочисленный гнездящийся вид, их плотность составила 3,6 ос/ км² (рис. 3). Особенно велика концентрация птиц на небольших мусорных баках, куда их привлекает обилие доступных кормов.

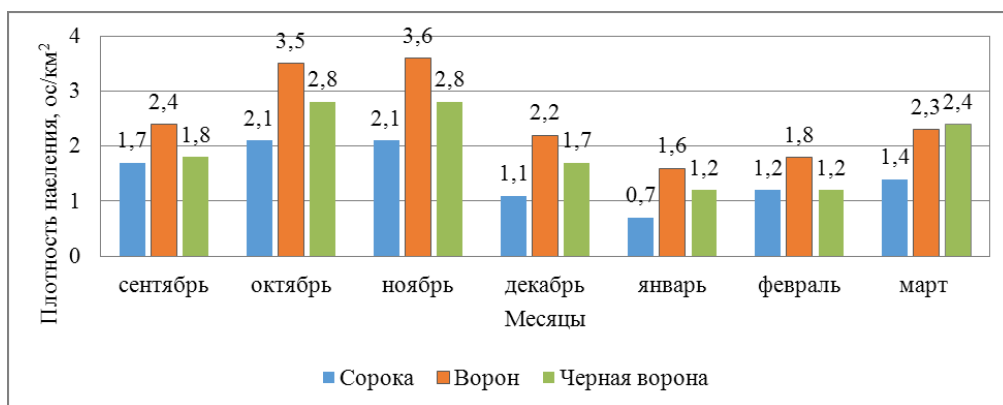


Рис. 2. Плотность население врановых птиц в поселке Каа-Хем

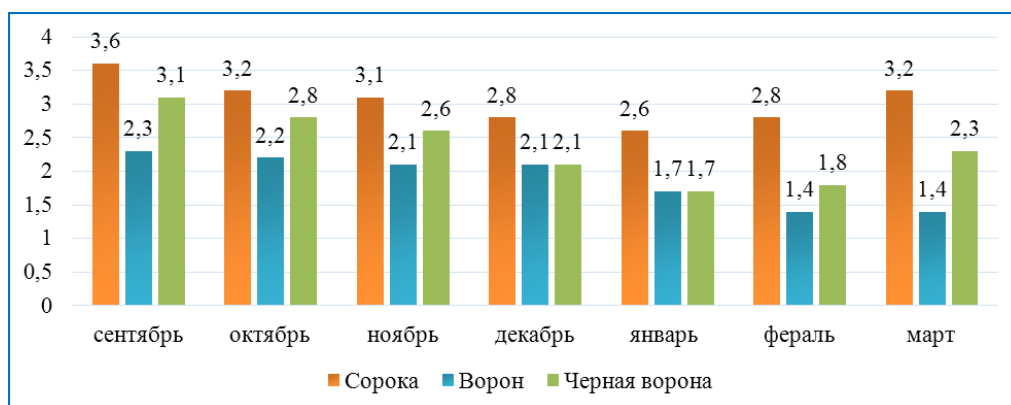


Рис. 3. Плотность население врановых птиц ос/ км² г. Кызыл

В микрорайоне «Спутник» 2023 г. преобладающим видом была сорока, плотность составляет 4,2 ос/ км² (рис. 4). Это связано с наличием в этой местности городской свалки с значительной кормовой базой. На втором месте по численности черная ворона – стабильный, многочисленный вид.

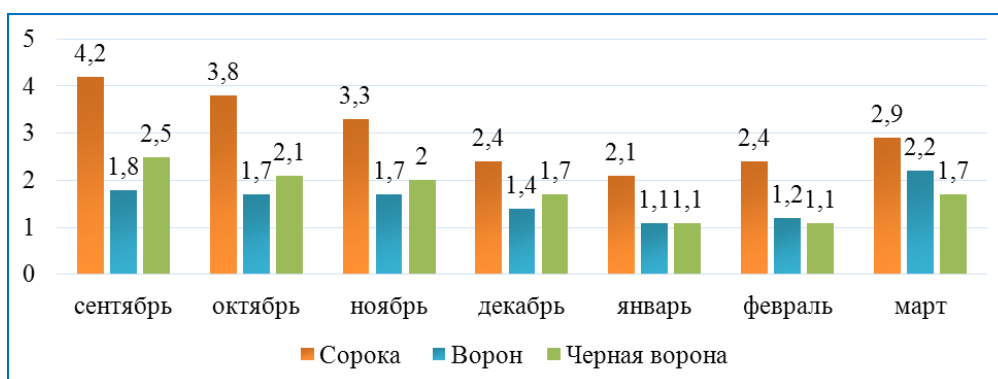


Рис. 4. Плотность население врановых птиц ос/км² микрорайон «Спутник»

Результаты учета показали, что больше всего птиц семейства врановых обитает в самом городе Кызыл, а меньше всего в поселке Каа-Хем.

В городе Кызыле и его окрестностях в осенне-зимнее время отмечали всего 3 вида врановых относящихся к роду *Corvus*. Все они являются оседлыми и обычными видами на территории города.

Способность активно реагировать и приспосабливаться к изменяющимся условиям среды, дали возможность стать врановым птицам полными представителями урбанизированных экосистем (черная ворона, сорока обыкновенная, ворон) [2]. По сравнению с другими регионами, численность врановых в целом по Туве и в частности в городе Кызыле остается не очень высокой, синантропизация этих птиц в Кызыле началось значительно позже, чем в других регионах, особенно в европейской части, поэтому проблемы регулирования численности врановых города Кызыла не является актуальным.

Библиографический список

1. Равкин Ю. С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск : Наука, 1967. С. 66–75.
2. Сандакова С. Л. Пути и этапы синантропизации // Современные проблемы орнитологии Сибири и Центральной Азии : материалы IV Междунар. орнитологической конф. (Улан-Удэ, 17–20 сентября 2009 г.). Вып. 4. Улан-Удэ, 2009. С. 29–35.

НАЛИЧИЕ ГЕНОТОКСИКАНТОВ И ВЕЩЕСТВ, ИНДУЦИРУЮЩИХ ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС, В ТКАНЯХ ЧЕРНОМОРСКО-АЗОВСКОЙ ПРОХОДНОЙ СЕЛЬДИ

О. Д. Лановая, А. Е. Полиниченко, Т. Н. Ажогина, И. С. Сазыкин

*Южный федеральный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия, lanovaia@sfedu.ru*

В работе представлены данные токсикологической оценки тканей черноморско-азовской проходной сельди *Alosa immaculata* (Bennett, 1835), полученные с использованием цельноклеточных бактериальных биосенсоров. В качестве объектов анализа были выбраны ткани жабр, кишечника и печени рыб. В ходе проведенного исследования зафиксировано наличие выраженного генотоксического эффекта и менее явного окислительного эффекта.

Ключевые слова: черноморско-азовская проходная сельдь, токсичность, мутагены, прооксиданты, бактериальные lux-биосенсоры.

Загрязнение Азовского моря тяжелыми металлами, микропластиком и другими поллютантами [1, 2] влияет на обитающие в нем организмы. Гидробионты, в частности рыбы, способны аккумулировать их в своем организме. Эти загрязнители не только вызывают нарушение метаболизма организмов, в которых происходит их непосредственное накопление [3], но и оказывают влияние на организм человека, употребляющего их в пищу, и на бактерий его кишечной микробиоты.

Черноморско-азовская проходная сельдь (*Alosa immaculata*, Bennett, 1835) является важным объектом рыболовного промысла Азовского моря [4]. Данный вид широко употребляется в пищу, поэтому важной задачей является

оценка потенциального вреда поллютантов в тканях рыбы на здоровье человека. В связи с этим целью данной работы является оценка наличия веществ, индуцирующих окислительный стресс, а также генотоксикантов, способных приводить к повреждению ДНК.

Объектом исследования послужили 9 особей черноморско-азовской проходной сельди *Alosa immaculata*, выловленные в Таганрогском заливе Азовского моря. В рамках проведенной работы была проанализирована токсичность экстрактов тканей жабр, кишечника и печени, вызванная содержащимися в них мутагенами и прооксидантами. Оценка токсичности осуществлялась с использованием батареи цельноклеточных бактериальных lux-биосенсоров. Методика заключалась в сравнении уровня люминесценции опытной клеточной культуры, содержащей индуцируемый промотор, и выращиваемой в присутствии экстракта ткани, с контрольной культурой. На основании этого сравнения рассчитывался истинный фактор индукции (I). При статистически значимых ($p < 0,05$) отличиях опыта от контроля фактор индукции $I < 2$ оценивали как «слабый», $2 \leq I \leq 10$ – «средний», а $10 < I$ – «сильный» [5].

Все эксперименты проводили в трех независимых повторностях. Для оценки генотоксичности были использованы штаммы *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux) и *E. coli* MG1655 (pRecA-lux), для определения уровня окислительного стресса – *E. coli* MG1655 (pKatG-lux), *E. coli* MG1655 (pSoxS-lux).

Полученные результаты генотоксичности в тканях сельди, представлены на рисунке 1. Данные, полученные в ходе оценки окислительного стресса, изображены на рисунке 2.

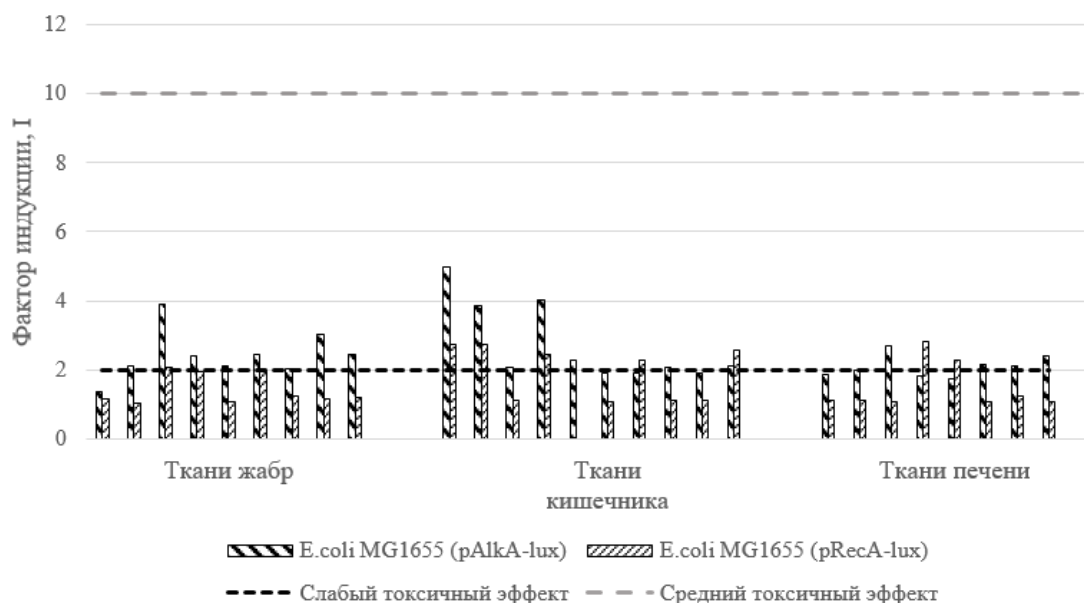


Рис. 1. Фактор индукции тканей жабр, кишечника и печени черноморско-азовской проходной сельди, выявленный при анализе генотоксичности тканей

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FENW-2024-0026.

Библиографический список

1. Буфетова М. В. Оценка потоков тяжелых металлов (Pb, Cd) в абиотических компонентах экосистемы Азовского моря // Проблемы региональной экологии. 2018. № 4. С. 70–73.
2. Загрязнение микропластиком донных отложений Азовского моря / А. Е. Глушко, Л. А. Беспалова, Е. В. Беспалова, Т. Б. Картамышева // Наука Юга России. 2021. Т. 17. № 2. С. 57–65.
3. Direct and indirect effects of multiple environmental stressors on fish health in human-altered rivers / Q. Petitjean, S. Jean, J. Côte, et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140657 // Sci. Total Environ. 2020. Vol. 742. Article No. 140657.
4. Biosensor-based comparison of the ecotoxicological contamination of the wastewaters of Southern Russia and Southern Germany / I. S. Sazykin, M. A. Sazykina, L. E. Khmelevtsova et al. DOI: 10.1007/s13762-016-0936-0 // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2016. Vol. 13. No. 3. P. 945–954.
5. Некоторые аспекты структуры промыслового изъятия и параметры популяции черноморскоазовской сельди в период 2004–2020 гг. / И. Д. Козоброд, В. А. Шляхов, О. В. Шляхова, М. М. Пятинский // Вопросы рыболовства. 2022. Т. 23. № 2. С. 174–188.
6. Differential cell metabolic pathways in gills and liver of fish (white seabream *Diplodus sargus*) coping with dietary methylmercury exposure / G. De Marco, B. Billè, F. Brandão, et al. DOI: 10.3390/toxics11020181 // Toxics. 2023. Vol. 11. No. 2. Article No. 181.
7. Химические основы токсического действия тяжелых металлов (обзор) / С. Г. Скугорева, Т. Я. Ашихмина, А. И. Фокина, Е. И. Лялина. DOI: 10.25750/1995-4301-2016-1-014-019 // Теоретические проблемы экологии. 2016. № 1. С. 4–13.

INTRA-POPULATION BODY SIZE VARIATION IN GROUND BEETLE *POECILUS CUPREUS* L.

**K. Y. Maksimovich¹, S. L. Luzyanin², T. M. Teofilova³, V. Langraf⁴,
K. Szyszko-Podgórska⁵, N. L. Ukhova⁶, T. A. Avtaeva^{7,8},
A. D. Belosludcev⁹, R. A. Sukhodolskaya^{10,11,12}**

¹ Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies
of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia, Kiri-maksimovi@mail.ru,

² Kemerovo State University, Kemerovo, Russia, sl_luzyanin@mail.ru,

³ Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Sciences,
Sofia, Bulgaria, oberon_zoo@abv.bg,

⁴ Constantine the Philosopher University in Nitra, Nitra, Slovakia, vlangraf@ukf.sk,

⁵ Institute of Environmental Protection, Warszawa, Poland,
katarzyna.podgorska@ios.edu.pl,

⁶ Visim Nature Reserve, Kirovograd, Russia, ukh08@yandex.ru,

⁷ Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences,
Grozniy, Russia, avtaeva1971@mail.ru,

⁸ Chechen State Pedagogical University, Grozniy, Russia,

⁹ Kazan (Volga Region) Federal University,
Kazan, Russia, belosludcev3042@gmail.com,

¹⁰ Institute of Ecology and Mineral Resource Management,
Academy of Sciences of Tatarstan Republic,
Kazan, Russia, sukhodolskayaraisa@gmail.com,

¹¹ Kazan State Medical University, Kazan, Russia,

¹² Volga-Kama State Nature Biosphere Reserve, Zelenodolsky district,
Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

We have estimated body size variation in widespread ground beetle *POecilus cupres* L. Sampling sites varied by 17° in latitude and by 136° in longitude. The beetles were measured by six linear features. Their variation in latitude and longitude gradient appeared to be saw-tooth. In 74 percents of cases those changes were determined by sampling region.

Key words: body size variation, ground beetles, ANOVA, saw-tooth variation, latitude/longitude gradients.

Implementing biological mechanisms in predictive models requires detailed information on species' demographic and ecological traits [1, 2]. Compiling such trait data for carabids is challenging for two main reasons: many ground beetle species are less studied compared to, for example, laboratory rearing species, like *Drosophiladae* [3], and their high species richness, small sizes and hidden life styles make it difficult to quantify key traits. Furthermore, available trait data are mostly scattered across literature, with non-standardized measurements that hinder cross taxon comparisons.

Body size is often considered a “master trait” because it correlates with many other traits related to several of the key mechanisms [4, 5]. Body size can determine maximal population densities, movement capacities [6], fecundity [7] and thermal limits [8]. The inclusion of body size in our data consequently allows it to be used as a correlated trait and proxy for potential missing data on specific mechanisms.

The object of investigation was ground beetle *Poecilus cupreus* L. It is the widespread species, dominant in arable lands. We sampled beetles in the wide range of studied species area. The following regions were involved in study: Turkmenistan, Bulgaria, Chechen Republic, Sakhalin Province, Romania, Krasnodar Territory, Stavropole Territory, Slovakia, Switzerland, Poland, Ukraine, Germany, Omsk Province, Kemerovo Province, Novosibirsk Province, Sverdlovsk Province, Tatarstan Republic, Kostroma Province. Their locations differed by 17 degrees in latitude and 136 degrees in longitude. Beetles were transferred to the Laboratory of Biomonitoring in the Institute of Ecology (Tatarstan Republic) where we measured them by 6 traits. In this paper we present pronotum parameters variation. Statistical analysis was carried out in R space.

Pronotum length variation was saw-tooth both in the latitude gradient and the longitude one (Fig. 1, 2). The same phenomena we observed in relation to pronotum width variation: trait value could sharply increase (decrease) when transiting from the certain region to the neighboring one. Besides, those shifts were significant. We conducted ANOVA and confirmed our propositions in 17 pairs of comparisons of feature values in neighboring regions, both in the latitudinal gradient and in the longitudinal one. Considering that two features were analyzed, we obtained 68 tables, one example of which is presented in Table. We have analyzed those tables and come to conclusion that the main factor affecting traits variation was “Location”: in 74 percents of cases those changes were determined by sampling region. Factor “Sex” was less significant (35 percents), and only in 15 percent of cases shifts were associated with both gender and sampling location.

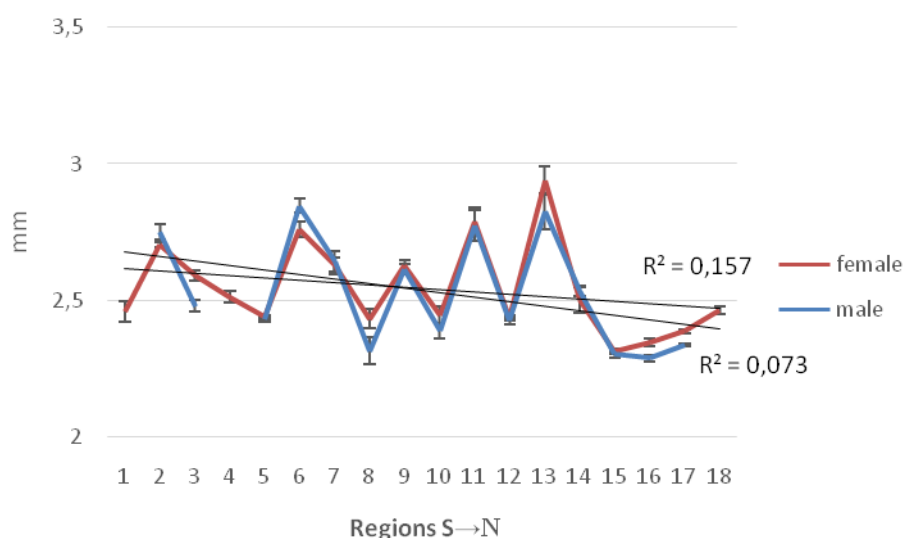


Fig. 1. Pronotum length variation in *P. cupreus* in latitude gradient

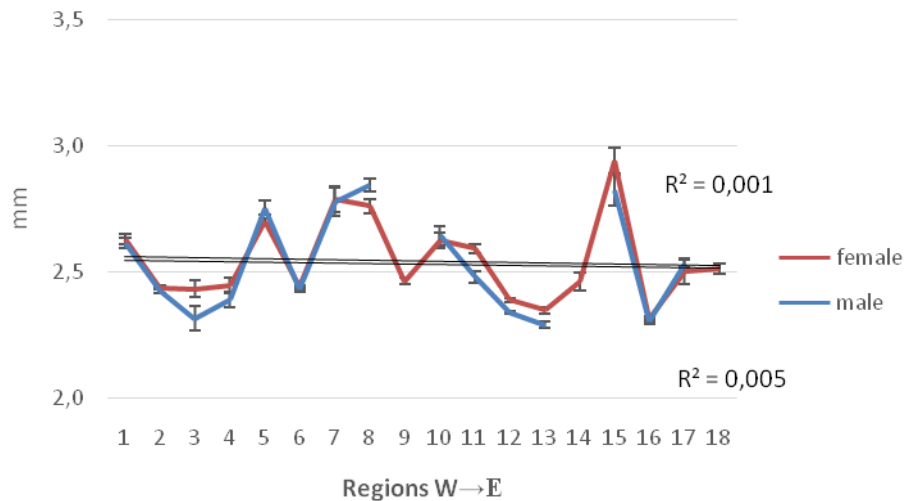


Fig. 2. Pronotum width variation in *P. cupreus* in longitude gradient

Table

ANOVA results when modeling different factors impact on pronotum length variation in *P. cupreus*

Residuals:*	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.45848	-0.14655	-0.04662	0.14183	1.14063
Coefficients:	Estimate	Std.Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	2.461884	0.049827	49.409	< 2e-16 ***	
fSexMale	0.084150	0.063865	1.318	0.189	
Location	0.297218	0.055148	5.389	2.02e-07 ***	
fSexMale:Location	0.006936	0.072397	0.096	0.924	
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 0.2114 on 196 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0.2779, Adjusted R-squared: 0.2668					
F-statistic: 25.14 on 3 and 196 DF, p-value: 8.342e-14					

Note: Intercept with a sufficient level of reliability, which means that the proposed model described the phenomenon well; the “Location” variable significantly influenced the change in the value of the trait, therefore, the samples of two regions adjacent in latitude (Romania/Krasnodar Krai) differed significantly from each other in the length of the pronotum of their specimen; other factors did not significantly influence, that is, the size of the trait in males did not differ from that in females and the trait changed equally in both sexes when moving from one region to another.

So we concluded that detected patterns of body size variation in studied species were the result of local adaptation to temperature and phenotype plasticity along climatic gradients. Such the patterns of saw-tooth variation of body size in geographical gradient in insects were detected more than once [9–11].

References

1. Bringing traits back into the equation: A roadmap to understand species redistribution / L. Comte, R. Bertrand, S. Diamond, et al. DOI: 10.1111/gcb.17271 // Glob. Change Biol. 2024. Vol. 30. Article No. e17271.

2. Improving the forecast for biodiversity under climate change / M. C. Urban, G. Bocedi, A. P. Hendry, et al. DOI: 10.1126/science.aad8466 // Science. 2016. Vol. 353. No. 6304. Article No. 8466.
3. Leather S. R. Institutional vertebratism hampers insect conservation generally; not just saproxylic beetle conservation. DOI: 10.1111/acv.12068 // Animal Conservation. 2013. Vol. 16. No. 4. P. 379–380.
4. Relationships between body size and abundance in ecology / E. P. White, S. K. M. Ernest, A. J. Kerkhoff, B. J. Enquist. DOI: 10.1016/j.tree.2007.03.007 // Trends Ecol. Evol. 2007. Vol. 22. No. 6. P. 323–330.
5. Body size in ecological networks / G. Woodward, B. Ebenman, M. Emmerson, et al. DOI: 10.1016/j.tree.2005.04.005 // Trends Ecol. Evol. 2005. Vol. 20. No. 7. P. 402–409.
6. Size-dependent movement explains why bigger is better in fragmented landscapes / J. Hillaert, T. Hovestadt, M. L. Vandegehuchte, D. Bonte. DOI: 10.1002/ece3.4524 // Ecol. Evol. 2018. Vol. 8. No. 22. P. 10754–10767.
7. Berger D., Walters R., Gotthard K. What limits insect fecundity? Body size- and temperature-dependent egg maturation and oviposition in a butterfly. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2008.01392.x // Funct. Ecol. 2008. Vol. 22. No. 3. P. 523–529.
8. Klockmann M., Günter F., Fischer K. Heat resistance throughout ontogeny: Body size constrains thermal tolerance. DOI: 10.1111/gcb.13407 // Glob. Change Biol. 2017. Vol. 23. No. 2. P. 686–696.
9. Latitudinal insect body size clines revisited: A critical evaluation of the saw-tooth model / S. Kivela, P. Välimäki, D. Carrasco, et al. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2011.01864x // J. Anim. Ecol. 2011. Vol. 80. No. 6. P. 1184–1195.
10. Modeling sexual differences of body size variation in ground beetles in geographical gradient (The case study in *Pterostichus oblongpunctatus* Fabricius, 1787) / R. A. Sukhodolskaya, A. A. Saveliev, N. L. Ukhova, et al. DOI: 10.30574/gscbps.2020.13.3.0388 // GSC Biological and Pharmaceutical Sciences. 2020. Vol. 13. No. 03. P. 149–161.
11. Modeling sexual differences of body size variation in ground beetles in geographical gradients: a case study of *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) (Coleoptera, Carabidae) / S. Luzyanin, A. Saveliev, N. Ukhova, et al. DOI: 10.3390/life12010112 // Life. 2022. Vol. 12. No. 1. Article No. 112.

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОПЛАСТИКА В МЫШЦАХ И ЖАБРАХ ЛЕЩА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Д. А. Мармылева¹, К. А. Шевчук^{1,2}, Н. Ю. Степанова¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет,
г. Казань, Россия, pilulik2001@mail.ru,

² Татарский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТатарстанНИРО»),
г. Казань, Россия

Приводятся данные о содержании микропластика в мышцах и жабрах леща, обитающего в верхней и приплотинной части Куйбышевского водохранилища. Содержание в мышцах составило 3,3–3,6 ед./г, в жабрах 23–36 ед./экз. с преобладанием нитей и гранул, что превышает значения для леща, обитающего в Мёшинском заливе Куйбышевского водохранилища.

Ключевые слова: микропластик, лещ (*Abramis brama*), Куйбышевское водохранилище.

Благодаря незаменимости использования пластика в современной жизни, его производство и потребление ежегодно растет. Одновременно с этим неудовлетворительное управление отходами приводит к поступлению пластикового мусора в реки, моря и океаны. Фрагментация более крупного пластикового мусора, а также сброс сточных вод, содержащих пластиковые частицы, приводит к накоплению микропластика (МП) в водных объектах и к его поглощению широким спектром гидробионтов [1].

МП поступает в организмы рыб, птиц, беспозвоночных и морских млекопитающих, накапливается в тканях и органах и оказывает неблагоприятное воздействие, такие как, снижение роста, плодовитости и выживаемости. Важно также, что накопление МП в рыбе представляет риск для человека, что связано не только с поступлением МП в организм человека, но и со способностью МП выступать сорбентом и переносчиком различных токсичных веществ и патогенных микроорганизмов [2].

Целью данной работы было оценить содержание МП в жабрах и мышцах наиболее массового промыслового вида леща (*Abramis brama*) в верхней и нижней части Куйбышевского водохранилища.

В ходе экспедиционных выездов в 2023 г. осуществляли отлов рыбы сетями с ячеей 36–90 мм. Всего было отобрано 10 экземпляров в верхней части Куйбышевского водохранилища (КВ), ниже Чебоксарской ГЭС и 9 экземпляров рыб в нижней части КВ, выше Тольяттинской ГЭС. Биологические показатели исследованных образцов представлены в таблице 1.

Для выделения МП из жабр и мышц в пробу добавляли 10% раствор КОН из расчета 1:20 и омыляли в течении 48 часов на водяной бани при температуре 60 °С [3]. После этого раствор последовательно отфильтровывали через металлические сита с размером ячеей 1 мм и 100 мкм, промывали 70% этиловым спиртом для удаления жира, осадок высушивали. Частицы МП идентифицировали под микроскопом, размер определяли при помощи окуляр-микрометра.

Таблица 1

**Биологические показатели исследованных рыб
(среднее±стандартное отклонение)**

Место отбора	Масса рыбы, г	Длина рыбы, см	Возраст, лет	Коэффициент упитанности
Верхняя часть	236,6±91,4	28,1±3,8	4,8±1,3	1,0±0,06
Нижняя часть	299,8±86,1	29,8±2,7	4,2±1,0	1,1±0,08

Во всех исследованных экземплярах рыб были обнаружены частицы МП, как в жабрах, так и в мышцах.

Содержание МП в мышцах выявлено в интервале 0,4–11,4 ед./г, разницы между содержанием МП в мышцах рыбы в верхней и нижней части водо-

хранилища не отмечено (табл. 2). В целом это соотносится с литературными данными [2], однако на порядок превышает значения, отмеченные для р. Мёши – притока КВ, где содержание МП в мышцах леща было на уровне $0,2 \pm 0,1$ ед/г [4].

Таблица 2

Содержание и характеристика частиц МП в мышцах и жабрах леща в Куйбышевском водохранилище (КВ)

Показатель	Среднее	Медиана	<u>Мин</u> Макс.	Среднее	Медиана	<u>Мин</u> Макс.
	верхняя часть КВ			нижняя часть КВ		
1	2	3	4	5	6	7
Мышцы						
Всего						
Количество, ед/г	$3,6 \pm 3,4$	2,2	$\frac{1,1}{11,4}$	$3,3 \pm 1,8$	2,3	$\frac{0,4}{5,4}$
Длина, мкм	$527,5 \pm 624,9$	265,5	$\frac{65,6}{4270,2}$	$501,8 \pm 457,1$	345,1	$\frac{55,4}{3544,5}$
Ширина, мкм	$90,5 \pm 92,9$	47,4	$\frac{7,03}{979,8}$	$61,2 \pm 69,9$	30,6	$\frac{4,6}{386,7}$
Фрагменты						
Количество, ед/г	$0,14 \pm 0,05$	0,10	$\frac{0,10}{0,20}$	0	–	–
Длина, мкм	$495,0 \pm 517,8$	262,9	$\frac{99,9}{1349,6}$	0	–	–
Ширина, мкм	$301,9 \pm 327,9$	176,9	$\frac{64,2}{979,8}$	0	–	–
Гранулы						
Количество, ед/г	$1,7 \pm 2,9$	0,2	$\frac{0,1}{8,8}$	$1,6 \pm 1,6$	1,2	$\frac{0,2}{3,9}$
Длина, мкм	$203,9 \pm 72,8$	189,2	$\frac{90,9}{588,3}$	$197,0 \pm 73,4$	188,5	$\frac{71,5}{410,9}$
Ширина, мкм	$151,8 \pm 63,9$	142,6	$\frac{41,4}{463,9}$	$148,1 \pm 73,3$	132,2	$\frac{32,8}{386,7}$
Нити						
Количество, ед/г	$1,9 \pm 0,9$	1,9	$\frac{0,6}{3,3}$	$1,7 \pm 1,4$	1,4	$\frac{0,4}{4,9}$
Длина, мкм	$819,1 \pm 751,1$	522,5	$\frac{65,6}{4270,2}$	$630,9 \pm 489,3$	491,8	$\frac{55,4}{3544,5}$
Ширина, мкм	$27,5 \pm 22,1$	24,1	$\frac{7,0}{233,9}$	$24,4 \pm 11,0$	22,5	$\frac{4,5}{55,4}$

1	2	3	4	5	6	7
Жабры						
Всего						
Количество, ед/экз	22,8±7,1	19,0	$\frac{13,0}{34,0}$	36,3±21,6	29,0	$\frac{6,0}{73,0}$
Длина, мкм	794,7±609,0	627,4	$\frac{114,3}{3495,5}$	705,9±809,2	377,0	$\frac{94,9}{5546,5}$
Ширина, мкм	60,9±94,9	18,9	$\frac{4,5}{666,8}$	75,6±72,4	35,3	$\frac{6,9}{456,8}$
Фрагменты						
Количество, ед/экз	1,0±0,7	1,0	$\frac{0}{2,0}$	0	—	—
Длина, мкм	966,8±794,1	819,1	$\frac{279,1}{2244,9}$	0	—	—
Ширина, мкм	417,5±241,9	504,3	$\frac{131,8}{666,8}$	0	—	—
Гранулы						
Количество, ед/экз	4,9±5,3	2,0	$\frac{1,0}{14,0}$	17,2±11,4	19,0	$\frac{3,0}{32,0}$
Длина, мкм	308,3±117,1	290,1	$\frac{175,3}{776,3}$	229,8±72,5	221,6	$\frac{127,4}{649,9}$
Ширина, мкм	177,4±61,5	173,6	$\frac{9,3}{336,3}$	156,7±56,4	147,9	$\frac{16,9}{456,8}$
Нити						
Количество, ед/экз	16,9±3,7	16,5	$\frac{12,0}{24,0}$	19,1±10,9	15,0	$\frac{6,0}{41,0}$
Длина, мкм	916,3±618,7	740,2	$\frac{114,3}{3495,5}$	991,1±909,9	705,8	$\frac{94,9}{5546,5}$
Ширина, мкм	20, 1±16,0	16,9	$\frac{4,5}{132,9}$	27,1±13,1	24,9	$\frac{6,9}{96, 3}$

Примечание: прочерк означает отсутствие данных.

Основной вклад в общее количество частиц в равной степени вносили гранулы и нити, размер которых был несколько меньше в мышцах рыбы в нижней части КВ.

Разница в содержании МП в жабрах рыбы, обитающей в верхней и нижней части водохранилища, более заметна. Общее количество частиц в жабрах рыбы в приплотинной части в 1,6 раз больше. Сравнение с данными, полученными ранее для леща, обитающего в устье р. Мёши, показало, что содержание МП в жабрах рыбы КВ в 1,4–2,0 раза выше [5].

Соотношение МП разной формы также отличается: в верхней части 73% составили нити против 53% в нижней. Содержание гранул было выше в нижней части (47% против 21%), где фрагменты отсутствовали полностью.

В жабрах преобладали нити длиной более 500 мкм, их вклад составил 65% в рыбе в нижней и 76% в верхней части водохранилища. В мышцах вклад коротких нитей составил 48–50% от общего количества нитей.

В заключении можно отметить, что накопление МП в жабрах рыб, обитающих в нижней части Куйбышевского водохранилища, было выше по сравнению с верхней частью, разницы в содержании МП в мышцах рыб исследованных участков не выявлено. Количество МП было выше по сравнению с рыбой, обитающей в Мёшинском заливе Куйбышевского водохранилища в 1,4–2 раза, но укладывается в широкий диапазон значений, отмеченных в литературе [6].

Библиографический список

1. Daniel D. B., Ashraf P. M., Thomas S. N. Microplastics in the edible and inedible tissues of pelagic fishes sold for human consumption in Kerala, India. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115365 // Environ. Pollut. 2020. Vol. 266. Article No. 115365.
2. Microplastics in different tissues of a commonly consumed fish, *Scomberomorus guttatus*, from a large subtropical estuary: accumulation, characterization, and contamination assessment / M. B. Hossain, F. H. Pingki, M. A. S. Azad, et al. DOI: 10.3390/biology 12111422 // Biology. 2023. Vol. 12. Article No. 1422.
3. 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.
4. 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.
5. Халиуллин М. Р., Шевчук К. А., Степанова Н. Ю. Сезонное распределение микропластика в жабрах и кишечном тракте леща *Abramis brama* в Мёшинском заливе Куйбышевского водохранилища // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 кн. Кн. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 331–336.
6. 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.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТА ЗАЙЦА-БЕЛЯКА (*LEPUS TIMIDUS* L., 1758) ПО МАССЕ ХРУСТАЛИКА

О. В. Масленникова

*Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, olgamaslen@yandex.ru*

В статье представлены данные апробации метода определения возраста зайца-беляка по массе хрусталика глаза, предложенную европейскими учеными. Данная методика в России не использовалась. Она предполагает достаточно точно выделить сеголетков зайца и взрослых особей. Нам удалось не только разделить всех зайцев на 2 группы по массе хрусталиков, но и выделить сеголетков разных пометов. Соотношение взрослых и сеголетков составило соответственно 30% и 70%.

Ключевые слова: методика, возраст, заяц-беляк, хрусталик глаза, масса.

У зайцеобразных не только резцы, но и все щечные зубы не имеют настоящих корней и растут всю жизнь, поэтому они непригодны для определения возраста. Годовые слои видны в нижней челюсти на поперечных окрашенных срезах [1]. До года возраст зайца-беляка можно определять по костям конечностей и костям таза [2]. Охотники чаще определяют возраст по массе туши, хотя и здесь возможны ошибки, т. к. у зайца-беляка достаточно хорошо выражен половой диморфизм, который отражается в массе животного.

Только для зайцеобразных и мелких грызунов метод определения возраста по массе хрусталика признан превосходящим другие, более простые [3]. В доступной литературе мы не нашли данных по применению данной методики в России.

Цель нашего исследования – опробовать метод определения возраста зайца-беляка по массе хрусталика глаза.

Методика по определению возраста зайцеобразных по массе хрусталика, подробно описана в ряде работ иностранных авторов. Глазные яблоки фиксируют как можно скорее после гибели животного в 4% нейтральном растворе формальдегида в дистиллированной воде. Длительность фиксации влияет на окончательный вес хрусталика и потому должна быть стандартной для всей выборки, не менее 1 и не более 40 недель [4]. Фиксатор для проб был приготовлен нами согласно данной методике. По мнению большинства исследователей, этот метод годится лишь для разделения сеголетков и старших в силу существенной индивидуальной изменчивости веса хрусталиков [3].

Исследования были проведены на зайцах-беляках из Тоншаевского района Нижегородской области. Зайцев добывали с помощью гончих собак. Для определения возраста у каждого из 10 добытых зайцев нами были извлечены глаза с помощью медицинского скальпеля в первые часы после добычи зверьков. Извлеченные глаза сразу фиксировались по отдельности в стеклянной емкости, объемом 100 мл, на которой указывался порядковый номер добытого зайца. Все данные были занесены в журнал (порядковый номер, дата и место добычи, пол и промеры). С помощью электронных весов марки VIBRA AJH-420CE, находили массу хрусталиков глаз и проводили взвешивание че-



Рис. Глазные яблоки и извлеченные хрусталики (фото автора)

рез определенные промежутки времени. Глазные яблоки и извлеченные из них хрусталики представлены на рисунке.

Фиксированные хрусталики, не промывая, осторожно препарируют и высушивают до постоянного веса при 60–80 °С. Время высушивания зависит от размеров хрусталика. Высушивание уменьшает ошибку оценки возраста по весу хрусталика, но уменьшение незначительное и не оправдывает дополнительные затраты на

процедуру высушивания [4]. В связи с этим мы для определения возраста использовали сырой вес фиксированных хрусталиков зайца-беляка. Для определения возраста мы оперировали средними значениями массы хрусталиков ($M \pm m$) за весь период исследования.

Четыре раза произвели взвешивание фиксированных хрусталиков на электронных весах. Первое взвешивание было произведено сразу после вскрытия фиксированных глаз, три последующих – с интервалом в месяц. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Весовые данные хрусталиков зайцев-беляков

№ зайца-беляка	Масса хрусталиков г / дата взвешивания							
	31.01.2014		27.02.2014		1.04.2014		19.05.2014	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0,417	0,410	0,415	0,406	0,411	0,405	0,398	0,395
2	0,492	0,450	0,480	0,432	0,477	0,442	0,468	0,433
3	0,406	0,402	0,411	0,388	0,400	0,384	0,395	0,376
4	0,414	0,405	0,412	0,403	0,415	0,400	0,406	0,396
5	0,575	0,570	0,565	0,511	0,554	0,551	0,558	0,544
6	0,490	0,408	0,490	0,406	0,435	0,402	0,426	0,400
7	0,435	0,417	0,428	0,412	0,414	0,409	0,403	0,400
8	0,607	0,593	0,595	0,585	0,586	0,579	0,572	0,556
9	0,432	–	0,431	–	0,430	–	0,416	–
10	0,578	0,516	0,523	0,495	0,525	0,505	0,517	0,493

Примечание: прочерки означают отсутствие, ввиду повреждения, одного хрусталика зайца-беляка.

Из данных таблицы 1, видно, что с увеличением продолжительности фиксации хрусталиков, их масса уменьшается пропорционально времени фиксации. Используя средние значения массы хрусталиков, и проводя математическую обработку данных, мы получим данные, которые отражены в таблице 2.

Таблица 2

Средние значения массы фиксированных хрусталиков зайца-беляка

№, пол зайца-беляка	Масса хрусталиков г / дата взвешивания				
	31.01.2014	27.02.2014	1.04.2014	19.05.2014	$M \pm m$
1 ♂	0,4135	0,4105	0,408	0,3965	0,407±0,003
2 ♀	0,471	0,456	0,4595	0,4505	0,459±0,008
3 ♀	0,404	0,3995	0,392	0,3855	0,408±0,012
4 ♂	0,4095	0,4075	0,4075	0,401	0,406±0,002
5 ♂	0,5752	0,538	0,5525	0,551	0,554±0,007
6 ♀	0,449	0,448	0,4185	0,413	0,432±0,013
7 ♂	0,4256	0,42	0,4115	0,4015	0,415±0,004
8 ♂	0,6	0,59	0,5852	0,564	0,584±0,005
9 ♀	0,432	0,431	0,430	0,416	0,427±0,004
10 ♀	0,547	0,509	0,515	0,505	0,519±0,009

При анализе таблицы 2 следует, что у трех зайцев средняя масса хрусталиков более 500 мг (554, 584, 519), в среднем $0,552 \pm 0,03$ г. У остальных средняя масса хрусталиков менее 500 мг но более 400 мг., то есть 3 из 10 зайцев-беяков были взрослыми.

У сеголетков (их семь) средняя масса хрусталиков варьировала от 406 до 459 мг в среднем $0,422 \pm 0,02$ г. Можно предположить, что из них были сеголетки разных пометов, заяц № 2 (самка) имеющая среднюю массу хрусталиков 459 мг была из первого весеннего помета (настовик). Зайцы, имеющие среднюю массу хрусталика более 400 мг (406, 407, 408), были из последнего помета (листопадники), а остальные 3 – летние (колосовики). Но для более точных выводов требуются дальнейшие исследования. Процентное соотношение взрослых и молодых 30% и 70%.

Таким образом, данный метод определения возраста зайца-беляка по массе хрусталика глаза довольно точно позволяет определить сеголетков разных пометов и выявить взрослых особей.

Выражаю благодарность за представленный материал – хрусталики глаза зайца-беляка, биологу-охотоведу Александру Георгиевичу Смирнову.

Библиографический список

1. Iason G. R. Age determination of mountain hares (*Lepus timidus*): A rapid method and when to use it // J. Appl. Ecology. 1988. Vol. 25. No. 2. P. 389–395.
2. Егоров О. В., Попов М. В., Лабутин Ю. В. К методике определения возраста зайца-беляка *Lepus timidus gihganus* // Доклады на восьмой науч. сессии Якут. филиала АН СССР. Якутск : Кн. изд-во, 1957. С. 124–134.
3. Клевезаль Г. А. Принципы и методы определения возраста у млекопитающих. М. : Т-во научных изданий КМК, 2007. 283 с.
4. Friend M. Some observations regarding eye-lens weight as a criterion of age in animals // N. Y. Fish and Game J. 1967. Vol. 14. No. 2. P. 152–165.

ФАУНА КРОВОСОСУЩИХ КОМАРОВ (DIPTERA: CULICIDAE) ГОРОДА ПСКОВА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

З. Р. Новикова, В. В. Агасой

*Псковский государственный университет,
г. Псков, Россия, zlatka.novikova.2000@mail.ru*

В статье представлены сведения о видовом составе и частоте встречаемости кровососущих комаров г. Пскова и его окрестностей. Во всех местах сбора отмечено три часто встречающихся вида комаров. Установлено наличие двух доминирующих видов и одного редко встречающегося.

Ключевые слова: кровососущие комары, Culicidae, городская среда, фауна, антропогенное воздействие.

Кровососущие комары (Diptera: Culicidae) являются важным компонентом городских экосистем и оказывают значительное влияние на здоровье населения и комфортность городской среды. При этом комары выступают переносчиками целого ряда возбудителей протозойных, бактериальных и вирусных заболеваний человека и животных [1]. В условиях изменяющегося климата и активизации трансграничных миграций, риск распространения таких заболеваний возрастает, что требует постоянного мониторинга видового состава и численности комаров в различных регионах России [2], в том числе и в Псковской области.

Псковская область, расположенная в Северо-Западном регионе России, характеризуется высокой обводнёностью, что создаёт благоприятные условия для размножения комаров. По территории г. Пскова протекают р. Великая, р. Пскова, р. Мирожка, р. Милёвка и часто в понижениях рельефа формируются многочисленные временные водоёмы, которые могут служить местами выплода комаров. В связи с этим, изучение фауны кровососущих комаров в городах, таких как Псков, приобретает особую актуальность. Антропогенное воздействие на окружающую среду, в том числе создание искусственных водоемов, нарушение гидрологического режима и урбанизация, могут оказывать существенное влияние на видовой состав и численность комаров, а также на их роль в передаче возбудителей заболеваний.

На территории Российской Федерации проводятся систематические исследования фауны и экологии комаров, направленные на оценку эпидемиологического риска и разработку эффективных мер контроля. Так, в работе Халина А. В. и Айбулатова С. В. [3] представлены данные о видовом составе комаров северо-запада России, включая Псковскую область. Также мониторинговые исследования видового состава и частоты встречаемости комаров в Псковской области проводились в 1983–1985 гг. на территории Себежского района [4]. Критический обзор фауны комаров Псковской области представлен в монографии Л. Ф. Антиповой и Т. В. Байковой [5]. Однако, несмотря на наличие исследований фауны комаров Псковской области, данных о видовом составе и численности кровососущих комаров в г. Пскове, с учетом особенностей городской среды и изменений климата, остаются недостаточными и нуждаются в уточнении. В связи с вышеизложенным целью работы стало изучение видового состава и структуры фауны кровососущих комаров города Пскова и его окрестностей.

Сборы имаго комаров проводили подекадно с 20.04.2024 до 20.09.2024 г. на территории г. Пскова и в его окрестностях. Материал собирали вблизи ул. Юности, д. 1 (57°50'28.0"N 28°20'26.8"E), ул. Алтаева, д. 9 (57°49'43.9"N 28°21'20.3"E), д. Митрохово (57°50'40.4"N 28°20'13.1"E), д. Сигово-Медведово (57°50'30.1"N 28°21'32.7"E), на территории Милевского парка (57°49'40.5"N 28°21'37.6"E), Финского парка (57°49'25.0"N 28°20'41.0"E) и в Корытовском лесопарке (57°46'58.8"N 28°20'07.9"E) (рис. 1). Отлов комаров выполняли с применением стандартных методик [6]. Сбор имаго проводили в течение 1 ч

«на себе» с помощью эксгаустера или модернизированного нами специального пылесоса для отлова насекомых (рис. 2). Всего было собрано 1415 комаров.

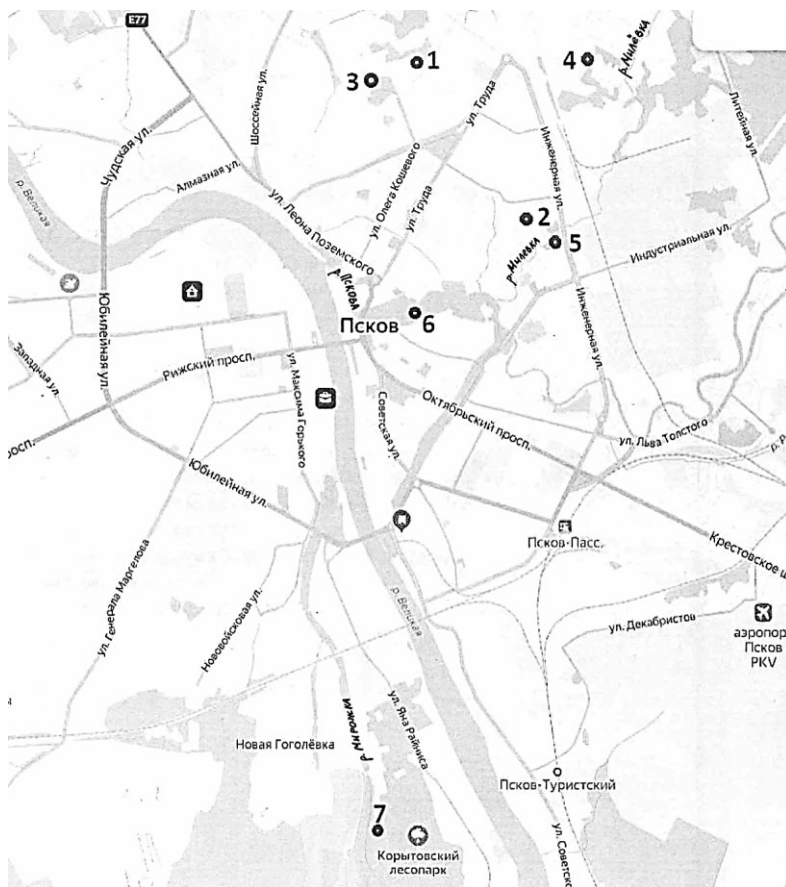


Рис. 1. Карта-схема расположения мест сбора кровососущих комаров в г. Пскове и его окрестностях

Видовую диагностику собранных самок комаров проводили с использованием монографии Е. В. Панюковой и Т. С. Остроушко [7] и определителя насекомых Европейской части СССР [8]. Видовые названия кровососущих комаров даны по Е. В. Панюковой и Т. С. Остроушко [7]. Типы ареалов со-



Рис. 2. Пылесос для ловли насекомых

бранных комаров указаны по схеме предложенной К. Б. Городковым [9]. Для оценки частоты встречаемости комаров использовали процентного соотношения числа встречаемости имаго [10]. Согласно данной градации виды, составляющие в сборах более 10% принадлежат к массовым, 1–10% – обычные, 1–0,1% – редкие, и менее 0,1% единичные виды.

В результате проведённых исследований на территории г. Пскова и в его окрестностях было отмечено 11 видов кровососущих комаров, принадлежащих к 2 родам (табл.). При этом 6 видов с голарктическим темперантным ареалом, 3 вида с

голарктическим полизональным и по 1 виду с голарктическим полизональным и евробайкальским темперантным. Наибольшее количество видов было отмечено вблизи д. Сигово-Медведово (9 видов), наименьшее – вблизи ул. Алтаева (5 видов). При этом в сборах из этих мест преобладали два вида – *Aedes cantans* и *A. cinereus*, что обусловлено наличием в этих местах как более чистых временных водоемов с растительностью, так и более загрязнённые.

Таблица

Видовой состав и частота встречаемости кровососущих комаров г. Пскова и его окрестностей

Вид	Места сборов комаров													
	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4		№ 5		№ 6		№ 7	
	%	ЧВ	%	ЧВ	%	ЧВ	%	ЧВ	%	ЧВ	%	ЧВ	%	ЧВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Голарктический темперантный вид														
<i>Aedes cataphylla</i> Dyar, 1916	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	рд.
<i>A. communis</i> De Geer, 1776	9,8	об.	9,2	об.	15,2	мс.	10,2	мс.	13,4	мс.	–	–	19,2	мс.
<i>A. dianiaus</i> Howard, Dyar et Knad, 1917	–	–	11,7	мс.	7,9	об.	4,6	об.	1,9	об.	1,1	об.	17,9	мс.
<i>A. excrucians</i> (Walker, 1856)	13,1	мс.	1,8	об.	1,7	об.	–	–	1,6	об.	5,4	об.	1,8	об.
<i>A. riparius</i> Dyar et Knad, 1907	–	–	–	–	–	–	1,1	об.	–	–	–	–	–	–
<i>Culex modestus</i> Ficalbi, 1889	–	–	27,6	мс.	–	–	–	–	0,3	рд.	–	–	–	–
Голарктический полизональный вид														
<i>Aedes cinereus</i> Mg., 1818	42,6	мс.	24,5	мс.	46,9	мс.	18,2	мс.	41,7	мс.	2,2	об.	6,6	об.
<i>A. vexans</i> Mg., 1830	–	–	1,8	об.	4,8	об.	–	–	4,8	об.	0,5	рд.	1,2	об.
<i>Culex pipiens</i> L., 1758	4,9	об.	1,2	об.	1,0	об.	1,1	об.	0,3	рд.	66,7	мс.	11,4	мс.
Космополитный полизональный вид														
<i>Culex pipiens</i> L., 1758	–	–	–	–	–	–	18,8	мс.	0,8	рд.	–	–	–	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Евро-байкальский темпериальный вид														
<i>Aedes cantans</i> (Mg, 1818)	29,5	мс.	22,1	мс.	22,4	мс.	46,0	мс.	35,2	мс.	24,2	мс.	41,3	мс.
Количество видов	5		8		7		7		9		6		8	

Примечание: места сборов комаров: № 1 – вблизи ул. Алтаева д. 9, № 2 – Корятовский лесопарк, № 3 – Милевский парк, № 4 – вблизи д. Митрохово, № 5 – д. Силово-Медведово, № 6 – Финский парк, № 7 – вблизи ул. Юности д. 1; % – процентное соотношение числа встречаемости имаго, чв. – частота встречаемости, мс. – массовый вид, об. – обычный вид, рд. – редкий вид, ед. – единичный вид, прочерк означает отсутствие вида.

В большинстве мест отбора к наиболее часто встречающимся принадлежат 5 видов – *Aedes cantans*, *A. cinereus*, *A. communis*, *A. diantaeus*, *A. excrucians* и *Culex territans*. Так, *Aedes cantans* отмечен во всех местах сбора как массовый вид с частотой встречаемости от 22,1% до 46%. Это вид относится к синантропным, активно нападает на людей и часто встречается в жилых районах окраин города. Вид *Culex territans* также встречается во всех исследованных точках, но с наибольшей частотой встречаемости (66,67%) в Финском парке. Преобладание вида *Culex territans* в Финском парке связано с тем, что по территории парка протекает р. Пскова с медленным течением и заводами, где обитают лягушки, на которых питаются самки комаров этого вида. Наличие на исследованной нами территории водоёмов, пригодных для обитания амфибий, обуславливает встречаемость комаров вида *Culex territans*. Вид *Aedes cinereus* является массовым с частотой встречаемости от 18,2 до 46,9% во всех местах сбора, кроме Финского парка и окрестностей ул. Юности. *Aedes communis* встречается в большинстве мест отбора, кроме Финского парка, но его процент от общего числа комаров ниже, чем у *Aedes cantans*. Также, во всех исследованных местах, кроме окрестностей ул. Алтаева, встречается в меньшем количестве, чем предыдущие виды *Aedes diantaeus*. Только в окрестностях ул. Юность и Корятовском лесопарке *A. diantaeus* отмечен как массовый вид, в других местах это обычный вид с частотой встречаемости от 1,1 до 7,9%. Вид *Aedes excrucians* не отмечен только в окрестностях д. Митрохово. В большинстве мест сбора *A. excrucians* принадлежит к обычным видам, но в окрестностях ул. Алтаева отмечен как массовый вид. Вид *Aedes vexans* чаще отмечен как обычный вид, но встречается только в 5 местах сбора.

Остальные 4 вида комаров (*Aedes cataphylla*, *A. riparius*, *Culex modestus*, *C. pipiens*) были отмечены лишь в одном или нескольких местах сбора. Так, *Culex modestus* и *C. pipiens* зарегистрированы в двух местах отбора. При этом *Culex modestus* относится к массовым видам в Корятовском лесопарке, *C. pipiens* – в окрестностях д. Митрохово, что может свидетельствовать о наличии загрязнённых водоёмов, сточных вод, сильного антропогенного

влияния и о неблагоприятной экологической ситуации в этих местах. Виды *Aedes cataphylla* и *A. riparius* были отмечены лишь в одном месте. Вид *Aedes cataphylla* относится к редко встречающемуся виду, обнаруженному в окрестностях ул. Юности, где в весенний период образуются многочисленные лужи от таяния снега. Вид *Aedes riparius* отмечен как обычный вид в окрестностях д. Митрохово, где имеются болотистые участки, в которых могут развиваться личинки этих комаров.

Результаты исследований показали, что из 11 видов кровососущих комаров, зарегистрированных на территории г. Пскова и в его окрестностях, к доминирующим видам относятся *Aedes cantans* и *Aedes cinereus*. Различия в видовом составе и численности в различных местах сборов могут быть связаны с различными факторами окружающей среды (типом водоёма для развития преимагинальных фаз комаров, наличием прокормителя, климатическими условиями и т. д.). Помимо этого, 4 вида кровососущих комаров относятся к потенциальным переносчикам туляремии. Поэтому представленная работа является предварительным результатом и предполагает проведение дальнейших исследований, направленных на изучение влияния факторов окружающей среды на видовой состав и численность комаров, разработку стратегий контроля численности комаров и оценку риска передачи комарами различных заболеваний в г. Пскове и его окрестностях.

Библиографический список

1. Львов Д. К. Экология вирусов и комары. М. : Медицина, 1983. 264 с.
2. Контроль численности кровососущих комаров рода *Culex*, места выплода которых находятся в населенных пунктах : метод. указания. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 39 с.
3. Халин А. В., Айбулатов С. В. Фауна кровососущих насекомых комплекса гнуса (Diptera) Северо-Западного региона России. III. Кровососущие комары (Culicidae). DOI: 10.1134/S0031184719040045 // Паразитология. 2019. Т. 53. № 4. С. 307–341.
4. Медведев С. Г., Матов А. Ю. Фауна клещей и кровососущих насекомых юго-запада Псковской области // Природа Псковского края. 1999. Выпуск 8. С. 3–13.
5. Антипова Л. Ф., Байкова Т. В. Насекомые Псковской области. Псков : ПГПИ, 2002. 334 с.
6. Халин А. В., Айбулатов С. В., Пржиборо А. А. Методы сбора двукрылых насекомых комплекса гнуса (Diptera: Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae). DOI: 10.31857/S0031184721020058 // Паразитология. 2021. Т. 55. № 2. С. 134–173.
7. Панюкова Е. В., Остроушко Т.С. Кровососущие комары (Diptera: Culicidae) // Фауна европейского северо-востока России. Т. 11. Ч. 2. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2017. 209 с.
8. Двукрылые // Определитель насекомых Европейской части СССР / под общ. ред. Г. Я. Бей-Биенко. Т. V. Ч. 1. Л. : Наука, 1969. 807 с.
9. Городков К. Б. Типы ареалов насекомых тундры и лесных зон Европейской части СССР // Ареалы насекомых Европейской части СССР. Л. : Наука, 1984. С. 3–20.
10. Панюкова Е. В. Кровососущие комары (Diptera, Culicidae) Новгородской области (Фауна и экология) : спец. 03.00.16 : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2005. 24 с.

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИЧИНОК *TRICHINELLA PSEUDOSPIRALIS* В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ И СВИНЕЙ

А. И. Русских¹, О. Б. Жданова^{1,2}, А. В. Успенский¹, Д. В. Рассохин²

¹ ВНИИП – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН,

г. Москва, Россия, russkikh-arina17@yandex.ru,

² ФБГОУ ВО Вят ГАТУ, г. Киров, Россия, oliabio@yandex.ru

В статье представлены данные выживаемости личинок *Trichinella pseudospiralis* при экспериментальном заражении лабораторных животных и свиней. Продемонстрировано распределение гельминтов в некоторых группах мышечной ткани животных, а также результаты подвижности личинок после размещения в различных температурных условиях.

Ключевые слова: трихинеллез, компрессорная трихинеллоскопия, диагностика, лабораторные животные, свиньи.

После обнаружения *Trichinella pseudospiralis* Б. Л. Гаркави, экспериментальный трихинеллез успешно моделировался у многих видов млекопитающих. Компрессорная трихинеллоскопия (КТ) стала основным способом оценки распределения личинок в мышцах при этом нематодозе. Причиной тому являлась вероятность полного разрушения личинок при использовании метода пептолиза (переваривания в искусственном желудочном соке). Тем не менее, недостатком КТ является сложность обнаружения личинок при слабой инвазии из-за их плохой визуализации. В таких случаях, личинки *Trichinella pseudospiralis* выявляются только методом пептолиза. Таким образом, принимая во внимание указанные ограничения, а также отсутствие капсул у данного вида трихинелл, оптимизация параметров КТ для исследования мышечной ткани представляется важной задачей [1–5].

Была предпринята попытка исследования в КТ проб мышц млекопитающих, выдержанных при различных температурах. Проведено исследование выживаемости личинок *Trichinella pseudospiralis*, выделенных от амурского кота (*Prionailurus bengalensis euptilurus*) в мышцах лабораторных животных (крыс и морских свинок) и поросят.

Вид гельминта, *Trichinella pseudospiralis*, подтвержден генетическими исследованиями эталонного штамма и пассировался на курах-несушках, в соответствии санитарными правилами СанПиН 3.3686-21 «Безопасность работы с микроорганизмами III–IV групп патогенности (опасности) и возбудителями паразитарных болезней» [6–10]. Были инвазированы крысы (6 голов), морские свинки (4 головы) и свиньи (3 головы). В течение 4,5 месяцев животные содержались в стандартных условиях и получали рекомендованные рационы кормления, а далее подвергались эвтаназии, после чего отбирались мышцы головы, диафрагмы и межреберные мышцы.

После подсчета количества личинок в конкретных образцах и определения их жизнеспособности по наличию подвижности в срезе (табл.), проводили фасовку проб и размещение в различных температурных условиях (-18°, 0-2°, +10–15°, +20–25°). Далее определяли их подвижность через 1, 2, 4, 6, 12, 24, 36, 48 ч в КТ при постукивании по трихинеллоскопу. В результате установлено, что в течение 1, 2, 4-х, 6-ти и 12-ти ч при всех температурных режимах личинки сохраняли подвижность.

Таблица

**Распределение личинок *T. pseudospiralis*
при экспериментальном трихинеллезе у морских свинок, крыс и поросят**

Группа мышц	Среднее количество личинок в срезе		
	у морских свинок	у крыс	у поросят
Язык	33,6±0,5	23,6±1,5	3,10±0,25
Жевательные мышцы	44,2±0,3	24,2±1,5	2,50±0,10
Мышцы шеи	41,1±0,05	11,1±2,5	–
Проксимальная группа мышц ГК	31,5±0,05	11,5±2,5	–
Дистальная группа мышц ГК	42,3±1,1	22,3±1,1	–
Диафрагма	38,5±0,5	22,5±4,3	4,3±0,30
Межреберные мышцы	38,6±0,1	21,5±0,05	2,6±0,25
Поясничные мышцы	29,5±0,1	21,8±0,05	–
Мышцы хвоста	38,4±0,5	21,9±0,3	–
Проксимальная группа мышц ЗК	28,1±0,1	23,1±0,05	–
Дистальная группа мышц ЗК	38,2±0,05	28,2±0,05	–

Примечание: ГК – грудная конечность; ЗК – задняя конечность; прочерк означает – не исследовались.

Сохранность личинок *Trichinella pseudospiralis* в мышечной ткани лабораторных животных и свиней демонстрирует различия при -18 °С. При положительных температурах (0–2 °С) жизнеспособность личинок сохранялась на протяжении всего наблюдения, в отличие от температур выше 20 °С, где отмечалась их гибель в свином мясе. Интересно, что в мышечной ткани свиней *T. pseudospiralis* хорошо выживали при отрицательных температурах, но при +20–25 °С личинки оставались живыми в мышцах грызунов, тогда как в свиных мышцах живых особей не было обнаружено.

Вероятно, у *T. pseudospiralis*, менее развиты защитные механизмы против иммунного ответа хозяина и посмертных процессов. Отсутствие капсулы, возможно, усиливает воздействие протеолитических ферментов мяса на личинки, что объясняет их быструю гибель при высоких температурах у свиней. Важно отметить, бескапсульные личинки также проявляют большую чувствительность к дезинфицирующим средствам и другим внешним факторам.

Полученные данные указывает на возможные различия в иммунном ответе или составе мышечной ткани, влияющие на выживаемость паразита. А также результаты подчеркивают важность оптимизации методов диагностики трихинеллеза, особенно при слабой инвазии, и учета температурных факторов при оценке безопасности мясной продукции.

Библиографический список

1. Бритов В. А. Гельминты Дальнего Востока. Хабаровск, 1973. С. 19–22.
2. Влияние возрастающих концентраций азида натрия на аборигенную микрофлору полевых почв / А. Р. Гайфутдинова, Л. И. Домрачева, Н. В. Дроздова и др. // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы X Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров, 4–5 декабря 2012 г.). Кн. 2. Киров : ООО «Лобань», 2012. С. 138–141.
3. Распространенность *T. spiralis* и некоторые особенности профилактики трихинеллеза в Кировской области / О. Б. Жданова, С. П. Ашихмин, И. И. Окулова, З. Н. Бельтюкова. DOI: 10.35627/2219-5238/2017-286-1-46-49 // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. 2017. № 1 (286). С. 46–49.
4. Мартусевич А. К., Жданова О. Б. Информативность исследования свободного кристаллообразования при зоонозах на модели лабораторных животных // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2006. № 1 (22). С. 30–39.
5. 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.
6. Одоевская И. М., Букина Л. А. Брюхоногие моллюски и их роль в передаче трихинеллезной инвазии // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 2014. № 3. С. 20–22.
7. Одоевская И. М. Значение птиц в диссеминации личинок *Trichinella* spp. в прибрежных и водных биоценозах // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 2011. № 1. С. 12–16.
8. Асатрян А. М. Биологические и морфофункциональные особенности *Trichinella spiralis* Owen, 1835 и *Trichinella pseudospiralis* Garkavi, 1972 у различных видов хозяев : спец. 03.00.19 : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1998. 38 с.
9. Трихинеллоскопия туш домашних и диких животных / А. В. Успенский, О. Б. Жданова, О. Н. Андреянов и др. DOI: 10.31016/1998-8435-2021-15-3 // Российский паразитологический журнал. 2021. Т. 15. № 3. С. 71–75.
10. Гаркави Б. Л. Трихинеллез, вызываемый *Trichinella pseudospiralis* (морфология и биология возбудителя, эпизоотология и эпидемиология, диагностика, меры борьбы и профилактики) // Российский паразитологический журнал. 2007. № 2. С. 35–116.

О ВЛИЯНИИ СРЕДООБРАЗУЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БОБРОВ НА ДРЕВОСТОЙ

А. В. Рябова¹, В. М. Рябов²

¹ Кировский лицей естественных наук, г. Киров, Россия,
annushka.rv@gmail.com,

² Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
ryapitschi@yandex.ru

Приводятся данные наблюдений за гибелью древостоя в бобровом поселении с неоптимальными условиями обитания в течение трех лет. Оценено количество и объем древесины в зоне затопления. Бобровое поселение исчезло из-за истощения кормовой базы.

Ключевые слова: евразийский (обыкновенный) бобр – *Castor fiber*, бобровое поселение, средообразующая деятельность, плотина, древостой, таксация.

В настоящее время евразийский (обыкновенный) бобр – *Castor fiber* на территории Кировской области реаклиматизированный обычный широко распространенный вид. Официальная численность на конец 2023 г. составляла более 36 тысяч особей [1]. Высокая численность этого вида и его активная средообразующая деятельность зачастую несет значительный экономический ущерб для человека [2]. Одним из негативных последствий такой деятельности является подтопление лесных насаждений с последующим усыханием деревьев. Нами предпринята попытка оценить объемы гибели древостоя на конкретном бобровом поселении, находящемся не в оптимальных условиях обитания.

Исследования влияния средообразующей деятельности бобров на древостой проводили в августе – сентябре 2021 г., ноябре 2022 г., и октябре 2024 г. в окрестностях г. Кирова.

Бобровое поселение было обнаружено в августе 2022 г. в окрестностях микрорайона Радужный г. Кирова на р. Мосалиха (правый приток р. Хлыновка) в 81 квартале Лянгасовского участкового лесничества Паркового лесничества. Средняя глубина реки в месте исследования не превышает полуметра, ширина от 0,7 до 2 м. Окружающий древостой (ельник сложный прирубевой) состоит из ели финской – *Picea ×fennica*, березы повислой – *Betula pendula*, осины – *Populus trtmula*, сосны обыкновенной – *Pinus sylvestris*, пихты сибирской – *Abies sibirica*, (формула древостоя: 6Е2Б1С1Ос+П). Густо развит подлесок из черемухи птичьей – *Padus avium*, ольхи серой – *Alnus incana*. Координаты центра хатки: 58°50'11,8"N 49°61'67,3"E. Длина плотины около 39 м, высота от 0,4 м до 1,4 м. Поселение плотинного типа, подвижное. Класс бонитета первый [3]. По численности поселение среднее (3–5 особей) [4]. За три года наблюдений параметры плотины и численность оставались неизменными. Площадь затопления в 2021 г. составила 1,455 га, однако уже на следующий год площадь водного зеркала сократилась почти в два раза и составляла 0,739 га. Сокращение обусловлено тем, что левый берег реки низкий, заболоченный и часть воды стала уходить через почвенно – торфянистую массу, берег ниже плотины стал практически не проходимым из – за переувлажнения. Условия среды обитания в поселении средние [3]. В качестве лимитирующего фактора выступает отсутствие наличия и доступности в зимний период травянистой растительности, наличие в запасах второстепенных и третьестепенных кормов (ольха серая, береза) и умеренное влияние антропогенного фактора. Уже в первый год наблюдений мы сделали предположение, что данное поселение не сможет долго просуществовать.

Таксация древостоя осуществлялась методом сплошного перечета с использованием массовых таблиц объема стволов по каждой породе [5]. Учитывали только погибшие (усохшие) деревья, произраставшие на затопленном

участке. Не принимали в расчет березу и осину, которые бобры использовали в качестве пищи – поваленные и погрызенные стволы. В 2022 г. и 2024 г. учитывали только деревья с признаками усыхания текущего года (пожелтение и опадание хвои, отсутствие годового прироста, потемнение заболони). Основные количественные показатели подтопленных лесных насаждений представлены в таблице.

Таблица

Количество и объем древесины в зоне затопления

Год	S, га	Количество стволов затопленной древесины, шт.							Объем затопленной древесины, м ³						
		Ель	Береза	Ольха	Осина	Пихта	Сосна	Всего	Ель	Береза	Ольха	Осина	Пихта	Сосна	Всего
2021	1,465	42	24	28	3	–	–	97	8,93	8,11	3,53	1,81	–	–	22,38
2022	0,739	41	22	–	3	2	2	70	21	7	–	4,5	0,9	0,9	34,3
2024	–	11	6	–	–	3	3	23	3,3	2,7	–	–	0,4	0,4	6,8
Итого:		94	52	28	6	5	5	190	33,23	17,81	3,53	6,31	1,3	1,3	63,48

Таким образом, за 3 года существования данного поселения бобров на затопленной площади погибло 190 деревьев, из них 47% составляет ель. Суммарный объем погибшей древесины составил 63,48 м³, из них ель составляет 52%.

Осенью 2024 г. (октябрь – ноябрь) на территории поселения и вверх по течению реки на протяжении 2 км, а также вниз по течению до устья (2,5 км) следов пребывания бобров (отпечатков лап, плотин, свежих погрызов) не было обнаружено. Это еще раз доказывает, что данная семья окончательно покинула эту территорию (акваторию), а новые особи (пара) не поселились из-за истощенной кормовой базы. Предположение о том, что данное поселение не сможет долго существовать подтвердилось. Лес на площади 1,465 га полностью погиб.

Библиографический список

1. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2023 году : региональный доклад / под общей ред. Т. Э. Абашева. Киров, 2024. 191 с.
2. Парфеева П. В., Терещенко О. В. Эколого-экономический ущерб, вызванный деятельностью бобров // Дни науки и инноваций НовГУ : материалы XXVIII науч. конф. преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ. Ч. 2. Великий Новгород : Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2016. С. 153–157.
3. Емкость среды обитания охотничьих зверей и птиц / В. И. Машкин, В. И. Гревцев, В. В. Колесников, В. С. Козловский; под ред. В. И. Машкина. Киров : ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2013. 333 с.
4. Лавров Л. С. Количественный учет речных бобров методом выявления мощности поселения // Методы учета и географического распространения наземных позвоночных. М. : Изд-во Академии наук СССР. С. 148–155.
5. Воробьева Т. С., Анчугова Г. В. Таксация леса и лесоустройство. Екатеринбург, 2015. С. 41.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КЛЕТОК ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КРИОПРОТЕКТОРОВ ПОЛИСАХАРИДНОЙ ПРИРОДЫ

М. И. Сергушкина¹, О. Н. Соломина², А. Н. Худяков²,
Т. В. Полежаева², О. О. Зайцева²,
А. А. Широких³, И. Г. Широких³, Д. В. Попыванов³

¹ Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, maria.kovalkova@mail.ru,

² Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
г. Сыктывкар, Россия, gameta@mail.ru,

³ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, irgenal@mail.ru

В данной работе представлены результаты сравнительного исследования параметров спермы быков голштинской породы, подвергнутой замораживанию до -80 °С и хранению при указанной температуре в течении 7 суток. Для сохранения и повышения устойчивости репродуктивных клеток к условиям низких температур в качестве добавок к криопротекторам были использованы полисахариды некоторых видов базидиальных грибов.

Ключевые слова: полисахариды, криоконсервация, сперматозоиды, базидиальные грибы, *Hericium erinaceus*, *Ganoderma applanatum*, *Lentinula edodes*

В настоящее время широко используют криоконсервирование сперматозоидов при ультранизких температурах (-196 °С) с применением в качестве криопротекторов синтетических сред, в основе которых содержится диметилсульфоксид, глицерин [1] и другие вещества, побочным эффектом которых является снижение фертильности из-за их токсичности. Для снижения окислительного стресса, вызванного криоконсервацией, и для поддержания подвижности сперматозоидов на оптимальном уровне криопротекторные среды дополняются различными добавками [2, 3]. Так же есть исследования, в которых к средам с размороженными сперматозоидами добавляют природные антиоксиданты, которые снижают уровень перекисного окисления липидов, повышая жизнеспособность клеток [4]. Широко известно, что базидиальные грибы обладают выраженным антибактериальным и антиоксидантным действием [5–7], поэтому могут быть перспективными для изучения их в качестве добавок к криоконсервирующим средам.

Целью данного исследования явилось изучение эффективности применения полисахаридов базидиальных грибов разного таксономического положения: *Hericium erinaceus*, *Lentinula edodes*, *Ganoderma applanatum* в технологии криоконсервации спермы быков голштинской породы при -80 °С.

В работе использованы полисахариды, полученные из плодовых тел или культуральной жидкости ксилотрофных базидиальных грибов следующих природных изолятов: *Hericium erinaceus* (Russulales: Hericiaceae) BP16 (регистрационный номер EU784264.1 в NSBI), *Ganoderma applanatum* (Polyporales: Ganodermataceae) GA (ON130353.1 в NSBI), *Lentinula edodes* (штамм LE).

Мицелиальную культуру *Hericium erinaceus* (*H. erinaceus*) выращивали на суслоагаре (пивное сусло, разведённое водой до 4° по шкале Баллинга). Посевной мицелий – на стерильном зерне овса при 28 °С. Для получения плодовых тел гриба использовали субстрат из соломы, зерна и дубовых опилок, взятых в объёмном соотношении 6:3:1. В подготовленный автоклавированием (1 атм, 30 мин) субстрат асептически вносили посевной зерновой мицелий в количестве 5% от массы субстрата грибного штамма. Ёмкости с засеянным субстратом инкубировали при комнатной температуре (20±1 °С) до появления плодовых тел. После сбора плодовые тела высушивали при 60 °С для сохранения ценных свойств. Для получения полисахаридной фракции сухую биомассу гриба измельчали, заливали горячей дистиллированной водой (70 °С) и через 8 ч осаждали полисахариды добавлением 96% этанола (1:4, V/V). Полученный осадок отделяли центрифугированием (13000 об./мин, в течение 40 мин), растворяли в дистиллированной воде (1:1, V/V), высушивали на воздухе.

Полисахариды гриба *Ganoderma applanatum* (*G. applanatum*) и *Lentinula edodes* (*L. edodes*) получали из культуральной жидкости. Для этого изоляты выращивали в жидкой среде из пивного сусла, разведенного до 4° по Баллингу, при постоянном перемешивании на магнитной мешалке в течение 20 сут. при температуре 25 °С. Для выделения фракции полисахаридов культуральную жидкость отфильтровывали от мицелиальной биомассы и упаривали при 50 °С до постоянного веса.

Сперму собирали у быков-производителей голштинской породы (n = 12; возраст – 2–3 года) на предприятии АО «КировПлем» (Россия). Условия содержания поддерживались оптимальными и одинаковыми для каждого быка. Свежеполученную сперму разбавляли в соотношении 1:5 с разбавителем (вес/объем): 2,75 г ТРИС (AppliChem, Германия), 0,8 г глюкоза (NeoFroxx, Германия), 0,3 г мальтоза (NeoFroxx, Германия), 1,4 лимонная кислота (CDH, Индия), 6 мл глицерин (АО Химреактив, Russia), 20 мл желток куриный, бидистиллированная вода до 100 мл. В опытах с полисахаридными фракциями в данный состав раствора добавляли по 0,25 г полисахаридов *H. erinaceus* / *G. applanatum* / *L. edodes* и также смешивали со спермой в соотношении 1:5, следовательно, конечная концентрация полисахаридов в сперме составила 0,21%. Смесь разливали по полимерным коническим микропробиркам по 0,5 мл и помещали в воздушную среду холодильника ТВЛ-К 050Б (ЗАО «ИнСовт», Россия) +5 °С на 2 ч, после чего переносили в электрический морозильник Vestfrost (Vestfrost, Дания) на -80 °С для хранения. Отогрев осуществляли в водяной ванне при +37 °С через 7 суток.

До охлаждения и после отогрева проводили анализ биологических параметров спермы с помощью системы Аргус-CASA, которая включала фазово-контрастный микроскоп (CX43RF Olympus, Япония), программное обеспечение, цифровую камеру, ПК укомплектованный принадлежностями. Для этого каплю сперматозоидов быков вносили в счетную камеру Маклера (Counting chamber Makler®, Sefi Medical, Israel) и накрывали покровным стеклом.

Подвижность сперматозоидов и показатели кинематики определяли с помощью компьютерного анализа движения сперматозоидов (частота кадров – 60 Гц/сек, количество кадров – 30, минимальный контраст клеток – 15, минимальный размер клетки (пиксель) – 8, интенсивность клеток, пороговая прямолинейность – 80, средний VAP – 25 мкм/с, низкий уровень VAP – 5,0, VSL – 0,05 мкм/с). Вся совокупность зафиксированных клеток делилась по характеру движения на три популяции – прогрессивные, непрогрессивные и неподвижные. В работе рассматриваются показатели кинематики только у прогрессивно подвижных сперматозоидов, как объекта, имеющего практическую ценность. Оценивали следующие показатели: криволинейную скорость VCL (микрон/с), прямолинейную скорость VSL (микрон/с), среднюю скорость пути VAP (микрон/с), среднее угловое смещение MAD (град), линейность LIN (%), перекрестную частоту биений BCF (Гц). При этом использовали не менее 200 сперматозоидов по каждому параметру подвижности из предусмотренных протоколом исследования программы AprycCASA.

Жизнеспособность сперматозоидов определяли при окраске пропидий иодидом. К 1 мл клеточной суспензии в PBS (200 мкл спермы, 800 мкл PBS) добавляли 20 мкл раствора пропидия иодида (100 мкг/мл, Servicebio, Китай) и инкубировали 30 мин при температуре +37 °С. Суспензия клеток спермы была нанесена мазком на стеклянную пластинку и высушена на воздухе. Мазки исследовались с помощью люминесцентного микроскопа Микромед 3 ЛЮМ (Россия) [8, 9].

Оценку целостности ДНК сперматозоидов проводили по методу Martins et al., 2007 с использованием акридинового оранжевого [10] и микроскопа тринокулярного люминесцентного Микромед 3 ЛЮМ (Россия). Для этого на предметном стекле при 37 °С делали мазок. Стёкла высушивали на воздухе с последующим погружением в раствор Карнуа (60% этанола, 30% хлороформа и 10% ледяной уксусной кислоты, 1 г хлорида железа) на 120 мин при комнатной температуре (25 °С) в гистологических банках. Затем предметные стёкла высушивали на воздухе вертикально, обрабатывали буфером (15 ммоль/л $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ и 80 ммоль/л лимонной кислоты; pH 2,5) в течение 10 минут при 75 °С. Далее окрашивали раствором акридинового оранжевого (0,2 мг на мл дистиллированной воды) из расчёта 300 мкл на предметное стекло. Головку сперматозоида оценивали на наличие повреждённой и интактной ДНК под микроскопом (увеличение $\times 400$; возбуждение/барьерный фильтр 490/550 нм). При оранжево-красной флуоресценции ДНК считали

поврежденной, тогда как при зеленой флуоресценции ДНК считали неповрежденной. Подсчет проводили на 100 клеток (%).

Данные были проанализированы на предмет нормальности с использованием теста Шапиро-Уилка. Результаты исследования представлены в виде медианы, 25-го и 75-го центилей (Me, Q1-Q3). Для оценки различий использовали непараметрические критерии Манна-Уитни, считая различия значимыми при $p < 0,05$. Статистический анализ выполнен с использованием программного обеспечения «StatTech ver. 3.1.1».

Установлено, что при смешивании спермы перед охлаждением с разбавителем (ТРИС, глюкоза, мальтоза, лимонная кислота, глицерин, желток куриный, бидистиллированная вода) количество (% Me, Q1-Q3) прогрессивно подвижных сперматозоидов статистически значимо не изменялось. При этом, дополнительное введение в разбавитель любого из трёх используемых в работе типа полисахаридов в концентрации 0,25% также не имело эффекта (табл.). Таким образом, присутствие полисахаридов в среде не влияет на показатель подвижности. После отогрева биоматериала через 7 суток хранения количество прогрессивно подвижных сперматозоидов, замороженных в среде с добавлением полисахаридов были выше (табл.), что указывает на эффективность применения данной группы веществ в составе разбавителя для замораживания спермы.

Таблица

Количество сперматозоидов (%) с разным характером движения после смешивания спермы с разбавителем и разбавителем с полисахаридами *H. erinaceus* / *L. edodes* / *G. applanatum* до замораживания, а также через 7 сут хранения при -80 °С, (Me, Q1-Q3)

Серия	Характер движения		
	прогрессивные подвижные	непрогрессивные подвижные	неподвижные
Сперма	53 (50–62)	25 (24–40)	16 (14–23)
Сперма с разбавителем	52 (50–55)	24 (23–42)	26 (19–27)
Сперма с разбавителем и полисахаридами <i>H. erinaceus</i>	53 (49–70)	29 (18–31)	18 (15–34)
Сперма с разбавителем и полисахаридами <i>L. edodes</i>	49 (49–54)	34 (31–42)	17 (13–20)
Сперма с разбавителем и полисахаридами <i>G. applanatum</i>	50 (45–53)	33 (32–48)	15 (14–23)
Через 7 суток хранения			
Сперма с разбавителем	11 (9–19)	14 (11–17)	75 (73–83)
Сперма с разбавителем и полисахаридами <i>H. erinaceus</i>	25 (21–29)*	9 (9–12)	66 (64–74)
Сперма с разбавителем и полисахаридами <i>L. edodes</i>	18 (15–30)*	16 (12–20)	64 (59–72)*
Сперма с разбавителем и полисахаридами <i>G. applanatum</i>	19 (16–28)*	13 (11–15)	70 (63–74)

Примечание: * – отличие от показателя сперма с разбавителем в данной серии статистически значимо $p < 0,05$.

Установлено, что через 7 суток хранения материала при -80°C в присутствии полисахаридов *H. erinaceus* / *L. edodes* / *G. applanatum* в среде разбавителя после отогрева у популяции прогрессивно подвижных сперматозоидов статистически значимо улучшаются показатели подвижности. Так, при наличии в среде разбавителя полисахаридов, выделенных из *H. erinaceus*, показатели VCL (микрон/с), VSL (микрон/с), VAP (микрон/с), ALH (микрон), BCF (Гц) и WOB (%) были статистически значимо выше ($p < 0,05$), чем в среде одного разбавителя. При наличии в среде разбавителя полисахаридов из *L. edodes* или *G. applanatum* показатели VCL (микрон/с), MAD (град) и LIN (%) также были статистически значимо выше ($p < 0,05$).

При оценке жизнеспособности сперматозоидов после 7 сут хранения при -80°C с помощью окраски пропидий иодидом достоверных различий между контрольной и опытными группами с полисахаридами не выявлено.

Оценка целостности сперматозоидов по методу С. F. Martins и соавт. [10] с использованием акридинового оранжевого выявила достоверно более высокое количество интактных ДНК при хранении репродуктивных клеток с разбавителем, содержащим в своем составе *H. erinaceus*, тогда как при наличии в среде разбавителя полисахаридов из *L. edodes* или *G. applanatum* отличия от контрольной серии не наблюдалось.

Таким образом, в ходе исследования по изучению применения полисахаридов базидиальных грибов *Hericium erinaceus*, *Lentinula edodes*, *Ganoderma applanatum* в составе криопротекторов на репродуктивные клетки выявлено повышение их устойчивости к воздействию отрицательных температур (-80°C) по сравнению с контрольным раствором. Необходимы дальнейшие исследования по изучению криозащитного действия полисахаридов в условиях отрицательных температурах на длительные сроки хранения.

Библиографический список

1. Yeste M. Sperm cryopreservation update: cryodamage, markers, and factors affecting the sperm freezability in pigs. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2015.09.047 // Theriogenology. 2016. Vol. 85. No. 47. Article No. 64.
2. The role of antioxidants in sperm freezing: a review / F. Amidi, A. Pazhohan, M. S. Nashtaei, et al. DOI: 10.1007/s10561-016-9566-5 // Cell Tissue Bank. 2016. Vol. 17. P. 745–756.
3. Bustani G. S., Baiee F. H. Semen extenders: An evaluative overview of preservative mechanisms of semen and semen extenders. DOI: www.doi.org/10.14202/-vetworld.2021.1220-1233 // Veterinary World. 2021. Vol. 14. No. 5. P. 1220–1233.
4. Effects of apigenin and astragalus polysaccharide on the cryopreservation of bull semen / H. Wang, P. Lu, Ch. Yuan, et al. DOI: 10.3390/ani11061506 // Animals (Basel). 2021. Vol. 11. No. 6. Article No. 1506.
5. Ganoderma applanatum secondary metabolites induced apoptosis through different pathways: In vivo and in vitro anticancer studies / W. A. Elkhateeb, G. M. Zaghlol, I. M. El-Garawani, et al. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.02.058 // Biomed Pharmacother. 2018. Vol. 101. P. 264–277.
6. Hericium erinaceus polysaccharide improves the microstructure, immune function, proliferation and reduces apoptosis of thymus and spleen tissue cells of immunosuppressed mice /

Y. Han, J. Huang, C. Zhao, et al. DOI: 10.1093/bbb/zbac198 // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 2023. Vol. 87. No. 5. P. 279–289.

7. Immunomodulatory properties of polysaccharides from *Lentinula edodes* / A. Roszczyk, J. Turło, R. Zagożdżon, B. Kaleta. DOI: 10.3390/ijms23168980 // Int. J. Mol. Sci. 2022. Vol. 23. No. 16. Article No. 8980.

8. Сравнительная характеристика методов выделения клеток сперматогенного эпителия / Е. А. Пономаренко, О. В. Макарова, А. М. Косырева и др. // Клиническая и экспериментальная морфология. 2019. № 3. С. 55–63.

9. Плосконос М. В. Применение эозина и иодистого пропидия для оценки жизнеспособности сперматозоидов человека // Клиническая лабораторная диагностика. 2014. № 11. С. 22–25

10. The use of the acridine orange test and the TUNEL assay to assess the integrity of freeze-dried bovine spermatozoa DNA / C. F. Martins, M. N. Dode, S. S. Bao, R. Rumpf // Genet. Mol. Res. 2007. Vol. 6. P. 94–104.

ВЛИЯНИЕ Cu(II), La(III) И ИХ КОМБИНАЦИИ НА *DAPHNIA MAGNA* STRAUS, 1820 В ХРОНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

М. А. Сысолятина, А. С. Олькова, С. А. Лаптев
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, fostmarimi@gmail.com

Оценивали влияние растворов, содержащих La(III), Cu(II) и их комбинацию (1:1) в концентрациях 0,000008–0,0016 ммоль/л на выживаемость и параметры воспроизводства *D. magna*.

Ключевые слова: редкоземельные металлы, лантан, медь, токсичность, совместное действие, *D. magna*, хронические эффекты.

Редкоземельные элементы в настоящее время активно внедряются в различные сферы человеческой деятельности [1]. Современная техника немыслима без этих элементов. Однако, подобно тяжелым металлам, широкое применение редкоземельных элементов приводит к их накоплению в окружающей среде в несвойственных ей концентрациях [2, 3].

Существует множество свидетельств обнаружения редкоземельных элементов в живых организмах [4, 5]. Тем не менее, их токсическое воздействие на живые организмы до сих пор остается не до конца изученным.

Эксперименты с использованием *D. magna* проводили в соответствии с общепринятой методикой [6]. Токсичность анализируемых растворов исследовали при хронической экспозиции (24 дня). Плотность посадки рачков составила 10 экземпляров на 100 мл пробы в трехкратной повторности. Кормом для дафний служили одноклеточные зеленые водоросли *S. quadricauda*. При оценке токсичности учитывали выживаемость и параметры воспроизводства особей.

Модельными токсикантами были растворы сульфата меди $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и сульфата лантана $\text{La}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, содержащие расчетные концентрации ионов металлов 0,000008–0,0016 ммоль/л. Растворы с комбинацией солей меди и лантана содержали одинаковое расчетное количество действующих ионов (1:1).

Данные представляли в относительных величинах (%), сравнивая с контрольными данными, принятыми за 100%. Достоверность различий оценивали методом дисперсионного анализа (ANOVA, LSD-тест) при уровне значимости $p < 0,05$.

На рисунке 1 представлены итоговые значения гибели *D. magna* на 24 сут. эксперимента.

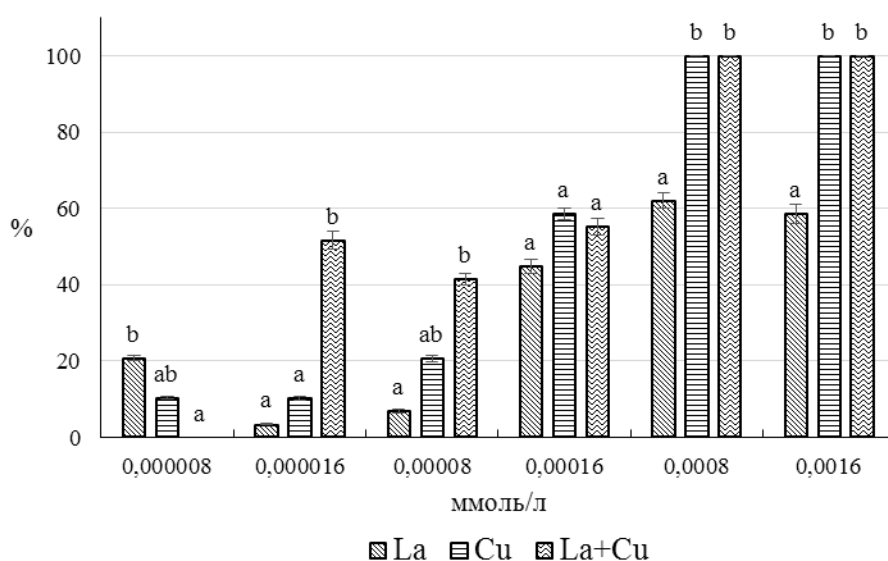


Рис. 1. Смертность *D. magna* на 24 сутки эксперимента

Результаты эксперимента с La(III) показали проявление хронической токсичности анализируемого вещества. В концентрациях 0,00016–0,0016 ммоль/л зафиксирована гибель 44,8–62,1% особей. В растворах с совместным содержанием La(III) и Cu(II) отмечается высокий уровень смертности рачков даже при низком содержании веществ в растворе. Так, уже при концентрации 0,000016 ммоль/л зарегистрирована гибель 51,7% особей. При концентрациях 0,0008 и 0,0016 ммоль/л фиксируется гибель 100% культуры. В эксперименте с добавкой Cu(II) также прослеживается тенденция возрастания токсического действия с увеличением концентрации токсиканта ($r = 0,9$). Эффект нарастает постепенно, разница между вариантами составляет 1,6–2,5 раза. При этом гибель 100% особей фиксируется при тех же концентрациях (0,0008 и 0,0016 ммоль/л), что и в растворах с комбинацией веществ.

Таким образом, при концентрациях 0,000016 и 0,00008 ммоль/л растворы с комбинацией веществ оказывали большее негативное действие, чем Cu(II) в отдельности. Однако с увеличением концентрации (0,00016–0,0016 ммоль/л) эффекты были одинаковы. Можно сделать вывод о

потенцировании Cu(II) в присутствии La(III) при низких концентрациях, поскольку в растворах с комбинацией веществ присутствовало только 50% Cu(II) – более сильного токсиканта по сравнению с La(III), а эффекты оказались близкими.

Следующей определяемой тест-функцией была плодовитость *D. magna* (рис. 2).

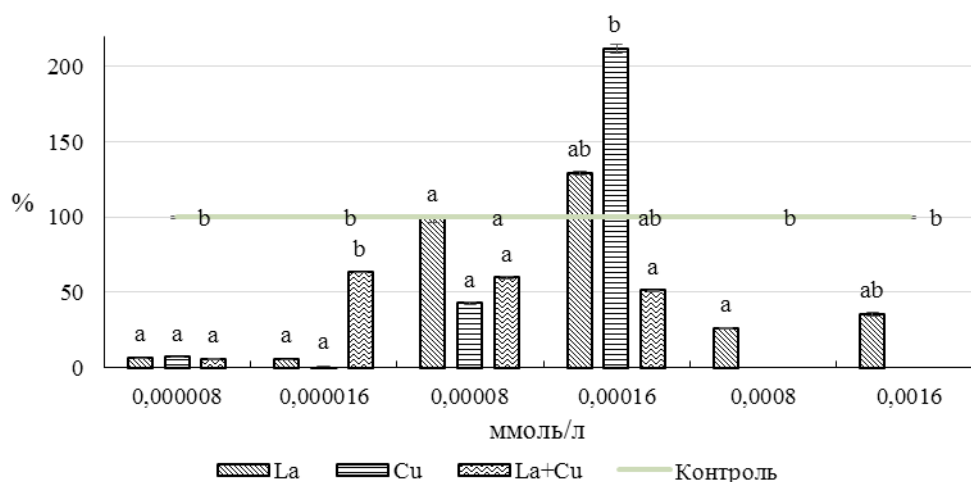


Рис. 2. Плодовитость *D. magna* в хроническом эксперименте

Результаты исследования демонстрируют, что анализируемые вещества оказывают негативное влияние на репродуктивную функцию *D. magna*. Наблюдается как стимулирование показателя, так и его угнетение.

La(III) замедлял репродуктивную функцию *D. magna*. С повышением дозы токсиканта до 0,00008–0,00016 ммоль/л показатель тест-функции имел уровень контрольных значений. Последующее увеличение концентрации до 0,0008–0,0016 ммоль/л снова привело к спаду плодовитости. Влияние Cu(II) в концентрации 0,00008 ммоль/л было на уровне контрольных значений, но с повышением дозы токсиканта до 0,00016 ммоль/л показатель увеличился в 2,1 раза. Стимуляция тест-функции в данном случае свидетельствует о начальной стадии стресса, приводящая к полной гибели организмов на 1–2 сут. эксперимента. Результаты эксперимента с растворами смеси веществ не показали отличий от контрольных значений. Прослеживается недостоверное угнетение тест-функции. Показатель плодовитости в концентрациях 0,000016–0,00016 ммоль/л отличался от контрольных значений в 1,6–1,9 раз.

В двух наиболее низких концентрациях из тестируемых (0,000008 и 0,000016 ммоль/л): в растворах с La(III), Cu(II) и комбинацией веществ, зафиксировано угнетение плодовитости рачков. При этом значения составили 5,6–6,7% от контроля. Полученные результаты можно объяснить эффектом низких доз. Однако в растворах с комбинацией веществ в концентрации 0,000016 ммоль/л этот эффект не проявляется.

Таким образом, несмотря на то, что лантан приводит к меньшей гибели дафний, чем медь, в хронических испытаниях показано, что лантан, как и медь значительно снижает способность рачков к размножению. При сов-

местном действии металлов и повышении концентрации элементов наблюдается эффект синергизма.

Библиографический список

1. Dang D. H., Zhang Z. Hazardous motherboards: Changes in metal contamination related to the evolution of electronic technologies. DOI: 10.1016/j.envpol. 2020. 11573 // Environmental Pollution. 2021. Vol. 268. Article No. 115731.
2. Road dusts-bound elements in a major metropolitan area, Tehran (Iran): Source tracking, pollution characteristics, ecological risks, spatiotemporal and geochemical patterns / M. S. Ali-Taleshi, S. Feiznia, A. Bourliva, S. Squizzato. DOI: 10.1016/j.uclim.2021.100933 // Urban Climate. 2021. Vol. 39. Article No. 100933.
3. Radomskaya V. I., Yusupov D. V., Pavlova L. M. Rare-earth elements in the atmospheric precipitation of the city of Blagoveshchensk. DOI: 10.1134/S0016702918010056 // Geochemistry International. 2018. Vol. 56. P. 189–198.
4. Multi-element characteristics of chinese medical Baishao (*Paeoniae radix Alba*) and their decoctions / X. Xue, G. Liu, Y. Wei et al. DOI: 10.1007/s12011-020-02343-0// Biological Trace Element Research. 2021. Vol. 199. P. 2375–2386.
5. Occurrence of rare earth elements in fledgelings of *Thalasseus sandvicensis* / M. Picone, G. G. Distefano, F. Corami et al. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112152 // Environmental Research. 2022. Vol. 204 (Pt B). Article No. 112152.
6. ФР 1.39.2007.03222. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний. М. : АКВАРОС, 2007. 52 с.

СОРБЦИОННАЯ КОРМОВАЯ ДОБАВКА НА ОСНОВЕ ТОРФА

*А. Э. Томсон¹, Т. В. Соколова¹, Т. Я. Царюк¹,
Н. Е. Сосновская¹, А. А. Царенок²*

¹ *Институт природопользования НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь, info@nature-nas.by,*

² *Институт радиобиологии НАН Беларуси,
г. Гомель, Беларусь, a.tsarenok@tut.by*

В статье представлены результаты научно-хозяйственного эксперимента с целью установления радиологической эффективности применения в рационах лактирующих коров композиционной энтеросорбционной кормовой добавки на основе торфа и ферроцина.

Ключевые слова: кормовая добавка, энтеросорбент, сфагновый торф, ферроцин, ферроцинсодержащий сорбент.

Сфагновый торф широко распространен на торфяных месторождениях Беларуси, особенно в ее северном регионе [1]. Органическое вещество мало-разложившегося сфагнового торфа в значительной степени представлено компонентами углеводного комплекса, в которых активные функциональные группы способны придать материалу сорбционные свойства. Как было показано ранее [2], использование сфагнового торфа в качестве основного компо-

нента при производстве кормовой добавки в рацион поросят-отъемышей обеспечит не только ее питательную ценность, но и способность сорбировать ионы тяжелых металлов, патогенные микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, микотоксины.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС значительные территории Республики Беларусь оказались зараженными радионуклидами, в том числе долгоживущими изотопами ^{137}Cs и ^{90}Sr , поэтому актуальным стало получение на этих территориях чистой продукции животноводства. Эта проблема может быть решена с применением энтеросорбционного метода, основанного на связывании и выведении из желудочного тракта животных радионуклидов. Для этой цели хорошо зарекомендовали ферроцианиды – комплексообразующие соединения избирательного действия, а также композиционные препараты, включающие сорбенты и комплексообразователи. Ранее нами разработан углеродный ферроцинсодержащий сорбент на основе торфяного активированного угля и ферроцина. Изучены физико-технические, энтеросорбционные и спектральные свойства материала. Результаты физиологического опыта показали, что добавление 4 г/гол. в сутки модифицированного углеродного сорбента в рацион кормления кроликов снижает накопление ^{137}Cs в мясе в 8 раз по сравнению с контролем [3]. Учитывая отсутствие торфяного активированного угля в настоящее время и предполагаемую его высокую стоимость, целью настоящей работы явилось получение активного энтеросорбционного материала, используя в качестве основы для модификации торф, как более дешевый и доступный материал, обладающий рядом ценных свойств, и гексацианоферрат железа (ферроцин).

Объектами исследования явились сфагновый торф месторождения «Радемье» ОАО «Зеленоборское» Смолевичский район, Минской области и хемосорбционный материал на основе сфагнового торфа и ферроцина.

Разработан способ получения хемосорбционного материала, заключающийся в проведении синтеза гексацианоферрата железа с одновременным осаждением его на поверхности частиц сфагнового торфа. Согласно этому способу наработан лабораторный образец синтезированного композита. Изучены физико-технические и сорбционные свойства по отношению к иону цезия сфагнового торфа и хемосорбционного материала. Концентрация ионов цезия определялась методом атомной эмиссии на атомно-абсорбционном спектрометре ZEE nit 700P. Из экспериментальных данных рассчитаны статическая обменная емкость (СОЕ), коэффициенты распределения K_d иона цезия на сфагновом торфе и композите сфагновый торф + ферроцин. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Зависимость сорбции иона цезия торфом и сорбентом
на основе торфа и ферроцина**

Сорбент	СОЕ, мг/г	K_d , мл/г	Эффективность поглощения, %
Сфагновый торф	3,4	175,7	76,9
Сфагновый торф + ферроцин	5,4	3243,6	88,9

Из анализа данных таблицы 1 следует, что присутствие ферроцина в композиционном сорбенте увеличивает статическую обменную емкость по иону цезия в 1,6 раза, коэффициент распределения иона цезия увеличивается в 18,5 раза, что свидетельствует о высоком сродстве композита к данному иону, связанном со строением ферроцианидного комплекса.

Наработана опытная партия кормовой добавки для проведения научно-хозяйственного эксперимента. С целью установления радиологической эффективности применения в рационе лактирующих коров энтеросорбционной кормовой добавки на основе торфа для снижения кратности содержания ^{137}Cs в молоке в сельскохозяйственном предприятии ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области на МТФ «Дублин» были сформированы три группы лактирующих коров: две опытных и одна контрольная по 5 голов в каждой (табл. 2).

Разница между группами заключалась в том, что в состав комбикорма вводилась композиционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа из расчета 30 г/гол. в сутки, а коровам второй опытной группы – сорбент ферроцин из расчета 3 г/гол. в сутки.

При постановке на эксперимент животные были отобраны по принципу пар-аналогов с учетом живой массы, возраста в отелах, стадии лактации, среднесуточного удоя.

Отбор проб молока у коров опытной и контрольной групп проводился на 0, 6, 12, 18 и 22 сутки. Определение удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в исследуемых образцах кормов и молока выполнялась на γ -спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard».

Таблица 2

Схема научно-хозяйственного эксперимента

Группы	Количество животных в группе	Живая масса на начало опыта, кг	Продолжительность, дней	Особенности кормления
Контрольная	5	550–600	30	ОР*
1-я опытная	5	550–600	30	ОР* + композиционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа – 30 г/гол
2-я опытная	5	550–600	30	ОР* + сорбент ферроцин – 3 г/гол. в сутки

Примечание: ОР* – основной рацион (трава пастбищная – 30 кг; зеленая масса кукурузы молочной спелости – 15 кг; солома овсяная – 2 кг; комбикорм для коров КК-60П – 3 кг).

В таблице 3 приведены данные о содержании ^{137}Cs в рационе подопытных животных.

Таблица 3

**Удельная активность кормов по ^{137}Cs на МТФ «Дублин»
ОАО «Маложинский» Брагинского района**

Наименование кормов	Средняя удельная активность ^{137}Cs в кормах, Бк/кг	Республиканские допустимые уровни содержания ^{137}Cs в кормах, Бк/кг
Трава пастбищная	42,1–203,0	165
Зеленая масса кукурузы молочной спелости	1,9–3,9	
Солома овсяная	48,3±14,1	330
Комбикорм для коров К 60-6 (с удоем 20 кг)	39,4±13,8	180

В таблице 4 приведены результаты оценки радиологической эффективности ферроцинсодержащей кормовой добавки и сорбента ферроцина по способности влиять на снижение перехода ^{137}Cs из рациона в молоко, а также рассчитана кратность снижения удельной активности молока в опытных группах по сравнению с контролем. Использование композиционной ферроцинсодержащей кормовой добавки на основе торфа в рационах лактирующих коров показало высокую радиологическую активность и не уступала по эффективности ферроцину. Так, уже на 6 сутки проведения эксперимента наблюдается заметное снижение перехода ^{137}Cs из рациона в молоко по опытным группам. Кратность снижения перехода ^{137}Cs в молоко опытных групп по отношению к контролю на 22 сутки проведения эксперимента составила 4,6 раза.

Таблица 4

**Показатели радиологической эффективности
применения кормовых добавок в рационе лактирующих коров**

Группа	Начало эксперимента (6-е сутки)	Конец эксперимента (22-е сутки)
Кратность снижения ^{137}Cs в молоке коров опытных групп (в сравнении с контролем)		
1-я опытная группа	3,1	4,6
2-я опытная группа	2,2	4,6

Таким образом, разработан способ получения хемосорбента, заключающийся в проведении синтеза гексацианоферрата железа в присутствии сфагнового торфа. Изучены сорбционные и радиопротекторные свойства по отношению к иону цезия. В сельскохозяйственном предприятии ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области на МТФ «Дублин» проведен научно-хозяйственный опыт, который показал высокую радиологическую эффективность применения разработанной композиционной добавки в рационах лактирующих коров по отношению к иону цезия. Кратность снижения ^{137}Cs в молоке при ее использовании составила 4,6 раза по сравнению с контролем.

Библиографический список

1. Томсон, А. Э., Наумова Г. В. Торф и продукты его переработки. Минск : Белорусская наука, 2009. 328 с.
2. Биологически активная кормовая добавка с сорбционными свойствами для поросят-отъемышей / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова, С. А. Линкевич и др. // Природопользование. 2019. № 1. С. 249–261.
3. Композиционный энтеросорбент на основе торфяного активированного угля / А. Э. Томсон, Т. В. Соколова, Ю. Ю. Навоша и др. // Природопользование. 2018. № 2. С. 128–133.

Научное издание

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Материалы II Международной научно-практической конференции
23–24 апреля 2025 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 25.06.2025. Формат 60 x 84/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Усл. п. л. 22,31. Тираж 30 экз. Заказ 47.

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