

ИБ ФИЦ Коми
НЦ УрО РАН



АО «КУПРИТ»

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

Региональный оператор по обращению с ТКО –
АО «Куприт», Киров, Россия

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Материалы
III Международной научно-практической конференции
22–23 апреля 2026 г.

Книга 2

Киров, 2026

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

Печатается по рекомендации Научного совета ВятГУ

Ответственный редактор:

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

Редакционная коллегия:

И. Ф. Чадин, директор, канд. биол. наук, **С. Г. Литвинец**, проректор, канд. с.-х. наук, **Л. И. Домрачева**, профессор, д-р биол. наук, **Л. В. Кондакова**, профессор, д-р биол. наук, **И. Г. Широких**, в. н. с., д-р биол. наук, **Е. В. Береснева**, профессор, канд. пед. наук, **Е. В. Дабах**, с. н. с., канд. биол. наук, **М. А. Зайцев**, доцент, канд. пед. 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, **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 III Международной научно-практической конференции. Книга 2. (г. Киров, 22–23 апреля 2026 г.). – Киров : Вятский государственный университет, 2026. – 339 с.

ISBN 978-5-98228-297-2 (Книга 2)
ISBN 978-5-98228-298-9

В книгу 2 сборника материалов III Международной научно-практической конференции «Экология родного края: проблемы и пути их решения» вошли статьи по результатам и методам изучения биологии и экологии микроорганизмов, растений и животных в изменяющихся условиях окружающей среды. Обсуждаются вопросы экологического образования и воспитания. Представлены результаты исследований химии природного сырья и контроля качества фармацевтических субстанций.

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, а также руководство Регионального оператора по обращению с ТКО – АО «Куприт» (г. Киров) за партнерство и сотрудничество.

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

ISBN 978-5-98228-297-2 (Книга 2)
ISBN 978-5-98228-298-9

© Вятский государственный университет
(ВятГУ), 2026

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,
Benxi, Liaoning Province, PRC

Regional MSW Management Operator – “Kuprit” JSC,
Kirov, Russia

HOME COUNTRY ECOLOGY: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Proceedings
of the III International Scientific and Practical Conference
April 22–23, 2025

Chapter 2

Kirov, 2026

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, **I. G. Shirokikh**, Leading Researcher, Dr. of Biology, **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, **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, **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 III International Scientific & Practical Conference. Chapter 2. (Kirov, April 22–23, 2026). – Kirov : Vyatka State University, 2026. – 339 p.

ISBN 978-5-98228-297-2 (Chapter 2)
ISBN 978-5-98228-298-9

In the chapter 2 of the Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference “Home Country Ecology: problems and solutions” we include articles on the results and methods of studying the biology and ecology of microorganisms, plants and animals in changing environment. The issues of environmental education and upbringing are discussed. The results of research on the chemistry of natural raw materials and quality control of pharmaceutical substances are presented.

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 URALCHEM JSK in Kirovo-Chepetsk, and the management of the Regional MSW Management Operator – “Kuprit” JSC, Kirov, for partnership and cooperation.

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

ISBN 978-5-98228-297-2 (Chapter 2)
ISBN 978-5-98228-298-9

© Vyatka State University (VyatSU), 2026

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 6 ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

Боков Н. А., Сысолятина М. А. Изучение экологической безопасности агрономически ценных штаммов рода <i>Streptomyces</i>	11
Караваев К. Д., Бородавкина И. А., Лелекова Е. В., Завалина Ю. А. О механизмах и перспективах использования ассоциативного симбиоза микробиома с ризосферой растений.....	14
Коротких А. И., Гусарова К. Е., Домрачева Л. И. Индикация состояния городской почвы по развитию бактерий рода <i>Azotobacter</i>	20
Коротких А. И., Домнина Е. А., Трефилова Л. В., Домрачева Л. И., Тимонов А. С. Сравнительная характеристика эпифитных микробных комплексов лишайника <i>Hypogymnia physodes</i> и <i>Pinus sylvestris</i>	24
Коротких А. И., Ковина А. Л., Тропникова Т. Н., Домрачева Л. И. Влияние измельчённой биомассы лишайника <i>Hypogymnia physodes</i> и коры <i>Pinus sylvestris</i> на рост и развитие <i>Lupinus angustifolius</i>	28
Кувичкина Т. Н., Ячкула А. А., Вайнштейн М. Б., Решетилов А. Н. Ацидофильный железоокисляющий штамм Тио1 из подотвальных вод халькопиритной руды.....	33
Миндубаев А. З., Бабынин Э. В., Царькова Ю. Р., Дегтярева И. А. Антагонизм культур бактерий и штамма <i>Aspergillus niger</i> F-4815D.....	36
Мокрушина С. Э., Широких И. Г. Стимуляция роста и увеличение коэффициента размножения микрорастений картофеля при инокуляции ассоциацией актиномицетов.....	39
Мяжкова А. С., Песцов Г. В., Третьякова А. В., Прокудина О. В. Культивирование мицелия гриба <i>Hypsizygus tessulatus</i> (шимеджи) на питательных средах различного состава.....	43
Прокудина О. В., Третьякова А. В., Песцов Г. В., Шамина У. А. Жидкофазная ферментация мицелия гриба <i>Flammulina velutipes</i>	46
Третьякова А. В., Прокудина О. В., Песцов Г. В. Глубинное культивирование мицелия гриба <i>Lentinus tigrinus</i>	49
Шарапова И. Э. Сорбционная способность в отношении к тяжелым металлам бактериально-грибного комплекса.....	52
Широких И. Г. Исследования ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого в области почвенной микробиологии и микробной экологии.....	55
Широких И. Г., Дабах Е. В., Боков Н. А. Почвенные прокариотные сообщества при самозаращении хранилищ гипсодержащих отходов.....	61
Широких И. Г., Кутявина Т. И., Мокрушина С. Э. Сообщества почвенных актиномицетов в окрестностях бывшего объекта по уничтожению химического оружия	68

СЕКЦИЯ 7

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ВОСПИТАНИЕ

<i>Bhalerao P., Rawat R., Patidar S.</i> Promoting environmental literacy and preventive health upbringing via phytotherapeutic practice: a community study on <i>Aloe vera</i> – <i>Hibiscus</i> formulation for leucorrhea	73
<i>Laad A.</i> Eco-identity as a predictor of sustainable behavior among university students: a survey-based study integrating upbringing, ai awareness, and environmental education.....	79
<i>Soni M.</i> AI-enhanced environmental education and awareness: a comparative mathematical study.....	79
<i>Агеева Т. Н., Пускова В. М.</i> Формирование экологического и радиозэкологического мировоззрения у студентов Белорусско-Российского университета	86
<i>Ашихмина Т. Я.</i> Школа вдохновения, в которой рождаются яркие звезды	90
<i>Воронин С. М.</i> Опыт формирования экологической культуры молодежи в Кировской области	93
<i>Колупаева В. К., Пересторонина О. Н.</i> Зоологический музей как образовательный ресурс в формировании естественно-научных представлений младших школьников	99
<i>Констанкевич Е. А., Лавриненко К. С., Пересторонина О. Н.</i> Разработка внеурочного мероприятия на тему «Состав и строение растительного сообщества. взаимосвязи организмов в сообществе»	104
<i>Махсумов И. Б., Исозода Д. Т., Давлатзода А. Н.</i> Экологическое образование как фактор развития возобновляемой энергетики и снижения климатических рисков в Центральной Азии	109
<i>Новикова А. А., Дайнеко Н. М.</i> Формирование экологических компетенций студентов-биологов при прохождении учебно-полевых практик.....	114
<i>Ярусова С. Б., Иваненко Н. В., Соколова Е. В.</i> Отношение к экологическим мероприятиям студентов в современном университете: опыт Владивостокского государственного университета	117

СЕКЦИЯ 8
ХИМИЯ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ.
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СУБСТАНЦИЙ

Белослудцева П. К., Адамович Т. А. Цветки аронии мичурина, боярышника и рябины обыкновенной как сырьё для получения косметических средств.....	123
Вотинцева С. А., Козвонин В. А. Создание и оценка стабильности липосомальной формы перфтордекалина и трипептида меди на основе соевого лецитина.....	125
Галашева Е. А., Фокина А. И., Козачок С. С., Адамович Т. А. Содержание антиоксидантов в листьях и плодах облепихи, произрастающей на территории Кировской области.....	130
Ефремова А. С., Адамович Т. А. Оценка физико-химических показателей мази, содержащей эфирное масло чубушника обыкновенного.....	132
Зубкова К. С., Петухов Д. В. Влияние криогенной обработки растительного сырья на содержание биологически активных веществ в плодах жимолости голубой.....	136
Козачок С. С., Фокина А. И., Сазанов А. В. Опыт определения содержания антиоксидантов методом инверсионной вольтамперометрии	140
Круглов Ф. Д., Фокина А. И., Гаврюшева А. Ю. Содержание меди в плодах облепихи крушиновидной, произрастающей на территории Кировской области	143
Крылова А. А., Шайфлер М. П., Нилова А. П., Фокина А. И. Антиоксидантная активность кверцетина в присутствии сахарозы и ксилита	145
Кухно М. Ю., Фокина А. И. Разработка методики определения суммы кислот, высвобождающихся из состава лекарственного карандаша	148
Маслова О. С., Бочихина Ю. В., Адамович Т. А. Изучение содержания аскорбиновой кислоты в плодах облепихи крушиновидной	151
Наговицына С. Р., Сазанова М. Л. Исследование химического состава плодов сливы колючей (терна) как перспективного сырья для фармацевтической промышленности	153
Нилова А. Б., Сазанов А. В. Разработка рецептуры фотосенсибилизирующего раствора и рекомендации по его применению в фотодинамической терапии.....	157
Орефкова К. А., Соловьёва Е. С. Взаимодействие вспомогательных веществ с салициловой кислотой.....	162
Осташева Т. В., Адамович Т. А. Сезонные колебания концентраций фотосинтетических пигментов и полифенольных соединений в хвое пихты сибирской.....	168

Ростовцева М. А., Петухов Д. В. Исследование содержания аскорбиновой кислоты в экстракте алоэ вера.....	171
Товстик Е. В., Слобожанина В. П. Содержание фенольных соединений в культивируемых эфиромасличных растениях.....	174
Харина С. А., Шишкина В. В., Киреева А. Р., Фокина А. И. Влияние нагревания и УФ-излучения на содержание полифенолов в лекарственных карандашах на основе смолы ели.....	177
Шабалина М. С., Ренжина М. К., Товстик Е. В., Широкова Е. С. Роль полимерных добавок в модификации комплексных свойств желатиновых пленок	179
Шулаев С. В., Петухов Д. В. Определение фитохимического состава плодов, листьев и коры калины обыкновенной.....	184
Шутова Д. В., Соловьёва Е. С. Опыт использования бинарных систем экстрагентов	186

СЕКЦИЯ 9 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Daftari S. K., Sharma S., Patidar S. Development of a sustainable formulation for moss control on historical monuments	190
Prof. (Dr.) Lyndem F. G., Dr. Banerjee S., Prof. (Dr.) Bhowmick S. Home gardening: an indigenous strategy for biodiversity conservation and food security	192
Абдураимов А. С. Виды рода <i>Medicago</i> L., распространённые в Джизакской области (Республика Узбекистан).....	200
Бакулина А. В., Новоселова Н. В., Шуплецова О. Н. Подбор SSR-маркеров для типирования сортов ячменя, различающихся по признаку морфогенеза <i>in vitro</i>	202
Булдаков М. С., Пыстина Т. Н. Лишайники Красной книги Кировской области	208
Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф. Анализ динамики луговых ассоциаций в пойме реки Ипуть Добрушского района Гомельской области	210
Жмакова Н. А., Каменская Т. Н., Макарова Н. Л., Лукьянчик С. А. Антимикробная активность препаратов из сфагнового торфа и сфагнового мха.....	214
Исмоилов Р. С. Лекарственные свойства <i>Lactuca serriola</i> L. в условиях Сырдарьинской области (Республика Узбекистан).....	220
Зуева С. А., Шабалкина С. В., Коледаева Е. В. Влияние бутилированной питьевой воды на прорастание и биометрические параметры проростков <i>Lepidium sativum</i> L. (Brassicaceae)	223
Кононова О. Е., Злобина Ю. А. Влияние почвенного фона на формирование продуктивных признаков овса	228

Куклина Т. Э., Мамедова Э. Э. Эволюция ассортимента древесных растений в садах при духовных учреждениях Томска (XIX–XXI вв.).....	231
Милейко А. А., Седукова Г. В., Карпенко Н. И., Скоробогатая А. В., Король Р. А. Особенности формирования продуктивности и миграции техногенных радионуклидов по органам сорго зернового	235
Могилева А. В., Егошина Т. Л. Динамика состава, структуры и площадей насаждений дуба монгольского в Сихотэ-Алинском государственном заповеднике.....	238
Мосеев Д. С., Смирнова М. А., Брагин А. В., Футоран П. В., Петрова Н. В. Галофильная флора побережья Белого моря в национальном парке «Онежское Поморье».....	244
Пыстина Т. Н., Семенова Н. А. Редкие и охраняемые лишайники национального парка «Койгородский», Республика Коми	249
Утомбаева А. А., Вершинин А. А., Петров А. М., Каримуллин Л. К., Князев И. В., Зайнулгабидинов Э. Р. Влияние технологий рекультивации с использованием гранулята осадка сточных вод на биопродуктивность растений в условиях нефтезагрязнения почвы.....	254
Шабалкина С. В., Арбузова А. Д. Лекарственные растения официальной медицины в Кировской области.....	259
Япарова А. Э., Фардеева М. Б. Оценка функциональных признаков микровидов рода <i>Alchemilla</i> L. на лугах разного природопользования (Республика Татарстан).....	264

СЕКЦИЯ 10 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Fedorov D. S., Maksimovich K. Yu. A network approach to assessing the spatial differentiation of ground beetle communities (Coleoptera, Carabidae) in agricultural ecosystems.....	271
Бобрешова С. С., Шуман Л. А., Силиванова Е. А. Влияние инсектицида хлорфенапира на толщину различных участков кутикулы у имаго <i>Musca domestica</i>	275
Гордиенко Т. А., Суходольская Р. А., Горбунов Р. П., Вавилов Д. Н., Майсейкова Д. И. Пространственно-временная неоднородность герпетобионтов листовенных фитоценозов Волжско-Камского государственного заповедника.....	279
Громова А. Н., Мурадова Л. В. Гематологические показатели особей серой жабы, зараженных гельминтами, на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына	284
Гурьянова Д. А., Сиротина М. В. Особенности лейкоцитарного состава крови <i>Rana temporaria</i> при гельминтологической инвазии на территории парка культуры и отдыха «Берендеевка» г. Костромы.....	287

Калинникова Т. Б., Сапармырадов К. А., Егорова А. В., Гатиятуллина А. Ф., Фролов М. Д., Валидов Ш. З. Влияние засухоустойчивых бактерий на онтогенез почвенных нематод <i>Caenorhabditis elegans</i> и <i>Caenorhabditis briggsae</i>	291
Кинарейкина А. Г., Силиванова Е. А. Применение IBRV2 и IBR-T в отношении биохимических характеристик ацетилхолинэстеразы при реверсии устойчивости комнатной мухи к дельтаметрину	294
Кондрухова С. В., Борняков Г. А., Бакка С. В. Встречи редких видов птиц в заповеднике «Нургуш» В 2024–2025 годах	298
Кочурова Т. И., Кутявина Т. И., Шихова Т. Г. Состав макрозообентоса пойменных озёр заповедника «Нургуш» с разной степенью зарастания	303
Крестоношина К. С., Силиванова Е. А. Аминокислотные вариации гена <i>MdaE7</i> как маркер адаптации <i>Musca domestica</i> L. (Diptera: Muscidae) к инсектицидному воздействию	309
Куватов А. К. Анализ литературы о состоянии видов рыб, обитающих в нижнем течении Амударьи и её дельте	313
Максимович К. Ю., Гостева С. И., Федоров Д. С., Дудко Р. Ю., Голохваст К. С. Фаунистическая характеристика и экологическая структура населения жуужелиц (Coleoptera: Carabidae) эколого-функциональных зон в градиенте антропогенной нагрузки (на примере Новосибирского района)	317
Соломина О. Н., Сергушкина М. И., Худяков А. Н., Полежаева Т. В., Зайцева О. О., Попыванов Д. В. Применение полисахаридов базидиальных грибов <i>Laetiporus sulphureus</i> и <i>Fomes fomentarius</i> для повышения устойчивости сперматозоидов быка к негативному воздействию отрицательной температуры -80 °С	325
Старобор Н. Н., Раскоша О. В. Оценка плодовитости полевок-экономов, отловленных на радиоактивно загрязненных и контрольном участках	330
Шихова Т. Г., Кочурова Т. И., Кутявина Т. И. Моллюски пойменных озёр заповедника «Нургуш»	333

СЕКЦИЯ 6 ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АГРОНОМИЧЕСКИ ЦЕННЫХ ШТАММОВ РОДА *STREPTOMYCES*

Н. А. Боков^{1,2}, М. А. Сысолятина²

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, nikita-bokov@mail.ru,

² Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

Установлен дозозависимый характер влияния жидких культур штаммов рода *Streptomyces* на тестовые организмы *Daphnia magna* (Straus, 1820) и *Paramecium caudatum* (Ehrenberg, 1838). Прослеживалась зависимость токсического эффекта от штамма. Штаммы, продуцирующие антимикробные вещества (*S. hygrosopicus* N27-25, *S. antimycoticus* 8A13 и *S. antimycoticus* A4) демонстрировали больший токсический эффект по отношению к тест организмам, чем штаммы гидролитики (*S. thermocarboxydus* T1-3, *S. griseoaurantiacus* Mb4-2, «*S. ryensis*» H13-3).

Ключевые слова: стрептомицеты, *D. magna*, *P. caudatum*, токсичность, биоконтроль, биотестирование.

Микробиологические методы защиты растений от заболеваний основаны на применении штаммов, синтезирующих комплекс биологически активных веществ (антибиотики, фитогормоны, ферменты) [1]. Наибольший интерес представляют микроорганизмы, которые не только непосредственно подавляют развитие патогенов, но и повышают устойчивость растений к болезням, обеспечивая их защиту за счёт своей фиторегуляторной активности. Под эти критерии подходят актиномицеты – мицелиальные прокариоты, синтезирующие широкий спектр биологически активных веществ от антибиотиков до фитогормонов [2, 3].

К актиномицетам, используемым в агрономической биотехнологии, предъявляется ряд требований, включая их безопасность для окружающей среды и отсутствие токсического воздействия на живые организмы. Разработка полифункциональных биопрепаратов для защиты растений опирается на использование технологически «удобных» штаммов с антагонистической и гидролитической активностью, которые при этом безопасны [4].

Цель работы – определить степень токсичности шести штаммов рода *Streptomyces* по отношению к тест-организмам *Daphnia magna* (Straus, 1820) и *Paramecium caudatum* (Ehrenberg, 1838).

В работе использовали жидкие культуры (ЖК) перспективных штаммов целлюлозолитиков (*Streptomyces thermocarboxydus* T1-3, *S. griseoaurantiacus* Mb4-2, «*S. ryensis*» H13-3), а также штаммов обладающих антифунгальной и антибактериальной активностью (*S. hygrosopicus* N27-25, *S. antimycoticus* 8A13 и *S. antimycoticus* A4). Штаммы предварительно наращивали в жидкой питательной среде Гаузе 1 в течение 5 суток при 28 °С. Для оценки их биобезопасности готовили разведения ЖК 1:10, 1:100, 1:200, мицелий предварительно удаляли фильтрованием.

В ЖК с разведениями 1:10 и 1:100 устанавливали гибель *D. magna* (Straus, 1820) согласно методике (ФР 1.39.2007.03222, 2007) [5]: время эксперимента – 96 ч, количество дафний – 10 шт. в каждой повторности, повторность трехкратная. Критерием токсичности служила иммобилизация особей. Исследуемую пробу относили к обладающим острым токсическим действием при гибели $\geq 50\%$ особей в течение 96 часов экспозиции.

В ЖК с разведениями 1:100 и 1:200 оценивали хемотаксическую реакцию инфузорий *P. caudatum* в соответствии с методикой измерений ФР.1.39.2015.19242 [6]. Количественная оценка токсичности выражается в виде индекса токсичности (Т), по величине которого анализируемые пробы делятся на три группы: I) допустимая ($0,00 < T \leq 0,40$), II) умеренная ($0,41 < T \leq 0,70$) и III) высокая степень токсичности ($T > 0,71$).

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

ЖК актиномицетов в разведении 1:10 подавляли жизнедеятельность дафний, к концу 4 сут эксперимента выживших дафний не наблюдали (табл.).

Таблица

Эколого-токсикологическая оценка штаммов рода *Streptomyces*

Штамм	Разбавление жидких культур			
	количество выживших <i>D. magna</i> , %		индекс токсичности (Т) в тесте с <i>P. caudatum</i>	
	1:100	1:10	1:200	1:100
<i>S. griseoaurantiacus</i> Mb4-2	100	0	0,27	0,46
<i>S. thermocarboxydus</i> T1-3	100	0	0,17	0,51
« <i>S. ryensis</i> » H13-3	87	0	0,20	0,51
<i>S. hygrosopicus</i> N27-25	27	0	-0,10	0,67
<i>S. antimycoticus</i> 8A13	20	0	0,37	0,79
<i>S. antimycoticus</i> A4	20	0	0,39	0,76

При увеличении разведения до 1:100 были выявлены существенные различия между штаммами. Так ЖК целлюлозолитиков (*S. thermocarboxydus* T1-3, *S. griseoaurantiacus* Mb4-2, «*S. ryensis*» H13-3) не оказывали выраженного токсического эффекта, процент выживших рачков *D. magna* на 4 сут был более 80% (табл.). В то же время, ЖК штаммов (*S. hygrosopicus* N27-25, *S. antimycoticus* 8A13 и *S. antimycoticus* A4) обладали высокой токсичностью, более 70% особей *D. magna* погибли. Данный эффект, вероятно, связан с тем, что эти штаммы продуцируют метаболиты с антимикробным действием, в

том числе антибиотик скопафунгин [7]. Прослеживается связь между антагонистической активностью штамма и общей токсичностью его метаболитов.

P. caudatum оказались более чувствительными тест-организмами по отношению к ЖК актиномицетов, в связи с чем, нами были выбраны большие разведения ЖК. Ранее в работах уже отмечалась большая чувствительность *P. caudatum* к токсикантам (гербицидам) относительно *D. magna* [8]. ЖК актиномицетов в разведении 1:100 были отнесены к высокой степени токсичности для штаммов *S. antimycoticus* 8A13 и A4, а для штаммов Mb4-2, T1-3, H13-3 и N27-25 – к умеренной группе токсичности. При увеличении разведения до 1:200, все ЖК культуры были отнесены к допустимой группе токсичности, что указывает на дозозависимый характер биологического эффекта.

Можно отметить общую закономерность: во всех опытах с обоими тест-организмами штаммы, продуцирующие антимикробные метаболиты (*S. hygrosopicus* N27-25, *S. antimycoticus* 8A13, *S. antimycoticus* A4), проявляли более высокую токсичность, чем штаммы без антагонистической активности.

При использовании препаратов на основе актиномицетов, подбор оптимальных концентраций – одна из важнейших задач. Препарат с высоким титром актиномицетов-антагонистов будет не только подавлять фитопатогены, но и, возможно, влиять на естественные компоненты почвенной биоты. Штаммы, не обладающие такой активностью, обладают меньшим токсическим эффектом и препараты на их основе могут применяться в более высоких концентрациях без существенного риска для экосистем.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2025-0005).

Библиографический список

1. Павлюшин В. А., Новикова И. И., Бойкова И. В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика (обзор). DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.421rus // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 3. С. 421–438.
2. Multifunctional role of *Actinobacteria* in agricultural production sustainability: A review. / K. Boubekri, A. Soumare, I. Mardad, et al. DOI: 10.1016/j.micres.2022.127059 // Microbiol. Res. 2022. Vol. 261. Article No. 127059.
3. Идентификация и изучение свойств *Streptomyces geldanamycininus* 3K9, выделенного из почвы под зарослями борщевика Сосновского / Е. В. Товстик, А. В. Сазанов, А. В. Бакулина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-053-060 // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 53–60.
4. Григорян Л. Н., Батаева Ю. В., Братилова Д. М. Изучение безопасности актинобактерий рода *Streptomyces* на соответствие промышленным микроорганизмам сельскохозяйственного назначения. DOI: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202301012 // Российский журнал проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2023. № 1 (45). С. 84–88.
5. 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.

6. ФР 1.39.2015.19243. ПНД Ф Т 16.2:2.2-98 (изд. 2015 г.). Методика определения токсичности проб почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер». СПб. : СПЕКТР-М, 2015. 21 с.

7. Новые агрономически ценные штаммы рода *Streptomyces* и их биохимическая характеристика / И. Г. Широких, Н. А. Боков, А. А. Алалыкин, А. А. Широких. DOI: 10.31857/S0555109925010096 // Прикладная биохимия и микробиология. 2025. Т. 61. № 1. С. 89–99.

8. Олькова А. С., Березин Г. И. Исследование чувствительности аттестованных биотестов к загрязнению вод современными гербицидами: модельные эксперименты. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.2.111-119 // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 2 (78). С. 111–119.

О МЕХАНИЗМАХ И ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АССОЦИАТИВНОГО СИМБИОЗА МИКРОБИОМА С РИЗОСФЕРОЙ РАСТЕНИЙ

К. Д. Караваев, И. А. Бородавкина, Е. В. Лелекова, Ю. А. Завалина
*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, usr20893@vyatsu.ru*

В статье приведен анализ взаимовыгодных отношений между растением и микроорганизмами его ризосферы. Рассмотрены пути адаптаций бактерий и грибов к жизнедеятельности в прикорневой зоне в почве, а также благоприятные для растений аспекты содружества. Установлено, что в условиях гидропонной установки приливно-отливного типа на субстрате из минеральной ваты в ризосфере тимьяна сортов «Радужный» и «Айболит», календулы сорта «Яркие огни», мяты сортов «Ментол» и «Кубанская», Melissa сорта «Лимонный чай» поселяются бактерии родов *Azotobacter*, *Bacillus* и *Pseudomonas*.

Ключевые слова: ризосфера, бактерии, грибы, ассоциативный симбиоз, гидропонная установка, биотехнологии.

Строение и функции тех или иных микроорганизмов изучены в разном объеме, но достаточно полно. В настоящее время интерес ученых направлен на их адаптационные механизмы к условиям среды обитания, характер взаимоотношений друг с другом и представителями других систематических групп. Это, помимо прочего, позволяет находить новые способы решения задач в области разработки биологически активных препаратов для пищевой, фармацевтической, косметической, сельскохозяйственной и других отраслей, а выделяющиеся при этом продукты жизнедеятельности растений, грибов и бактерий выступают в качестве источников природных консервантов, регуляторов роста, фунгицидов, инсектицидов и других ресурсов.

Институт биологии и биотехнологии Вятского государственного университета активно изучает взаимодействие микроорганизмов и растений, произрастающих на гидропонных установках разного типа. Бактерии и грибы,

осваивающие ризосферу культур, могут быть полезны в плане разработки биопрепаратов.

Цель настоящей работы – провести обзор взаимовыгодных связей микроорганизмов и ризосферы растения, по литературным источникам выявить их состав в почвенной среде и изучить микробиом ризосферы на гидрорепонике.

Каждый орган растения – это особая экологическая ниша, которая в процессе его жизнедеятельности заселяется бактериями и грибами. Растение создает среду для их развития, выделяя экссудаты: низкомолекулярные органические вещества – продукты фотосинтеза и метаболизма (сахара, органические кислоты, аминокислоты, спирты, витамины, ферменты, гормоны, алкалоиды, глюкозиды, флавоноиды и др.). Ризосфера растения – это та часть почвы или субстрата, которая непосредственно примыкает к корням. В ней содержится большое количество микроорганизмов [1, 2]. Их питание обеспечивается, в основном, нерастворимыми корневыми экссудатами – ризодепозитами, которые включают высокополимерные слизи полисахаридной и белковой природы, утраченные части растения в виде корневого чехлика, корневых волосков и отмерших участков корня. В ризосфере растения чаще остальных встречаются бактерии, актинобактерии и микромицеты: грамотрицательные бактерии родов *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Xantomonas* и др.), грамположительные бактерии рода *Bacillus*, актинобактерии родов *Nocardia*, *Micromonospora*, *Streptomyces* и др., микроскопические грибы из родов *Penicillium*, *Gliocladium*, *Talaromyces*, *Humicola* и др. Их концентрация существенно превышает содержание этих же организмов в свободной от корней зоне субстрата, а явление получило название «ризосферного эффекта». Микроорганизмы образуют с корневой системой растений прочные связи и вступают в «ассоциативный симбиоз», синтезируя при этом соединения полисахаридной природы. Они помогают прикрепиться колониям к корневым волоскам, а также образуют слизистый слой – муцигель, защищающий их от воздействий внешней среды.

Корневые выделения растения не постоянны по качественному и количественному составу и зависят от его вида, возраста и почвенно-климатических условий. В процессе жизнедеятельности растения происходит закономерная смена бактериальных сообществ его ризосферы. На начальных этапах развития в корневой зоне доминируют грамотрицательные микроорганизмы (представители родов *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Azotobacter*), которые по мере естественного старения растений сменяются грамположительными (*Bacillus*) и актинобактериями (*Mycobacterium*, *Streptomyces*). Бактерии, питающиеся корневыми экссудатами, заменяются на бактерии-гидролитики, разлагающие корневой опад и микробную биомассу. При этом ризосферный эффект увеличивается после прорастания семени и достигает максимума в период цветения и плодоношения растений.

Ризосферное сообщество потребляет до 50% продуктов фотосинтеза, что для растения энергетически не выгодно. Однако, взамен поставляются

соединения в доступной для растения форме. Прямая стимуляция роста растений микроорганизмами осуществляется при помощи биосинтеза фитогормонов, витаминов и других веществ. Бактерии, обладающие совокупностью полезных для растений свойств, получили название PGPR (*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* – ризобактерии, способствующие росту растений). Например, среди ризобактерий широко распространена продукция фитогормонов (у видов родов *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Bacillus*). Они необходимы им для собственного развития и установления связей с растениями и другими почвенными микроорганизмами. Улучшение фосфорного питания растений осуществляется при помощи растворения микроорганизмами труднодоступных почвенных фосфатов. Минерализация недоступных форм фосфорорганических соединений с образованием доступного растениям фосфатного иона PO_4^{3-} производится ферментными системами ризобактерий (это такие ферменты как: фитазы, нуклеазы, фосфатазы, фосфолипазы). Минеральные же соединения фосфора (например, нерастворимые соли фосфорной кислоты с Ca, Mn, Fe, Al) растворяются в почве за счет простого подкисления среды ризобактериями, образуя органические кислоты и CO_2 в процессе своей жизнедеятельности.

Азотфиксирующие бактерии родов *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Acetobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium* и др. улучшают азотное питание растений. Кроме того, азотфиксирующие бактерии выделяют физиологически активные стимуляторы роста и подавляют рост фитопатогенов. Ранее азотфиксацию рассматривали как процесс, присущий ограниченному кругу микроорганизмов – цианобактериям, клубеньковым бактериям (*Rhizobium*) и свободноживущим бактериям (*Azotobacter*, *Clostridium*, *Azospirillum*). Однако, по современным данным 80–90% всех известных почвенных бактерий способны к фиксации атмосферного азота. Известно, что в ризосфере развивается смешанная популяция бактерий, а в качестве партнеров диазотрофов часто обнаруживаются пектинолитические и целлюлозоразрушающие бактерии. Например, диазотрофы родов *Azospirillum* и *Azotobacter* образуют ассоциации с пектинолитическими и целлюлозоразрушающими бактериями рода *Bacillus*, при этом *Azospirillum* и *Azotobacter* потребляют продукты разложения полимеров бациллами, снабжая их фиксированным азотом. Как следствие, ускоряется усвоение полимеров и стимулируется азотфиксация.

Кроме того, ризобактерии, образующие фермент 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат (АЦК) деаминазу, обладают универсальным антистрессовым эффектом. Защитное действие ризобактерий, утилизирующих АЦК, проявляется в различных неблагоприятных условиях: избытке и дефиците почвенной влаги, осмотическом стрессе при засолении почвы, наличии тяжелых металлов. Они используют АЦК в качестве источника питания, снижая ее содержание в растениях. Это приводит к снижению синтеза этилена в корнях (сигнальной молекулы неспецифических стрессовых реакций).

В основе механизмов опосредованной стимуляции роста растений микроорганизмами лежат антагонистические отношения PGPR-бактерий и фитопатогенов. Полезные, нейтральные и вредные для растения микроорганизмы, населяющие ризосферу, конкурируют друг с другом за общие пищевые субстраты и места обитания. При успешной конкуренции PGPR-бактерии подавляют жизнедеятельность почвенных фитопатогенов. Антагонизм ризобактерий в их отношении реализуется различными способами, в том числе путем соперничества за жизненно важный элемент питания – железо. В настоящее время известно более 500-от сидерофоров – хелатирующих низкомолекулярных веществ различной химической природы. Это гидроксаматы, α -гидроксикарбоксилаты, катехолы и пиовердины, образуемые почвенными микроорганизмами, в том числе и ризобактериями. В почве сидерофоры образуют комплексы с Fe^{3+} , которые затем попадают обратно в бактериальные клетки. За «узнавание» Fe-сидерофорного комплекса отвечает специфический рецептор на цитоплазматической мембране. Таким образом, Fe-сидерофоры ризобактерий недоступны для фитопатогенов (их рост в условиях дефицита железа замедляется). Стоит отметить, что эти комплексы могут усваиваться растениями и стимулировать их рост.

Важным механизмом биоконтроля является образование антибиотиков. Синтезируемые ризобактериями антибиотики и токсины непосредственно воздействуют на фитопатогены, приводя к ингибированию их роста или гибели. Известно, что антибиотики бактерий рода *Pseudomonas* (феназин, флороглюцин, оомицин А) играют важную роль в супрессии болезней растений. Также широкий спектр антифунгальных антибиотиков пептидной природы образуют бактерии рода *Bacillus*. Для биоконтроля это имеет особое значение, поскольку микроскопические грибы – наиболее вредоносные возбудители заболеваний. Биоконтрольные бактерии взаимодействуют с фитопатогенными грибами по типу паразитизма. Это происходит в случае обильного развития фитопатогена, выступающего богатым источником питания для бактерий. В результате контакта с непатогенными бактериями у растений может развиться индуцированная системная устойчивость к заболеваниям. Образованные ризобактериями салициловая кислота, цианистый водород, липополисахарды, сидерофоры, а также другие вещества могут быть сигнальными молекулами, запускающими у растений каскад защитных реакций, направленных на повышение устойчивости к фитопатогенам. При этом в растениях отмечается усиление лигнификации корневой ткани и повышение содержания фитоалексинов – защитных соединений растений фенольной природы.

В любом типе субстрата, наряду с бактериями, в формировании ризосферы участвуют и грибы. Специфика корневых выделений определяет различный видовой состав грибов в ризосфере растений. Например, в ризосфере злаковых преобладают грибы *Fusarium* и *Alternaria*; в ризосфере бобовых, лютиковых и крестоцветных много представителей рода *Penicillium*. Наиболее важными ризосферными грибами в жизни растений являются грибы микоризы, образующие сложную систему симбиотических связей с корнями

растений. Микоризные грибы могут образовывать структуры либо снаружи (эктомикориза), либо внутри (эндомикориза – грибки-эндофиты) корней. Также выявлены случаи, когда часть грибного организма находится внутри клеток корней растений, тогда как другая часть прорастает наружу (смешанный тип). Как «дополнительные корни», гифы микоризных грибов позволяют корням контактировать с большим объемом почвы по сравнению с тем, который охватывают собственно корневые волоски. Они помогают растению увеличить поглощение питательных веществ в целом, способствуют селективному поглощению ряда ионов. При этом выполнение данных функций осуществляется и в экстремальных для растения условиях окружающей среды, что позволяет ему противостоять стрессу. Как средообразователи, наружные гифы микоризных грибов способны выделять гломалин и гликопротеин – вещества, которые способны агрегировать частицы почвы, увеличивая влагостойкость почвенных агрегатов и улучшая структуру почвы. Некоторые виды микоризных грибов увеличивают солюбилизацию питательных веществ: переводят их в доступную для растений форму. Также они участвуют в доставке азота из почвенного органического вещества растению-хозяину.

Анализ механизмов взаимовыгодных отношений микроорганизмов и растений, а также продуктов, выделяющихся в процессе их жизнедеятельности полезен для разработки биологических средств защиты растений, активных природных консервантов для фармацевтических и косметических препаратов, развития отраслей, связанных с получением сырья. Продукция растениеводства сегодня может быть получена не только в условиях полей, но и в круглогодичных гидропонных установках. Беспочвенные субстраты (агро- и кокосовое волокно, перлит, минеральная вата, керамзит и др.) в той или иной степени также заселяются различными бактериями и грибами, которые выделяют во внешнюю среду продукты своей жизнедеятельности. Их изучение – перспективное направление современной биотехнологии.

Гидропоника – это способ беспочвенного выращивания растений, при котором растительный организм получает необходимые микро- и макроэлементы в нужных количествах и точных пропорциях из питательного раствора. Этот способ значительно снижает затраты на обработку почвы, защиту культур от вредителей, болезней и сорняков, также он позволяет выращивать большое количество растений на ограниченной площади и не зависеть от погодных и климатических условий.

В своих исследованиях мы выращивали растения на гидропонной установке приливно-отливного типа (Flood & Drain System). Питательный раствор в системе забирается из резервуара насосом, поступает в лотки с растениями, а после отключения самотеком поступает обратно в резервуар. Рабочая зона выращивания растений смонтирована из полипропиленовых поддонов длиной 120 см, шириной 55 см, высотой 10 см, расположенных в четыре яруса друг над другом. На каждом ярусе в поддон размещены по три подставки 37×50 см с 20 ячейками для пластиковых стаканчиков в каждом. Общий объем водного раствора, циркулирующего в системе, 60 л. Уклон поддонов для обеспечения

потока питательного раствора – 3°. Поток раствора по системе ПВХ-трубок создавался погружным насосом, автоматически настроенным на подачу раствора 5 раз в сутки.

Каждое растение было выращено из семян и распикировано в стаканчики на инертную минеральную вату. Важным преимуществом инертных субстратов является то, что они легко пропускают воздух и питательный раствор, хорошо смачиваются, не вступают в реакцию с растворенными веществами, имеют слабокислую или нейтральную реакцию, не препятствуют развитию корневой системы и удерживают растение в вертикальном положении. Минеральная вата в настоящее время активно используется для выращивания культур на гидропонике. Ее получают при плавлении смеси из 60% базальта, 20% известняка и 20% кокса при 1500–2000 °С. По составу она аналогична почвенным минералам, но не является источником питательных веществ. Минеральная вата имеет щелочную реакцию ($\text{pH} = 7,5\text{--}8,5$), но так как она не обладает буферной способностью, то она быстро принимает реакцию используемого питательного раствора. По физическим свойствам приближается к верховому торфу.

Культуры, высаженные на установку для исследований микроорганизмов в ризосфере, следующие: тимьян сорта «Радужный» и «Айболит», календула сорта «Яркие огни», мята сорта «Ментол» и «Кубанская», Melissa сорта «Лимонный чай». Мы проводили отбор проб корневой части этих растений. Корни промывали и стерилизовали последовательной обработкой 70% раствором этанола (5 мин), 5%-м раствором гипохлорита натрия (10 мин) и снова 70% раствором этанола (5 мин). Обработанные корни промывали 0,9% стерильным физиологическим раствором. В асептических условиях каждый корень измельчали скальпелем, помещали на поверхность плотной питательной среды ГРМ и отправляли на инкубацию при 30 °С на 24 ч. После инкубации выросшие колонии микроорганизмов отсеивали для получения чистых культур. Полученные изоляты окрашивали по Граму и изучали на наличие/отсутствие спор. С помощью биохимических тестов идентифицировали выделенные культуры до рода.

В результате исследований состава микробиома ризосферы на гидропонике, были идентифицированы представители рода *Azotobacter*, *Bacillus* и *Pseudomonas*. Синтез биологически активных веществ у них протекает с высокой интенсивностью и могут рассматриваться в качестве их продуцентов при создании биопрепаратов [3, 4]. Так, бактерии рода *Azotobacter* стимулируют рост растений, улучшают их питание, подавляют развитие фитопатогенных грибов и бактерий, восстанавливают почвенное плодородие, адаптируют к стрессам. Препараты на их основе становятся эффективными удобрениями и биоиндикаторами состояния окружающей среды. Представители *Pseudomonas*, помимо выше перечисленного, активно продуцируют ферменты и биосурфактанты. Бактерии рода *Bacillus* активно выделяют антибиотики с высоким уровнем антагонистической активности против различных пред-

ставителей грамположительной и грамотрицательной патогенной и условно-патогенной микрофлоры, ферменты, фитогормоны и аминокислоты.

Таким образом, изучение растений и состава их микробиома – актуальное направление развития биотехнологии. Поэтому поиск видоспецифичных источников продуцентов, выращенных в условиях лабораторий, перспективен и требует активных научных исследований.

Библиографический список

1. Ризосферные бактерии / Н. В. Феоктистова, А. М. Марданова, Г. Ф. Хадиева, М. Р. Шарипова // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2016. Т. 158. № 2. С. 207–224.
2. Мантрова М. В. Микобиота ризосферы овощных и цветочно-декоративных культур в условиях г. Сургута. DOI: 10.55355/snv2023121111 // Самарский научный вестник. 2023. Т. 12. № 1. С. 76–81.
3. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) / Д. А. Никитин, М. В. Семенов, Т. И. Чернов и др. DOI: 10.31857/S0032180X22020095 // Почвоведение. 2022. № 2. С. 228–243.
4. Биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* для управления здоровьем растений / М. В. Штерншис, А. А. Беляев, В. П. Цветкова и др. Новосибирск : Изд-во Сибирского отделения РАН, 2016. 233 с.

ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ ПОЧВЫ ПО РАЗВИТИЮ БАКТЕРИЙ РОДА *AZOTOBACTER*

А. И. Коротких¹, К. Е. Гусарова¹, Л. И. Домрачева^{1,2}

¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, *anastasi0301@yandex.ru*,

² Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
г. Сыктывкар, Россия, *nm-flora@yandex.ru*

Почвы урбанизированных территорий испытывают возрастающую антропогенную нагрузку, обусловленную воздействием транспорта, промышленных предприятий и иных техногенных факторов. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, направленные на биоиндикацию состояния городских почв с использованием различных групп микроорганизмов, включая бактерии рода *Azotobacter*. Одним из преимуществ данного подхода является экспрессность и доступность метода.

Ключевые слова: организмы-индикаторы, урбанозёмы, бактерии рода *Azotobacter*.

В настоящее время в условиях прогрессирующего загрязнения окружающей среды, связанного с интенсификацией промышленного производства и транспорта, мониторинг её состояния стал обязательным звеном в системе охраны природы. Большую информативность при оценке состояния почв, из-

менённых в результате антропогенной нагрузки, обеспечивают в частности биологические индикаторы. В качестве организмов-индикаторов при оценке состояния городской среды могут выступать различные группы микроорганизмов, низшие и высшие растения, включая лишайники [1–3], а также ряд беспозвоночных животных [4]. В практике биомониторинга чаще всего используют такие группы микроорганизмов, как цианобактерии, гетеротрофные бактерии, включая азотфиксаторов, водоросли, микромицеты [5–7].

Маркерными признаками патологического состояния микробиоты могут служить такие явления, как выпадение отдельных групп бактерий (например, азотфиксаторов), доминирование меланизированных форм микромицетов [8] и цианофитизация фототрофных комплексов [9]. Однако доказано, что в урбанозёмах сохраняются и вегетируют также полезные группы микроорганизмов. Выделение этих микроорганизмов в чистую культуру открывает широкие перспективы для их практического использования. Во-первых, они могут служить тест-культурами для биомониторинга загрязнений. Во-вторых, в биотехнологии ценные метаболиты этих штаммов способны ингибировать рост фитопатогенов или стимулировать рост высших растений. В-третьих, биомасса микробных культур перспективна в качестве сорбционного материала для эффективного удаления тяжелых металлов и других токсикантов [10, 11].

Особый интерес представляют бактерии рода *Azotobacter*, которые повсеместно встречаются в почвах любого типа и характеризуются выполнением целого ряда полезных функций, в частности, фиксацией атмосферного азота. Характерной особенностью этих бактерий является метаболическая адаптация при уменьшении в среде связанных соединений минерального и органического азота. Дефицит связанного азота активизирует ферментативную систему бактерий ответственную за фиксацию атмосферного азота. Конечными продуктами данного процесса становятся аминокислоты и белки. Спектр практического использования бактерий этого рода весьма широк. Исторически, уже в начале XX века, культуры этих микроорганизмов стали применять для изготовления бактериальных удобрений, которыми обрабатывают семена растений различных семейств перед посевом, что приводит к положительному эффекту и биологическому контролю фитопатогенов. Кроме того, эти бактерии используют в качестве организмов-индикаторов.

Целью исследования является биоиндикация состояния городских почв с использованием бактерий рода *Azotobacter*.

Материалом исследования послужили образцы почвы, отобранные на территории золоотвала Кировской ТЭЦ-4.

Выделение бактерий р. *Azotobacter* проводили методом обрастания почвенных комочков, разложенных на агаризованную среду Эшби в чашках Петри. Для этого в стерильные чашки Петри разливали расплавленную среду Эшби. При подготовке образца почвы к посеву в ступке растирали её с дистиллированной водой до состояния густой сметаны. Далее на застывшую среду микробиологической петлей размешали по 50 комочков почвы в каж-

дую чашку Петри (рис. 1). Среда Эшби выбрана как безазотистая среда с содержанием сахарозы в качестве источника углерода для бактерий и определённым набором минеральных солей, поэтому на данной среде могут расти только диазотрофы, использующие в качестве источника азота его молекулярные формы. При снятии опыта критерием токсичности почвы служили два показателя: степень обрастания почвы азотобактером и количество его меланизированных колоний.



Рис. 1. Обрастание комочков почвы бактериями р. *Azotobacter*

Наш опыт показал 100% обрастание комочков почвы колониями *Azotobacter*. Такой результат традиционно интерпретируется как признак благоприятного состояния экотопов. Однако все выделенные колонии имели бурую или тёмно-коричневую окраску, обусловленную синтезом меланиновых пигментов, которые являются средством адаптации разных организмов к неблагоприятным условиям (рис. 2).



Рис. 2. Образование меланизированных колоний

Химический анализ почвы показал, что неблагополучие данной территории связано с присутствием в почве тяжелых металлов (табл.). А превышение содержания сульфатов и хлоридов в почве (засоление) приводит к негативным последствиям для растений и плодородия грунта в целом.

Химический анализ почвы с территории золоотвала Кировской ТЭЦ-4

Определяемая характеристика, единицы измерения	Документ, устанавливающий правила и методы исследований	Результат испытаний
Водородный показатель (солевой вытяжки) pH	ГОСТ 26483-85	7,2
Массовая доля органического вещества, %	ГОСТ 26213-2021 п. 6.1	0,35
Массовая доля подвижных соединений фосфора, мг/кг	ГОСТ 54650-2011	600
Массовая доля подвижных соединений калия, мг/кг		73
Массовая доля аммонийного азота, мг/кг	ГОСТ 24689-85	30,9
Массовая доля марганца, мг/кг	ФР.1.31.2007.04106	590±140
Массовая доля железа, мг/кг		26000±140
Массовая доля свинца, мг/кг		4,4±0,9
Массовая доля кадмий, мг/кг		0,19±0,06
Массовая доля мышьяка, мг/кг	ФР.1.31.2009.06624	0,40±0,08
Массовая доля общей ртути, мг/кг	ПНДФ 16.1:2.2.80-2013	0,360±0,016
Сульфат-ион, мг/кг	ГОСТ 26425-85 п. 1	70,6
Хлорид-ион, мг/кг		68

Таким образом, установлено, что на урбанизированных территориях бактерии рода *Azotobacter* эволюционируют, обеспечивая себе выживание в загрязнённой поллютантами среде за счёт интенсивного синтеза защитных пигментов, причём стопроцентное окрашивание служит одним из показателей загрязнения исследуемой почвы.

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. Дейнега Е. А., Савватеева О. А. Экспресс-контроль антропогенной трансформации городских экосистем методами биоиндикации хвойных пород // Фундаментальные исследования. 2012. № 5. Ч. 2. С. 407–411.
2. Султанова С., Назаренко О. В. Использование лишеноиндикации для оценки загрязнения воздуха города Таганрога. DOI: 10.23670/IRJ.2024.142.108 // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 4(142). С.1–4.
3. Домнина Е. А., Огородникова С. Ю., Пестов С. В., Ашихмина Т. Я. Методы лишеноиндикации в оценке загрязнения атмосферного воздуха соединениями фосфора. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-037-044 // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 4. С. 37–44.
4. Рындович С. К. Использование беспозвоночных для биоиндикации экологического состояния водных экосистем // Экология на современном этапе развития общества : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Барановичи : РИО БарГУ, 2014. С. 189–197.

5. Использование методов биоиндикации при исследовании экологического состояния городской среды / М. В. Протасова, Е. П. Проценко, И. В. Петрова и др. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-13136 // Экология урбанизированных территорий. 2019. № 3. С. 136–140.

6. Кондакова Л. В., Домрачева Л. И. Специфика цианобактериальных комплексов при различных видах загрязнения почвы // Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 110-летию со дня рождения профессора Эмилии Адриановны Штиной. Киров : Вятская ГСХА, 2020. С. 68–73.

7. Блинова А. Л., Домрачева Л. И. Азотобактериальная индикация состояния урбаноземов // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XV Всерос. с междунар. уч. науч.-практ. конф. Книга 2. Киров : Вятский государственный университет, 2020. С. 43–45.

8. Меланинсодержащие микромицеты в почвах и органических отходах / В. А. Терехова, Е. В. Федосеева, В. Д. Волкова и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-204-213 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 204–213.

9. Цианобактерии городских почв / Л. И. Домрачева, Л. В. Кондакова, Ю. Н. Зыкова, В. А. Ефремова // Принципы экологии. 2013. № 4 (8). С. 10–27.

10. Скугорева С. Г., Кантор Г. Я., Домрачева Л. И. Биосорбция тяжёлых металлов микромицетами: особенности процесса, механизмы, кинетика. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-014-031 // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 14–31.

11. Чугайнова А. А., Рудакова Л. В. Механизм биосорбции металлов из электронных отходов микроскопическими водорослями. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-4-118-124 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 4. С. 118–124.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭПИФИТНЫХ МИКРОБНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЛИШАЙНИКА *HYPOGYMNIA PHYSODES* И *PINUS SYLVESTRIS*

**А. И. Коротких¹, Е. А. Домнина^{1, 2}, Л. В. Трефилова¹,
Л. И. Домрачева^{1, 2}, А. С. Тимонов^{2, 3}**

¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, nt-flora@yandex.ru,

² Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
г. Сыктывкар, Россия, edomnina68@gmail.com,

³ Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, ecolab2@gmail.com

В статье представлена характеристика эпифитных микробных комплексов *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl и коры сосны обыкновенной *Pinus sylvestris*, на которой произрастает лишайник. Установлено, что численность эпифитной микробиоты различна у *H. physodes* (L.) Nyl и субстрата её произрастания, а доминирующим компонентом в структуре микробных комплексов лишайника и коры сосны являются аммонификаторы.

Ключевые слова: микробиом лишайника, «триада эпифитов», *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl, *Pinus sylvestris*.

На протяжении всей жизни растения находятся в тесном взаимодействии с разнообразными микроорганизмами (МО): вирусами, бактериями, грибами и водорослями. Такие взаимосвязи между макро- и микроорганизмами во многом сходны с теми, которые сформировались в процессе коэволюции человека, животных и сопровождающей их микробиоты. Согласно концепции хологенома, растения и животные перестают рассматриваться как самостоятельные единицы – их определяют в качестве биомолекулярных сетей, объединяющих геномы самого хозяина и обитающих на нём микроорганизмов [1, 2]. Данный подход позволяет по-новому интерпретировать тесную взаимосвязь растений с эпифитными микроорганизмами, которые обитают на их поверхности.

В частности, особый интерес представляет своеобразная группа низших растений – лишайники, формирующие мутуалистический симбиотический комплекс гриба с водорослями или цианобактериями. Специфический микробный таллом лишайника дополнительно содержит на своей поверхности определённый комплекс эпифитных гетеротрофных МО. Этот микробиом не только участвует в жизнедеятельности лишайника, но и способствует стабилизации условий его обитания, а также играет роль в деструкционных процессах после отмирания лишайникового слоевища [3].

Примечательно, что возможно возникновение «триады эпифитов»: микробиом лишайника, сам лишайник и поверхность растений, на которых они обитают. Считается, что определённых взаимоотношений между эпифитными лишайниками и высшими растениями нет. Имеются данные, что для разных видов деревьев свойственны специфические группировки лишайников. Например, на осинах в большинстве случаев преобладают три вида: *Xanthoria parietina*, *Physcia pulverulenta* и *Parmelia sulcata*. На сосне чаще всего можно встретить *Usnea longissima* и *Ramalina thrausta* тогда как на рябине и дубе – *P. sulcata*. В расселении того или иного вида лишайников имеет значение строение коры (физические свойства, химический состав, кислотность и др.), а также климатические условия, в которых произрастает данная группа лишайников [4].

В наших исследованиях в качестве тройных эпифитных связей был выбран лишайник *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl произрастающий на коре сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Этот вид лишайников, способный длительное время произрастать на коре сосны, применялся для оценки загрязнения воздуха в зоне действия объекта «Марадыковский» (хранение и уничтожение химического оружия). После завершения работы объекта экологический мониторинг в регионе продолжается [5, 6].

Целью работы является сравнительная характеристика численности и группового состава микробиомов листоватого лишайника *Hypogymnia*

physodes (L.) Nyl и сосны обыкновенной, на которой растёт данный вид лишайника.

Объектами наших исследований стали листоватые лишайники *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl и кора сосны обыкновенной, отобранные на разных участках вблизи пос. Мирный: лишайник-4, кора-4 и лишайник-16, кора-16. Цифровые обозначения соответствуют участкам отбора объектов, которые были заложены в 2004–2005 гг. в рамках экологического мониторинга региона [7, 8].

Для количественной оценки эпифитной микробиоты, ассоциированной с лишайниками и корой сосны, использовали метод поверхностного смыва с последующим культивированием микроорганизмов на агаризованных средах. Численность трёх групп микроорганизмов – аммонификаторов (ГРМ-агар), азотфиксаторов (среда Эшби) и микромицетов (среда Чапека) – устанавливали методом последовательных разведений. Для каждой питательной среды посев выполняли в трёх повторностях.

Согласно данным анализа, эпифитная микробиота характеризуется неодинаковым количественным обилием: различия установлены как между разными участками отбора проб, так и между слоевищами талломов лишайников и субстратами их произрастания (табл. 1). Установлено, что на талломах лишайника *H. physodes* суммарное обилие микроорганизмов в варианте 4 в 2 раза выше, чем в варианте 16. При этом в обоих вариантах лидирующее положение занимали аммонификаторы; аналогичное доминирование ранее отмечалось в исследованиях эпифитной микрофлоры других листоватых лишайников [9–11].

Микробиота коры была менее обильной по сравнению с лишайниковыми талломами: в варианте лишайник-4 численность эпифитов лишайников превышала таковую на коре в 8 раз, а в варианте лишайник-16 – в 3 раза.

Таблица 1

Численность эпифитной микробиоты лишайника и коры (КОЕ/г · 10³)

№	Вариант	Аммонификаторы (ГРМ)	Азотфиксаторы (Эшби)	Микромицеты (Чапека)	Общее количество
1	Лишайник-4	114,33±6,67	68,33±7,09	75,33±3,51	257,99±17,27
2	Кора-4	17,00±2,64	5,33±1,15	6,67±1,15	29,00±4,94
3	Лишайник-16	43,33±4,72	41,67±4,51	31,33±3,78	116,33±13,01
4	Кора-16	16,33±1,15	6,67±1,15	13,67±1,53	37,00±3,83

Как показал групповой анализ (табл. 2), ключевой особенностью эпифитных микробных сообществ лишайника и его субстрата является стабильность структуры: при всех количественных различиях в обоих вариантах наблюдается примерно равное соотношение аммонификаторов, азотфиксаторов и микромицетов.

Таблица 2

Структура эпифитных микробных комплексов лишайников и коры (%)

№	Вариант	Аммонификаторы	Азотфиксаторы	Микромицеты
1	Лишайник-4	44	26	30
2	Кора-4	59	18	23
3	Лишайник-16	37	36	27
4	Кора-16	44	18	38

Таким образом, по результатам экспериментов выявлено, что количество эпифитных микроорганизмов, ассоциированных с лишайником *H. physodes* (L.) Nyl и с корой дерева-субстрата, различается в зависимости от места сбора образцов. При этом структура микробных сообществ оказывается сходной: во всех случаях доминируют аммонификаторы, тогда как доля азотфиксаторов и микромицетов остаётся относительно сопоставимой.

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. Bordenstein S., Theis K. Host biology in light of the microbiome: ten principles of holobionts and Hologenomes. DOI: 10.1371/journal.pbio.100222 // PLoS Biol. 2015. Vol. 13. No. 8. Article No. e1002226.
2. Guerrero R., Margulis L., Berlanga M. Symbiogenesis: the holobiont as a unit of evolution. DOI: 10.2436/20.1501.01.188 // Int. Microbiol. 2013. Vol. 16. No. 3. P. 133–143.
3. Cardinale M., Puglia A. M., Grube M. Molecular analysis of lichen-associated bacterial communities. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2006.00133.x // FEMS Microbiol. Ecol. 2006. Vol. 57. P. 484–495.
4. Водоросли, лишайники и мохообразные СССР: справочник-определитель географии и путешественника / Л. В. Гарибова, Ю. К. Дундин, Т. Ф. Коптяева, В. Р. Филин. Отв. ред. М. В. Горленко. М. : Мысль, 1978. 365 с.
5. Домнина Е. А. Физиолого-биохимические изменения у трансплантированного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. под влиянием атмосферного загрязнения // Актуальные проблемы регионального экологического мониторинга: теория, методика, практика : сб. материалов Всерос. науч. школы. Вып. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2004. С. 143–145.
6. Домнина Е. А., Ашихмина Т. Я., Тимонов А. С. Изучение содержания некоторых элементов в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl // Лишайники: от молекул до экосистем : материалы докладов Междунар. конф. Сыктывкар : Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2024. С. 27–28.
7. Биоиндикация и биотестирование природных сред как основа экологического контроля на территории зоны защитных мероприятий объекта по уничтожению химического оружия / Т. Я. Ашихмина, Л. И. Домрачева, Л. В. Кондакова и др. // Российский химический журнал. 2007. № 2. С. 59–63.
8. Система биологического мониторинга компонентов природной среды в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский» Кировской области / Т. Я. Ашихмина, Л. И. Домрачева, Е. А. Домнина и др. // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 4. С. 32–38.

9. Сравнительный анализ химического состава и особенностей поверхностных микробных комплексов лишайников и субстратов их произрастания / С. Г. Скугорева, Л. И. Домрачева, А. И. Фокина и др. DOI: 10.14258/jcprm.20220110122 // Химия растительного сырья. 2022. № 1. С. 141–152.

10. Ковина А. Л., Домрачева Л. И., Малинина А. И. Эпифиты листоватых лишайников // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2018. С. 233–235.

11. Ростстимулирующая активность листоватых лишайников / Л. И. Домрачева, А. Л. Ковина, С. Ю. Огородникова и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-1-130-135 // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 130–135.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕЛЬЧЁННОЙ БИОМАССЫ ЛИШАЙНИКА *HYPOGYMNIA PHYSODES* И КОРЫ *PINUS SYLVESTRIS* НА РОСТ И РАЗВИТИЕ *LUPINUS ANGUSTIFOLIUS*

**А. И. Коротких¹, А. Л. Ковина¹,
Т. Н. Тропникова², Л. И. Домрачева^{1,3}**

¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Россия, nt-flora@yandex.ru,

² Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, tayatrop@gmail.com,

³ Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
г. Сыктывкар, Россия, dli-alga@mail.ru

Показана возможность практического использования листоватого лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. и коры *Pinus sylvestris* при выращивании люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.). В модельных опытах установлен ростстимулирующий эффект измельчённой биомассы лишайника и его субстрата произрастания коры сосны обыкновенной на биометрические и биохимические показатели люпина узколистного.

Ключевые слова: ростстимулирующий эффект, лишайник, кора сосны обыкновенной, индекс роста, перекисное окисление липидов.

Лишайники, представляющие собой лихенизированные аскомицеты, образуют особую группу низших растений. Их эволюция неразрывно связана с возникновением взаимовыгодного симбиоза между гетеротрофным (грибы) и автотрофным (водоросли и/или цианобактерии) компонентами. Наряду с мутуалистическим симбиозом, лишайникам свойственны и отношения комменсализма с различными партнёрами. В данном случае поверхность их слоевища служит субстратом для микроорганизмов (МО) из разных систематических групп, которые, в свою очередь, выполняют определённые функции в жизни лишайника [1].

В лишайниках обнаружено большое количество различных органических соединений. К числу первичных веществ относятся хитин, лихенин, гемицеллюлозы, пектин, дисахариды, полиспирты, аминокислоты, витамины и пигменты – они не только участвуют в построении структур клеток, но и играют роль в обмене веществ. Что касается вторичных метаболитов (таких как фумарпротоцетровая, салициловая, усниновая, леканоровая кислоты и ряд других), их точное биологическое назначение в настоящее время еще окончательно не установлено. Известно, что лишайниковые кислоты обладают антибиотическими свойствами, атранорин участвует в фотосинтезе, париедин действует как светофильтр, т. е. защищая фотобионт от чрезмерной инсоляции [2, 3].

Лишайниковые метаболиты способствуют перемещению углеводов от фототрофного компонента к грибному и участвуют в разложении минеральных пород. Кроме того, лишайники являются уникальным природным источником низкомолекулярных фенольных соединений, обладающих выраженными антимикробными и антипаразитарными свойствами [4].

Благодаря богатому биохимическому составу в последние годы лишайники пытаются использовать не только в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды, но и в качестве потенциального источника различных биологически активных веществ. В частности, в качестве одного из перспективных способов практического использования лишайников рассматривается получение на их основе препаратов для предпосевной обработки семян, а также биостимуляторов роста, применяемых в растениеводстве [5, 6]. Подобный подход позволил бы отказаться от применения пестицидов и искусственных стимуляторов роста. Последние нередко вызывают негативные эффекты: сокращение численности и разнообразия полезных организмов, дисбаланс биотических связей в агроэкосистемах и общее ухудшение экологической ситуации.

В частности, было доказано, что лишайники служат средством, способным оказывать ростстимулирующий эффект на семена растений семейства Fabaceae [7, 8]. Дополнительно при изучении влияния мульчи лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl на рост и развитие *Lupinus angustifolius* L., было выдвинуто предположение о том, что сам субстрат, на котором произрастает лишайник, также может выступать в качестве триггера, вызывающего положительные морфометрические изменения у растения.

Исходя из этого, объектом данного изучения стала кора сосны обыкновенной – естественный субстрат, на котором обитает лишайник гипогимния.

Целью наших исследований является изучение возможности использования лишайника *H. physodes* (L.) Nyl и коры сосны обыкновенной как стимуляторов роста бобовых растений на примере *Lupinus angustifolius* L.

В качестве объектов исследований использовали семена люпина узколистного *Lupinus angustifolius* L., а также мульчу лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) и коры сосны, собранных на разных участках вблизи пос. Мирный, Оричевского района, Кировской области. Объекты исследования услов-

но обозначены как лишайник-4, кора-4 и лишайник-16, кора-16. Цифровые обозначения соответствуют участкам отбора объектов, которые были заложены в 2004–2005 годах в рамках экологического мониторинга региона [9, 10].

Для оценки влияния мульчи лишайника и коры сосны на рост и развитие люпина узколистного использовали метод рулонных культур. В опытных вариантах на полоску фильтровальной бумаги высотой 10 см размещали по 20 семян люпина и обрабатывали сверху биомассой сухих лишайника и коры сосны в количестве 1 г, измельчённых до порошковидного состояния в лабораторной мельнице. Контролем был вариант без внесения мульчи с помещением рулонных культур в артезианскую воду. Опыт проводили в 3-кратной повторности.

При снятии опыта через 7 сут определяли всхожесть семян, длину корней, высоту проростков, индекс роста, а также показатель интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ), определяемой по накоплению малонового диальдегида (МДА).

Индекс роста рассчитывали по формуле:

$$I = (R + P) \cdot D,$$

где I – индекс роста, усл. ед.; R – суммарное значение длин корней, см; P – суммарное значение длин проростков, см; D – доля проросших семян, % [11].

При снятии опыта было обнаружено, что всхожесть семян люпина узколистного в контрольном варианте составляет 73%. Максимальный показатель – 92% фиксируется в варианте лишайник-16. Снижение всхожести по сравнению с контролем наблюдается в варианте кора-4. Таким образом, лишайниковая мульча повышает всхожесть семян, но для коры это утверждение не абсолютно (табл. 1). Наиболее убедительным доказательством ростстимулирующего эффекта лишайниковой и коровой мульчи является индекс роста, который во всех вариантах превышает аналогичный показатель контроля. Практически по всем показателям лучшие результаты, связанные со стимуляцией роста, отмечены для варианта лишайник-16. Положительные эффекты исследуемых агентов (лишайникового и корового) объясняются, вероятно, их воздействием на механизмы ускорения физиологического созревания, что повышает всхожесть семян.

Таблица 1

Влияние лишайника *H. physodes* (L.) и коры сосны обыкновенной на рост и развитие люпина узколистного

Вариант	Всхожесть семян D, %	Высота проростков P, см	Длина корней R, см	Индекс роста I, у.е.
Контроль	73,00	6,41±1,06	5,04±0,68	835,85
Лишайник-4	83,00	7,75±1,70	6,45±1,15	1178,60
Кора-4	63,00	8,22±1,62	6,12±1,50	903,42
Лишайник-16	92,00	8,70±0,30	6,36±0,57	1385,52
Кора-16	80,00	8,13±1,25	5,88±1,08	1120,80

Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные значения показателей.

Примером воздействия биоагентов на физиологическое состояние люпина является определение ПОЛ. В основе перекисного окисления липидов лежит цепная реакция с участием свободных радикалов. Её развитие в растительной клетке сопровождается разнообразными нарушениями: изменением конформации белков и повреждением молекул ДНК, расстройством мембранных структур, инактивацией энзимов, возникновением дефектов в липидном бислое и усилением проницаемости для ионов. Как следствие, происходит потеря электролитов клеткой, развивается энергетический голод, а в тканях фиксируется избыток малонового диальдегида (МДА) – соединения, которое используют как диагностический признак окисления липидов.

Усиление ПОЛ может указывать как на развитие патологических процессов, так и на адаптационную перестройку растительного организма. В данном эксперименте активатором окисления служила мульча из гипогимнии и сосновой коры. По содержанию МДА в корнях и листьях люпина узколистного можно сделать вывод о характере влияния указанных компонентов – позитивного или негативного – на развитие культуры [12].

При проращивании люпина с добавлением измельчённой сухой биомассы лишайника и коры сосны наблюдалось изменение уровня активности ПОЛ в клетках. Снижение накопления МДА в проростках люпина в опытных вариантах по сравнению с контролем указывает на то, что лишайник и кора оказывают благоприятное действие на рост и развитие растений за счёт уменьшения интенсивности окислительных процессов (табл. 2).

Таблица 2

Накопление малонового диальдегида (МДА) при перекисном окислении липидов в проростках люпина узколистного на 7 сутки, мкмоль/г

Варианты	Содержание МДА	% к контролю
Побеги		
Контроль	0,0580±0,0005	100,0
Лишайник-4	0,0300±0,0010	51,7
Кора-4	0,0360±0,0030	62,1
Лишайник-16	0,0460±0,0038	79,31
Кора-16	0,0350±0,0006	60,3
Корень		
Контроль	0,0250±0,0029	100,0
Лишайник-4	0,0290±0,0016	116,0
Кора-4	0,0330±0,0004	132,0
Лишайник-16	0,0360±0,0005	144,0
Кора-16	0,0190±0,0014	76,0

В отличие от надземных органов, корни люпина узколистного демонстрируют иную реакцию на присутствие мульчи лишайника и коры сосны. Увеличение содержания МДА наблюдается в вариантах лишайник-4, кора-4 и лишайник-16. Снижение окислительных процессов фиксировали в варианте кора-16, с показателем ниже, чем в контрольном варианте (0,19). Повышение содержания МДА по сравнению с контрольным вариантом, вероятно, объяс-

няется тем, что лишайник, находящийся в прямом контакте с корнями, действовал как стресс-фактор, индуцирующий окислительные процессы в клетках.

Таким образом, наши исследования показали, что в качестве биоагентов, стимулирующих морфометрические и адаптационные процессы люпина узколистного, могут выступать как измельчённые талломы лишайника *H. physodes* (L.) Nyl., так и сухая биомасса коры сосны. Поскольку естественным субстратом для этого лишайника служит именно кора сосны, синхронизация положительного эффекта, вероятно, обусловлена метаболитами данных биоагентов.

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. The lichens' microbiota, still a mystery? / M. Grimm, M. Grube, U. Schiefelbein, et al. DOI: 10.3389/fmicb.2021.623839 // Front Microbiol. 2021. Vol. 12. P. 1–25.
2. Podterob A. P. Chemical composition of lichens and their medical applications. DOI: 10.1007/s11094-009-0183-5 // Pharm. Chem. J. 2008. Vol. 42. P. 582–588.
3. Влияние стрессовых воздействий на компонентный состав лишайников рода *Cladonia* евроарктического региона / О. С. Бровко, И. А. Паламарчук, А. А. Слобода и др. DOI: 10.17513/use.36072 // Успехи современного естествознания. 2016. № 8. С. 20–24.
4. Сравнительный анализ химического состава и особенностей поверхностных микробных комплексов лишайников и субстратов их произрастания / С. Г. Скугорева, Л. И. Домрачева, А. И. Фокина и др. DOI: 10.14258/jcprtm.20220110122 // Химия растительного сырья. 2022. № 1. С. 141–152.
5. Храмченкова О. М. Влияние биомассы лишайников на прорастание семян корнеплодных систем // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. 2019. № 2. С. 82–86.
6. Shukla V., Joshi G. P., Rawat M. S. M. Lichens as a potential natural source of bioactive compounds: A review. DOI: 10.1007/s11101-010-9189-6 // Phytochem. Rev. 2010. Vol. 9. No. 2. P. 303–314.
7. Рост и развитие люпина узколистного в присутствии лихенобиоты / Л. И. Домрачева, С. Г. Скугорева, А. И. Коротких и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-2-183-188 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 183–188.
8. Влияние мульчи лишайников на рост фасоли обыкновенной / А. И. Коротких, А. Л. Ковина, Л. В. Трефилова и др. // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 291–294.
9. Система биологического мониторинга компонентов природной среды в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский» Кировской области / Т. Я. Ашихмина, Л. И. Домрачева, Е. А. Домнина и др. // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 4. С. 32–38.
10. Реакция эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. на загрязнение атмосферного воздуха соединениями фосфора / Е. А. Домнина, С. Ю. Огородникова, С. В. Пестов, Т. Я. Ашихмина // Лишайники: от молекул до экосистем : программа и тезисы докладов Междунар. конф. Сыктывкар : Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2019. С. 28–29.

11. Abdul-Baki A. A., Anderson J. D. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. DOI: 10.2135/cropsci1973.0011183x001300060013x // CropScience. 1973. Vol. No. 13. P. 630–633.

12. Лукаткин А. С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2002. 208 с.

АЦИДОФИЛЬНЫЙ ЖЕЛЕЗООКИСЛЯЮЩИЙ ШТАММ Тио1 ИЗ ПОДОТВАЛЬНЫХ ВОД ХАЛЬКОПИРИТНОЙ РУДЫ

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. Скрабина РАН),
г. Пушкино, Московская область, Россия, kuv@ibpm.pushchino.ru*

Предложена лабораторная модель амперометрического биосенсора кюветного типа для оценки влияния сульфата железа(II), формиата натрия и мышьяковой кислоты на дыхательную активность ацидофильных железокисляющих бактерий Тио1.

Ключевые слова: ацидофильные железокисляющие бактерии, иммобилизация, кислородный электрод Кларка, формиат натрия, сульфат железа(II), мышьяковая кислота.

Ацидофильные железокисляющие бактерии применяют для биодобычи ценных металлов из минерального сырья. Характеристика физиологических свойств, в частности, оценка субстратной специфичности штаммов, важна для отбора бактерий с целью их эффективного применения к конкретному типу минерального сырья [1]. Критериями отбора штаммов, применяемых для выщелачивания, являются степень резистентности к тяжелым металлам и соединениям мышьяка [2].

Целью работы являлась оценка влияния на дыхательную активность штамма Тио1 сульфата железа(II), формиата натрия, и мышьяковой кислоты.

Преимуществом ацидофильных штаммов, выделенных из минерального сырья, является их резистентность к ионам тяжелых металлов и токсичным соединениям, в частности, к мышьяковой кислоте. Механизм резистентности обеспечивается геномными особенностями штамма и его преадаптированностью в условиях существования.

В работе использовали штамм ацидофильных железокисляющих бактерий Тио1, который был выделен из подотвальных вод халькопиритной руды (Оренбургская область, Россия). Бактерии выращивали в стационарных условиях в течение 7 сут при температуре 28 °С на жидкой минеральной среде [3]. Биомассу отделяли центрифугированием, ресуспендировали в растворе А (рН = 2,2) [4]. Клетки иммобилизовали методом физической адсорбции. Для этого аликвоту суспензии помещали на носитель, в качестве которого ис-

пользовали стеклобумагу. Полученный биорецептор с иммобилизованными клетками (ИмК) фиксировали на измерительной поверхности кислородного электрода типа Кларка, использованного в качестве преобразователя [5]. Для измерения сигналов электрод с биорецептором погружали в кювету емкостью 2 мл при постоянном перемешивании, и вносили пробу объемом 100 мкл. Измерения электрических сигналов проводили с помощью потенциостата IPC-Micro (ООО «Кронас», Россия), интегрированного с персональным компьютером [5].

Дыхательные реакции оценивали по влиянию искомого соединения на интенсивность дыхательной активности.

Для характеристики ИмК штамма Тио1 исследовали влияние на его дыхательную активность сульфата железа(II). Полученные данные представлены на рисунке 1.

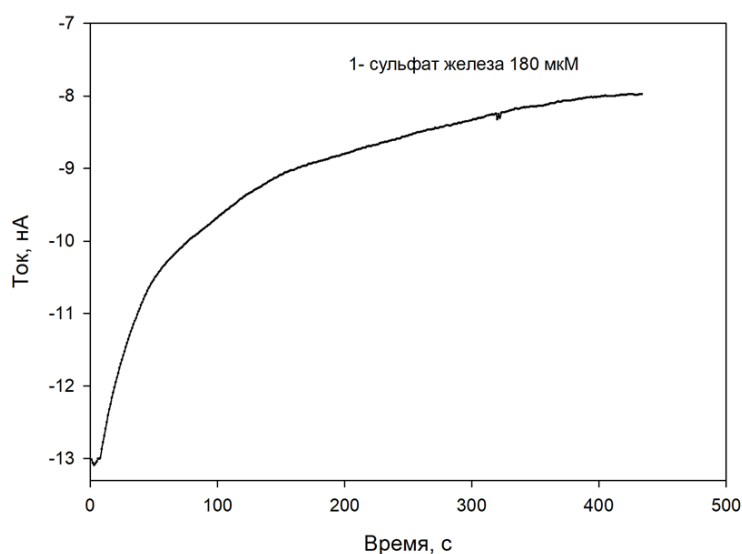


Рис. 1. Ответ иммобилизованных клеток штамма Тио1 на введение в измерительную среду сульфата железа(II)

Из рисунка 1 видно, что введение сульфата железа(II) вызывало снижение уровня растворенного кислорода в кювете за счет его потребления штаммом Тио1. Акт окисления железа(II) был обусловлен активностью белков электронно-транспортной цепи, кодируемыми опероном *rus* и участвующими в переносе электронов от Fe(II) к O₂.

При введении формиата натрия (той же концентрации, что и сульфат железа(II) 180 мкМ), наблюдали снижение дыхательной активности ИмК штамма Тио1 на 50% по сравнению с сульфатом железа(II). При введении метанола дыхательная активность ИмК штамма Тио1 практически не менялась.

Преимуществом ацидофильных штаммов, выделенных из минерального сырья, является их устойчивость к тяжелым металлам и токсичным соединениям, например, мышьяка. Механизм устойчивости обеспечивается преадаптированностью штаммов в их условиях существования. В нашем случае, месторождение металлов представляло собой источник меди, цинка, железа и др.

Исследовано влияние мышьяковой кислоты на дыхательную активность ИмК штамма Тио1. Полученные данные представлены на рисунке 2.

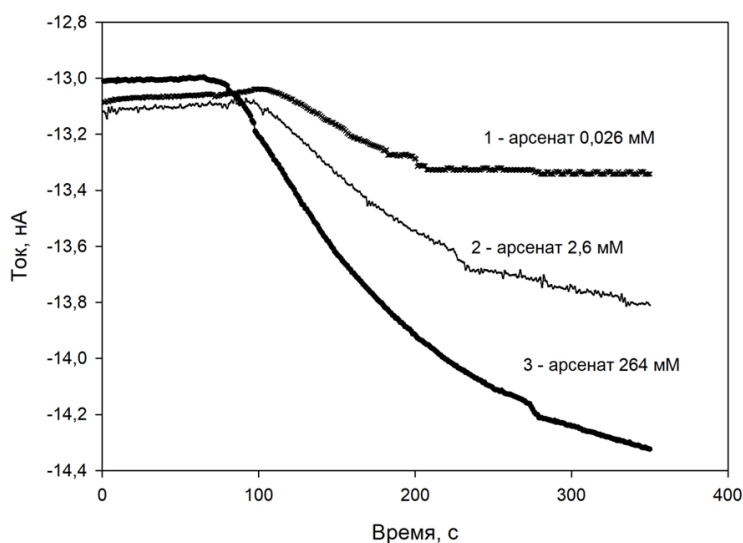


Рис. 2. Влияние концентрации мышьяковой кислоты в концентрациях 0,026; 2,60; 264,00 мМ на дыхательную активность ИмК штамма Тио1

На рисунке 2 показано, что даже низкие концентрации мышьяковой кислоты вызывали ингибирование дыхания. Зависимость носила градуальный характер. С увеличением концентрации степень ингибирования дыхания увеличивалась.

Ранее было показано [5], что ИмК штамма Тио1 при внесении сульфата меди и сульфата цинка каждого из четырех исследуемых концентраций в диапазоне от 0,79 до 12,6 мМ сохраняли дыхательную активность.

В заключении отметим, что проведенные тестовые измерения демонстрируют наличие железooksисляющей способности ИмК штамма Тио1. Действие мышьяковой кислоты ИмК штамма Тио1 приводит к ингибированию дыхательной активности штамма.

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках государственного задания № FMRM-2026-0020.

Библиографический список

1. Булаев А. Г. Новые направления в развитии биогидрометаллургии. DOI: 10.25018/02361493-2021-3-1056 // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 3. С. 56–87.
2. Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий : монография / В. А. Кныш, Ф. Д. Ларичкин, М. А. Невская и др. DOI: 10.37614/978.5.91137.417.4. Апатиты : Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2019. 252 с.
3. Silverman M. P., Lundgren D. G. Studies on the chemoautotrophic iron bacterium *Ferrobacillus ferrooxidans*. I. An improved medium and a harvesting procedure for securing high cell yields. DOI: 10.1128/jb.77.5.642-647.1959 // J. Bacteriol. 1959. Vol. 77. No. 5. P. 642–647.

4. Periplasmic proteins of the extremophile *Acidithiobacillus ferrooxidans*: a high throughput proteomics analysis / A. Chi, L. Valenzuela, S. Beard, et al. DOI: 10.1074/mcp.M700042-MCP200 // MCP. 2007. Vol. 6. No. 12. P. 2239–2251.

5. Амперометрический метод оценки влияния солей меди и цинка на дыхательную активность хемолитотрофных ацидофильных бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* / Т. Н. Кувичкина, А. А. Ячкула, М. Б. Вайнштейн, А. Н. Решетилов // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров 17–19 ноября 2025 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2025. С. 127–130.

АНТАГОНИЗМ КУЛЬТУР БАКТЕРИЙ И ШТАММА *ASPERGILLUS NIGER* F-4815D

А. З. Миндубаев¹, Э. В. Бабынин¹, Ю. Р. Царькова², И. А. Дегтярева¹

¹ Федеральный исследовательский центр КазНЦ РАН,
г. Казань, Россия, mindubaev-az@yandex.ru,

² Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

Консорциумы микроорганизмов справляются с биodeградацией более эффективно, чем чистые культуры. Однако не любые виды подходят для создания консорциумов. Некоторые подавляют жизнедеятельность друг друга, то есть, проявляют антагонизм. Поэтому, создание эффективно работающего консорциума микробов – это всегда результат кропотливой работы, которая начата в представленном исследовании.

Ключевые слова: бактерии, грибы, биodeградация, *Aspergillus niger*, консорциумы.

На протяжении одиннадцати с лишним лет главным объектом изучения нашего коллектива является штамм *Aspergillus niger* AM1 ВКМ F-4815D, обладающий способностью к переработке элементного фосфора, которая до сих пор никем не исследовалась. Кроме того, данный штамм оказался способен к деструкции широкого ряда промышленных поллютантов. До сих пор исследовалась исключительно чистая культура данного гриба. Между тем, преимущество смешанных культур бактерий с грибами в разложении различных загрязняющих веществ, включая нефтяные углеводороды, было доказано в нескольких исследованиях [1].

Таким образом, сейчас мы стоим на пороге новой тематики, цель которой – сравнение эффективности биodeградации чистой культурой гриба и его консорциумов с бактериями, которая потенциально может быть еще выше. Этой работе предшествует исследование способности *A. niger* F-4815D к формированию консорциумов с бактериями, а также изучение возможного антагонизма данной культуры по отношению к культурам различных бактерий. Подобное исследование в отношении *A. niger* F-4815D не проводилось.

В работе было использовано 6 видов бактерий: *Bacillus thuringiensis* (5V), *Shinella zoogloeoides* (ZH), *Pseudomonas stutzeri* (8), *Staphylococcus warneri* (2), *Achromobacter xylosoxidans* (10) и *Pseudomonas synxantha* (R39). Культура штамма R39 была предоставлена д. б. н., профессором Казанского государственного аграрного университета, заведующим кафедрой «Общее земледелие, защита растений и селекция» Р. И. Сафиным.

Для выявления противогрибковой активности мы использовали следующий метод нанесения культур на поверхность мясо-пептонного агар. Культура бактерий наносится стерильной петлей двумя полосами под углом 90° (рис.).

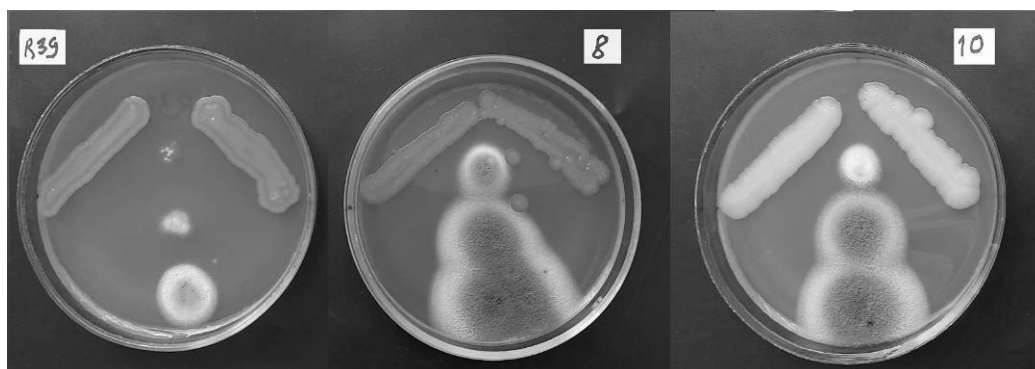


Рис. Рост колоний *Aspergillus niger* на чашке с бактериальными культурами.

Оригинальный посев в форме «дома с покатой крышей», где роль «крыши» выполняют бактерии, а самого «дома» – грибы, разработан Э. В. Бабыниным и позволяет наглядно оценивать антагонизм двух видов

Суспензия спор гриба наносится одинаковыми объемами (10 мкл) в трех точках начиная от угла, образованного бактериальными культурами, в середине чашки и на противоположной стороне от точки сближения бактериальных культур. Таким образом, на чашке создается градиент экстраклеточных бактериальных продуктов с противогрибковой активностью. Далее чашки инкубируются в течение 7 сут при температуре 28 °С.

Данный метод позволяет оценить противогрибковую активность количественно. Степень подавления роста культуры гриба можно измерить как отношение диаметра ближайшей к бактериям колонии к наиболее удаленной. В этом тесте также дополнительно можно отметить отсутствие или наличие спорообразования у ближайшей к бактериям колонии гриба. Отсутствие спорообразования свидетельствует об ингибировании этого процесса бактериальными метаболитами.

Бактерии, использованные в настоящей работе, были выделены из нефтезагрязненной почвы на территории Ромашкинского месторождения Республики Татарстан и считаются перспективными для биоремедиации нефтезагрязненных территорий. *A. niger* F-4815D выделен в 2014 г. в Институте органической и физической химии имени А. Е. Арбузова из стеклянной емкости, в которой хранился технический кусковой белый фосфор в толще дистиллированной воды. Этот штамм стал первым живым организмом, для

которого отмечена способность к биodeградации элементного фосфора путем его окисления до фосфата [2].

Полученные результаты показали, что все исследуемые нами штаммы бактерий имели противогрибковую активность, но наибольшей среди них обладали виды: *Pseudomonas synxantha* и *Bacillus thuringiensis* (рис.). Наименее активным против *A. niger* F-4815D был штамм, принадлежащий к виду *Staphylococcus warneri*.

Представители вида *B. thuringiensis* используется во всем мире в качестве биологического средства борьбы с восприимчивыми насекомыми путем производства споруляционных параспоральных кристаллов, содержащих дельта-эндотоксины [3]. Более того, данный вид способен производить несколько биологически активных соединений, таких как бактериоцины, инсектицидные белки и гидролитические ферменты, среди которых хитиназы [4]. Ранее было проведено несколько исследований по использованию *B. thuringiensis* против фитопатогенных грибов [5]. *Pseudomonas synxantha* – флуоресцентная бактерия, противогрибковая активность которой также была ранее показана [6].

Таким образом, впервые исследовалась способность *A. niger* F-4815D к формированию консорциумов с бактериями. В перспективе это может помочь в создании эффективных коммерческих биопрепаратов для биоремедиации загрязненных промышленными поллютантами почв и вод. Показано, что из шести выбранных штаммов бактерий все подавляют рост *A. niger* F-4815D, но в разной степени. Соответственно, некоторые из них потенциально подходят для создания консорциумов.

Наиболее выраженный антагонизм проявила тюрингская бацилла *B. thuringiensis* – продуцент эндотоксинов и возбудитель смертельных заболеваний у беспозвоночных, в первую очередь, личинок насекомых [3]. Оказалось, что она в сильной степени подавляет и рост гриба, возможно, благодаря хитиназам, разрушающим грибные клеточные стенки. Подавление роста штамма *A. niger* F-4815D обосновывает поиск продуцируемых бактериями фунгицидных и фунгистатических агентов, что имеет существенное практическое значение.

Можно предположить, что подавление роста гриба бактериями происходит за счет того, что обе культуры высеваются на чашку Петри одновременно, при этом скорость размножения у бактерий заведомо выше. Возможно, более ранний посев грибной культуры приведет к обратному подавлению роста бактерий грибом. Также, в перспективе планируется исследование антагонизма *A. niger* F-4815D к культурам других грибов.

Библиографический список

1. Tyagi M., da Fonseca M. M. R., de Carvalho C. C. R. Bioaugmentation and biostimulation strategies to improve the effectiveness of bioremediation processes. DOI: 10.1007/s10532-010-9394-4 // Biodegradation. 2011. Vol. 22. No. 2. P. 231–241.

2. Biological degradation of yellow (white) phosphorus, a compound of first class hazard / A. Z. Mindubaev, E. V. Babynin, E. K. Bedeeva, et al. DOI: 10.1134/S0036023621080155 // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. Vol. 66. No. 8. P. 1239–1244.
3. Glare T. R., O'Callaghan M. *Bacillus thuringiensis*: biology, ecology and safety. New York : John Wiley and Sons Ltd., 2000. 432 p.
4. Characterization of *Bacillus thuringiensis* having insecticidal effects against larvae of *Musca domestica* / S.-T. Oh, J.-K. Kim, S.-Y. Yang, M.-D. Song // J. Microbiol. Biotechnol. 2004. Vol. 14. No. 5. P. 1057–1062.
5. Improved catalytic and antifungal activities of *Bacillus thuringiensis* cells with surface display of Chi9602ΔSP / M. Tang, X. Sun, S. Zhang, et al. DOI: 10.1111/jam.13333 // J. Appl. Microbiol. 2017. Vol. 122. No. 1. P. 106–118.
6. Postharvest biocontrol ability of *Pseudomonas synxantha* against *Monilinia fructicola* and *Monilinia fructigena* on stone fruit / D. Aiello, C. Restuccia, E. Stefani, et al. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2018.11.020 // Postharvest Biol. Technol. 2019. Vol. 149. P. 83–89.

СТИМУЛЯЦИЯ РОСТА И УВЕЛИЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗМНОЖЕНИЯ МИКРОРАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ АССОЦИАЦИЕЙ АКТИНОМИЦЕТОВ

С. Э. Мокрушина, И. Г. Широких
Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия,
sveta.flouni@gmail.com, biotekhnologiya@fanc-sv.ru

Изучено влияние ассоциации штаммов *Streptomyces* sp. ME-6 и *Streptomyces althioticus* KP-10 на колонизацию тканей и морфометрические показатели микрорастений картофеля *in vitro*. Показано, что оба штамма успешно колонизируют все исследованные органы растений, однако их количественное соотношение варьирует в зависимости от типа ткани и титра инокулюма. Инокуляция способствовала увеличению высоты побега, количества листьев и коэффициента размножения микрорастений картофеля.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., клональное микроразмножение, стрептомицеты, эндофиты, колонизация тканей, ассоциации.

Картофель является незаменимой сельскохозяйственной культурой во многих странах мира. Важным этапом в семеноводстве картофеля остается производство высококачественного исходного материала, которое включает клональное микроразмножение растений [1, 2]. Метод клонального микроразмножения обеспечивает ускоренное получение оздоровленного посадочного материала, но при длительном культивировании его эффективность может снижаться [3].

Бактерии, стимулирующие рост растений (PGP), являются наиболее перспективными микроорганизмами для использования в качестве микробных инокулянтов, особенно те, которые колонизируют ризосферу растений (PGPR). К таким бактериям относятся и стрептомицеты.

Взаимодействия между растениями и стимулирующими рост растений стрептомицетами интенсивно изучаются на протяжении многих лет. Стрептомицеты могут принести пользу растению-хозяину благодаря продукции фитогормонов (синтез ауксинов, гиббереллинов, цитокинов), повышению доступности питательных веществ (солюбилизация фосфатов и выработка сидерофоров), а также благодаря защите от патогенов [4].

Анализ свойств PGP-стрептомицетов и их ассоциативных комбинаций создаёт основу для получения перспективных биопрепаратов, способствующих повышению урожайности растений. Создание искусственных бактериальных консорциумов может обеспечить синергическое усиление полезных свойств отдельных штаммов, входящих в их состав. В результате такого объединения формируется целостная микробная система, приобретающая новые полезные для растений свойства за счет активации синтеза широкого спектра продуцируемых биологически активных соединений [5].

Цель работы – оценить эффективность колонизации тканей и ростстимулирующее действие ассоциации актиномицетов КР-10 и МЕ-6 на микро-растения картофеля сорта Пранса в условиях *in vitro*.

Объектом исследования служила ассоциация двух штаммов: *Streptomyces althioticus* КР-10, выделенный из ризосферы крапивы двудомной и *Streptomyces* sp. МЕ-6 из ризосферы Melissa лекарственной. Штаммы культивировали совместно в жидкой питательной среде Гаузе 1 при температуре 24 °С в течение 7 сут на качалке (120 об./мин). Для инокуляции микро-растений использовали полученную смешанную бактериальную суспензию с итоговым титром 10^5 кл./мл и ее первое разведение (10^4). Микро-растения картофеля выращивали на среде Мурасиге и Скуга без гормонов, с добавлением 20 г/л сахарозы. Инокуляцию осуществляли путем кратковременного погружения микро-черенков в бактериальную суспензию. Инкубацию растений осуществляли в пробирках при фотопериоде 16 ч, освещенности 4000 лк и температуре воздуха 20 ± 1 °С.

Степень колонизации тканей оценивали путём определения количества колониеобразующих единиц (КОЕ) в различных органах растений. Готовили пробы гомогенатов корней, листьев, нижней и верхней частей побега, взятые от нескольких растений. Разведения гомогенатов высевали на агаризованную среду Гаузе 1 в трёхкратной повторности. Численность микроорганизмов пересчитывали на 1 г сухой массы растительной ткани.

Морфометрические параметры (высота побега, длина корня, количество листьев) и коэффициент размножения растений учитывали на 5 неделе культивирования.

Проведённые исследования показали, что ассоциация *Streptomyces althioticus* КР-10 и *Streptomyces* sp. МЕ-6 успешно колонизирует все исследованные ткани и органы микро-растений картофеля сорта Пранса в условиях *in vitro*. При этом характер распределения штаммов по тканям растения зависит как от типа органа, так и от титра инокулюма.

При использовании исходного титра максимальная плотность бактериальной колонизации зафиксирована в корнях и нижней части побега. В корнях численность штамма ME-6 достигала $(1,1 \pm 0,22) \times 10^8$ КОЕ/г, что составляло 75% от суммарного количества стрептомицетов в данном органе, тогда как доля КР-10 не превышала 25% при численности $(3,6 \pm 0,66) \times 10^7$ КОЕ/г. Аналогичная тенденция наблюдалась в нижней части побега:

- ME-6 – $(1,3 \pm 0,16) \times 10^8$ КОЕ/г (62%),
- КР-10 – $(7,7 \pm 0,35) \times 10^7$ КОЕ/г (38%).

В верхней части побега плотность колонизации оказалась на два порядка ниже – $(1,7 \pm 0,24) \times 10^6$ и $(1,4 \pm 0,23) \times 10^6$ КОЕ/г для ME-6 и КР-10 соответственно, при этом соотношение штаммов было 5,5 : 4,5. В листьях, напротив, доминирующее положение занимал штамм КР-10: его численность составила $(3,1 \pm 0,19) \times 10^7$ КОЕ/г (66%), тогда как содержание ME-6 было почти вдвое ниже – $(1,6 \pm 0,12) \times 10^7$ КОЕ/г (34%).

Снижение титра инокулюма способствовало более равномерному распределению штаммов в тканях микрорастений. В листьях численность КР-10 составила $(1,0 \pm 0,14) \times 10^8$ КОЕ/г (55%), ME-6 – $(8,5 \pm 2,67) \times 10^7$ КОЕ/г (45%). В корнях отмечено преобладание штамма КР-10 с численностью $(1,3 \pm 0,31) \times 10^8$ КОЕ/г (59%), тогда как содержание ME-6 составило $(9,3 \pm 1,01) \times 10^7$ КОЕ/г (41%). В верхней части побега соотношение штаммов было практически сбалансированным – 53% ME-6 ($(1,9 \pm 0,29) \times 10^7$ КОЕ/г) и 47% КР-10 ($(1,7 \pm 0,23) \times 10^7$ КОЕ/г). Наиболее выровненное в долевом отношении заселение штаммами отмечено в нижней части побега, где оба штамма достигли идентичной численности – $(1,0 \pm 0,04) \times 10^8$ КОЕ/г для ME-6 и $(1,0 \pm 0,13) \times 10^8$ КОЕ/г.

Анализ морфометрических параметров микрорастений картофеля сорта Пранса выявил выраженные положительные эффекты бактеризации ассоциацией КР-10 и ME-6 (табл.).

Таблица

Морфометрические показатели и коэффициент размножения картофеля Пранса при инокуляции ассоциацией штаммов КР-10 и ME-6

Показатель	Вариант		
	Контроль без инокуляции	Исходная суспензия (10^5)	Разведение (10^4)
Высота побега, мм	87,1±31,9	138,2±32,0*	133,6±36,6*
Длина корня, мм	124,4±27,6	97,5±26,6	86,6±17,4
Количество листьев, шт	10,2±1,5	12,6±1,9*	13,3±2,1*
Коэффициент размножения, шт	8,4±1,6	10,4±1,9*	11,4±1,9*

Примечание: *различия с контролем значимы при $p = 0,05$.

Инокуляция исходной суспензией (10^5 кл./мл) привела к существенной стимуляции роста надземной части микрорастений. Высота побега увеличилась на 58%, количество листьев возросло на 23%, а коэффициент размножения на 23% от контроля.

При снижении титра инокулюма до 10^4 кл./мл ростстимулирующий эффект сохранялся. В этом варианте отмечено увеличение количества листьев на 30% и коэффициента размножения на 35% по сравнению с контролем.

Таким образом, оценка влияния ассоциации штаммов *Streptomyces* sp. ME-6 и *S. althioticus* КР-10 на микрорастения картофеля сорта Пранса в культуре *in vitro* выявила выраженный ростстимулирующий эффект и тканеспецифичный характер колонизации. Оба штамма успешно заселяли все исследованные органы растений, однако их количественное соотношение варьировало в зависимости от типа ткани и титра инокулюма. При использовании исходной суспензии (10^5 кл./мл) в корнях и нижней части побега доминировал штамм ME-6 (62–75%), тогда как в листьях преобладал КР-10 (66%). Снижение титра до 10^4 кл./мл способствовало выравниванию долевого соотношения штаммов, достигая соотношения 50/50 в нижней части побега. Инокуляция ассоциацией привела к существенному увеличению высоты побега (на 53–58%), количества листьев (на 24–30%) и коэффициента размножения (на 23–35%) по сравнению с контролем. Наибольшее количество листьев и значение коэффициента размножения отмечены при титре 10^4 кл./мл, что отвечает наиболее сбалансированному распределению штаммов по тканям микрорастений. Полученные данные подтверждают перспективность использования ассоциации КР-10 и ME-6 для повышения эффективности клонального микроразмножения картофеля *in vitro*.

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. Платонова А. З., Васильева Я. В., Лукина Ф. А. Рост и развитие растений картофеля *in vitro*: корреляционные взаимосвязи показателей у сортов картофеля в условиях *in vitro*. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-339-6-89-92 // Аграрная наука. 2020. № 6. С. 89–92.
2. Лукина Ф. А., Платонова А. З. Изучение влияния различных способов черенкования на рост и развитие растений картофеля в зависимости от сортовых особенностей. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-12031 // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 2 (368). С. 65–68.
3. Mohapatra P. P., Batra V. K. Tissue culture of potato (*Solanum tuberosum* L.): a review. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.604.058 // Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2017. Vol. 6. No. 4. P. 489–495.
4. The potential use of actinomycetes as microbial inoculants and biopesticides in agriculture / G. D. C. Silva, I. T. Kitano, I. A. D. F. Ribeiro, P. T. Lacava. DOI: 10.3389/fsoil.2022.833181 // Front. Soil Sci. 2022. Vol. 2. Article No. 833181.
5. Волкова Г. С., Серба Е. М. Создание многоштаммового бактериального консорциума для технологии пробиотических препаратов кормового назначения. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-2-260-269 // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 2. С. 260–269.

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИЦЕЛИЯ ГРИБА *HYPSIZYGUS TESSULATUS* (ШИМЕДЖИ) НА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

А. С. Мягкова, Г. В. Песцов, А. В. Третьякова, О. В. Прокудина
ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический
университет имени Л. Н. Толстого»,
г. Тула, Россия, info@tolstovsky.ru

В статье представлены результаты исследования культивирования мицелия гриба *Hypsizygus tessulatus* на питательных средах различного состава. Для данной работы были подобраны питательные среды на основе картофельного отвара, отвара зерна пшеницы, зерновой пивной дробины, рыжика посевного (*Camelina sativa*) и пшеничных отрубей. По результатам исследования было выявлено, что самый интенсивный радиальный рост мицелия гриба шимеджи происходит на питательной среде на основе зерновой пивной дробины, а наилучшее качество мицелия было на питательной среде на основе рыжика посевного.

Ключевые слова: мицелий, *Hypsizygus tessulatus*, питательные среды, шимеджи, радиальный рост.

Род грибов *Hypsizygus* широко распространён в северных регионах с умеренным климатом. *Hypsizygus tessulatus* – один из ценных видов, который используют в традиционной медицине в азиатских странах. *Hypsizygus tessulatus* – это небольшой гриб со светло-коричневой или белой шляпкой в форме зонтика. Шляпки плотные и хрустящие, с нежным, мягким, сладковатым вкусом [1].

Гриб *H. tessulatus*, ранее назывался *Hypsizygus marmoreus*, изначально культивировавшийся в некоторых районах Японии, сейчас широко выращивается по всей Японии, в Китае и других азиатских странах. В качестве коммерческого субстрата для промышленного производства используются опилки или кукурузные кочерыжки [2].

Гриб *H. tessulatus*, более известный как шимеджи (симедзи), в своем составе содержит глюкоканы, ниацин, витамины группы В и D и др. Глюкоканы помогают контролировать уровень холестерина, укрепляют иммунитет, имеют положительный спектр действия на желудочно-кишечный тракт. Ниацин эффективен при бессоннице, улучшает психическое здоровье и кровообращение. Витамины группы В укрепляют иммунитет, а витамин D считается эффективным средством против остеопороза и старения. Шимеджи также содержит различные биологически активные соединения, такие как полисахариды, L-эрготионеин, стеролы, эргостерол – провитамин D₂, которые используются в медицине, что делает его важным объектом в биотехнологии.

H. tessulatus проявляет аниоксидантную, иммуномодулирующую и антибактериальную активность [1].

Гриб шимеджи является сапрофитом. Естественная среда его обитания – это древесина вяза, бука, тополя, клёна, ивы, дуба и других лиственных деревьев. Этот гриб можно обнаружить в расщелинах стволов отмирающих тополей. Как и многие другие ксилотрофные грибы, данный вид может вести себя либо как факультативный паразит на отмирающих лиственных деревьях, либо как настоящий сапрофит на мертвой древесине.

Мицелий у гриба *H. tessulatus* белый, ватообразный, на нем имеются многочисленные перемычки, гифальная система мономитическая, в целом напоминает мицелий *P. ostreatus* (вешенки обыкновенной), но не такой воздушный и приподнятый. Кроме того, мицелий *H. tessulatus* не выделяет желтовато-оранжевый метаболит и не образует классический толстый, отслаивающийся мицелий – это две особенности, характерные для видов рода *Pleurotus*. К микроскопическим особенностям гриба шимеджи относятся споры белого цвета, по форме сферические или яйцевидные, относительно небольшие, 4,0–6,5×3,5–5,0 мкм [3].

Мицелий гриба шимеджи культивируют для изучения иммуномодулирующих и антиоксидантных свойств, а также для получения плодовых тел. Для культивирования мицелия используют питательные среды и субстраты различного состава. Например, для изучения антибактериальных свойств используют такие питательные среды как компостный агар (CoA), агар с рисовыми отрубями (RBA), картофельно-декстрозный агар (PDA), сорговый агар (SDA), пшеничный агар (WDA), картофельно-дрожжевой декстрозный агар (PYDA), а для получения плодовых тел используют различные субстраты, например початки кукурузы, шелуху сорго, пшеничную солому и др. Поэтому было проведено исследование изучения роста мицелия гриба шимеджи на экспериментальных средах различного состава [4, 5].

Исследование проводили в лаборатории биотехнологий Научно-исследовательского института «Химические, фармацевтические и биотехнологии» им. С. С. Гитиса, а также на кафедре биологии и технологий живых систем Тульского государственного педагогического университета имени Л. Н. Толстого. Для изучения роста мицелия гриба *Hypsizygus tessulatus* были подобраны питательные среды различного состава. В качестве контроля использовали картофельный агар. В качестве экспериментальных сред использовали питательные среды на основе отвара зерна пшеницы, семян рыжика, зерновой пивной дробины и отрубей. Для приготовления сред предварительно готовили отвары. Брели 100 г сухого субстрата и проваривали в 1500 мл воды, затем фильтровали и добавляли агар-агар. Получившиеся питательные среды стерилизовали в автоклаве при 1,2 атм в течение 60 мин, затем разливали в чашки Петри и проводили инокуляцию мицелием гриба шимеджи в ламинарном боксе. Для инкубирования чашки с инокулятом помещали в термостат на 7 сут при температуре 24 °С. Повторность опыта 6-кратная. Результаты исследования представлены в таблице.

**Изучение роста мицелия гриба *Hypsizygus tessulatus*
на питательных средах различного состава**

№	Питательная среда	Радиальный рост мицелия, мм, на разных сроках наблюдения, сут			% к контролю	Качество мицелия, балл
		3	5	7		
1	Картофельный агар (контроль)	19,5±1,83	31,7±3,09	49,6±4,68	100	3
2	Зерно пшеницы	15,8±1,26	25,1±2,21	39,3±3,35	79	3
3	Зерновая пивная дробина	21,9±2,06	35,1±3,35	52,2±5,17	105	4
4	Рыжик посевной	15,7±1,21	25,1±2,12	36,3±3,38	73	4
5	Отруби	15,2±1,31	29,1±2,78	45,3±4,27	91	3

По результатам исследования установлено, что наилучший радиальный рост мицелия гриба *H. tessulatus* был на питательной среде на основе зерновой пивной дробины, где на 7 сут радиальный рост был выше на 5%, чем в контрольном варианте. Несколько хуже мицелий рос на питательной среде на основе отрубей, где радиальный рост был ниже на 9%, чем на картофельном агаре. Хуже всего мицелий шимеджи развивался на питательных средах на основе зерна пшеницы и рыжика, где радиальный рост был ниже, чем в контроле на 21% и 27% соответственно. При этом качество мицелия было лучше всего на питательных средах на основе зерновой пивной дробины и рыжика, он был плотный и воздушный.

Таким образом, для культивирования мицелия гриба шимеджи перспективно использовать питательные среды на основе зерновой пивной дробины и рыжика. На данных средах мицелий активно развивается и демонстрирует хорошее качество. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение субстратов для культивирования гриба *H. tessulatus*.

Библиографический список

1. Antimicrobial, antioxidant and cytotoxic properties of *Hypsizygus tessulatus* cultivated in Bangladesh / S. Monira, A. Haque, A. Muhit, et al. // Res. J. Med. Plants. 2012. Vol. 6. P. 300–308.
2. Biotechnological requirements for the commercial cultivation of macrofungi: substrate and casing layer / J. Carrasco, M. L. Tello, M. Perez, G. Preston // Biology of macrofungi / Eds. B. Singh, Lallawmsanga, A. Passari. Cham : Springer, 2018. P. 159–175.
3. Stamets P. Growing gourmet and medicinal mushrooms. Berkeley : Ten Speed Press, 2000. 574 p.
4. Cultural and antibacterial studies of *Hypsizygus tessulatus* (Buna-shimeji) / M. J. M. Tinao, J. L. P. Opulencia, A. C. Ramos, et al. // Int. J. Microbiol. 2015. Vol. 1. No. 3. P. 1–5.
5. Влияние температуры на скорость роста и антиоксидантную ёмкость экстрактов мицелия *Hericium coralloides* (Fr.) Pers, *Hypsizygus ulmarius* (Bull.) Redhead и *Inonotus rheades* (Pers.) Bondartsev & Singer / Т. Г. Горностай, М. С. Полякова, Д. Н. Оленников и др. // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2015. Т. 11. С. 13–21.

ЖИДКОФАЗНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ МИЦЕЛИЯ ГРИБА *FLAMMULINA VELUTIPES*

О. В. Прокудина, А. В. Третьякова, Г. В. Песцов, У. А. Шамина

Тульский государственный педагогический
университет имени Л. Н. Толстого,

г. Тула, Россия, prokudinaolga11@gmail.com,

glazynovaanastasiya@gmail.com, georgypestov@gmail.com,

Ulyana.shamina@yandex.ru

В статье представлены результаты эксперимента по влиянию состава питательных сред на накопление биомассы мицелия гриба вида *Flammulina velutipes* при выращивании методом жидкофазной ферментации. В результате проведенной работы удалось установить, что наиболее подходящей является питательная среда на основе 10% отвара зерновой пивной дробины. На данной среде высушенная биомасса мицелия гриба *F. velutipes* в среднем достигала 3,8 г/л, что является лучшим результатом по сравнению с показателями в других вариантах.

Ключевые слова: *Flammulina velutipes*, опенок зимний, мицелиальная биомасса, жидкофазная ферментация, питательные среды, эноки.

В настоящее время все чаще различные виды съедобных грибов привлекают внимание исследователей. Это связано с тем, что в грибах содержится большое количество питательных веществ, которые делают грибы не просто пищевым, но и функциональным продуктом питания. Одним из наиболее значимых качеств грибов является наличие белка, дефицит которого в современном мире является одной из наиболее значимых проблем [1]. Помимо пищевой промышленности, многие грибы возможно использовать в фармакологии и биотехнологии, благодаря содержанию в них биологически активных веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности человека. К ним относятся витамины, макро- и микроэлементы, полисахариды, фенольные соединения, аминокислоты и др. Одним из наиболее перспективных видов грибов является *Flammulina velutipes* (зимний опенок, эноки) [2]. Плодовые тела зимнего опенка являются источником различных белков: фламмина, велина, велутина и фаммулина. В настоящее время данные белки изучаются на предмет иммуномодулирующих и противоопухолевых свойств. Также из плодовых тел зимнего опенка можно получить фламмутоксин, который способствует понижению кровяного давления и может оказывать гемолитическое действие [3]. Химический состав плодовых тел гриба *F. velutipes* характеризуется высоким содержанием сложных углеводов (58,0%), золы (7,4%), жиров (7,0%), белков (27,5%), а также аминокислот: аргинина, лизина, аспарагиновой кислоты, гистидина, аланина, глутаминовой кислоты. Также в состав входят витамины группы В, С, РР [4]. Для выращивания плодовых тел, мицелий

F. velutipes чаще всего получают методом твердофазного культивирования. Однако такой метод требует много времени, специальных компетенций, а также тщательной подготовки. Альтернативным способом является жидкофазная ферментация мицелия гриба эннки. Основными его преимуществами являются контролируемые условия, короткий цикл роста мицелия, низкая вероятность контаминации, а также высокий выход мицелиальной биомассы [5].

Исследование по влиянию состава питательных сред на набор биомассы мицелия гриба *F. velutipes*, выращенного методом жидкофазной ферментации проводили в лаборатории биотехнологий НИИ «Химические, фармацевтические и биотехнологии» им. С. С. Гитиса. Объектом исследования был штамм *F. velutipes* 631, полученный из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» ГосНИИГенетика. В опыте использовали 4 варианта питательных сред, следующего состава: картофельный отвар (контроль), отвар из пшеничных отрубей 10%, отвар из зерновой пивной дробины 10%, среда Чапека–Докса (сахароза – 30,0 г, NaNO_3 – 2,0 г, KH_2PO_4 – 1,0 г, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5 г, KCl – 0,5 г, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,01 г). Питательные среды разливали по 100 мл в колбы объёмом 250 мл, после чего стерилизовали в автоклаве при давлении 1,2 атм в течение 60 мин. Затем в стерильных условиях проводили инокуляцию чистой культурой мицелия. Культивирование осуществляли в орбитальном шейкер-инкубаторе при температуре 25°C и скорости 200 об./мин в течение 7 сут. По окончании инкубации биомассу мицелия фильтровали от культуральной жидкости и высушивали в сушильном шкафу при 60°C до постоянной массы. Повторность опыта 5-кратная. Результаты представлены на рисунке.

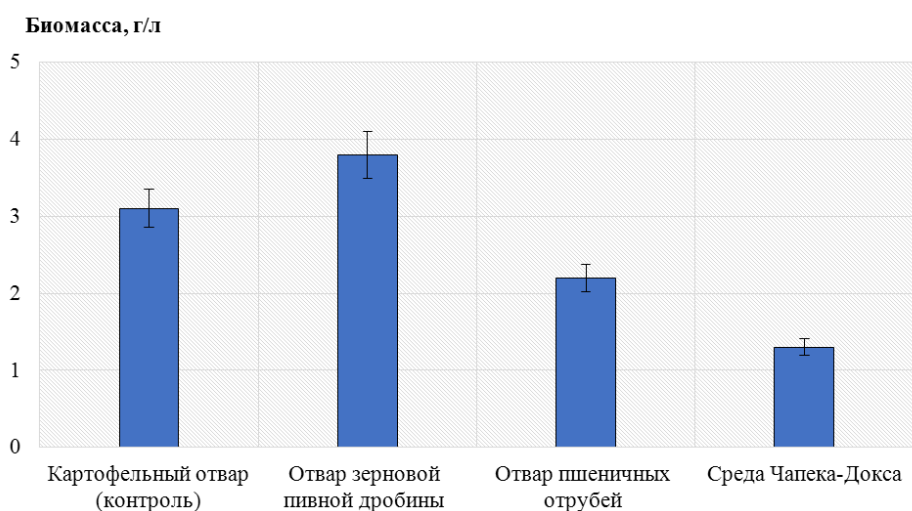


Рис. Биомасса мицелия гриба *Flammulina velutipes* 631 на жидких питательных средах различного состава, г/л

По результатам, представленным на рисунке, можно сделать вывод о том, что наиболее подходящей питательной средой для жидкофазного культивирования мицелия гриба *F. velutipes* является 10% отвар зерновой пивной

дробины. В среднем биомасса высушенного мицелия составляла 3,8 г/л, что превышает этот же показатель в контрольном варианте. При этом стоит отметить, что в отваре пивной дробины мицелий распределялся равномерно по всей толще среды и был плотным. Скорее всего такие результаты связаны с тем, что зерновая пивная дробина содержит большое количество органического азота, который необходим для активного роста и развития мицелия. На картофельном отваре мицелий зимнего опенка развивался несколько хуже, средняя биомасса мицелия составляла 3,1 г/л, однако на данной питательной среде мицелий был плотным и образовывал сферические мицелиальные структуры – пеллеты, что также свидетельствует о высоком качестве мицелия. При культивировании мицелия на отваре из отрубей его биомасса заметно уменьшилась и составляла 2,2 г/л. Качество мицелия также было низким, так как мицелий был дисперсным. Хуже всего мицелий развивался на синтетической питательной среде Чапека-Докса. В среднем биомасса мицелия составляла 1,3 г/л, при этом качество мицелия было самым низким (нитевидный мицелий, единичные гифы) среди всех вариантов. Скорее всего это связано с тем, что в данной питательной среде азот находится в форме нитратов, поэтому он хуже усваивается мицелием гриба эноки.

Таким образом, состав питательных сред для жидкофазной ферментации гриба *F. velutipes* влияет на накопление мицелиальной биомассы и ее качество. Больше всего подходят питательные среды, которые содержат легкоусвояемые углеводы и органический азот, например, отвар из зерновой пивной дробины.

Библиографический список

1. Бухало А. С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. Киев : Наук. думка, 1988. 144 с.
2. Обмоина А. В., Папикян Т. А. Подбор зерновой культуры для получения мицелия *Flammulina velutipes* // Еромен. Global. 2019. № 1. С. 78–83.
3. Лекарственные грибы в традиционной китайской медицине и современных биотехнологиях / Ю. Ли, Б. Х. Тулигуэл, А. А. Широких и др. Киров : О-Краткое, 2009. 320 с.
4. *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer – Physalacriaceae / Y. Gafforov, S. Badalyan, M. Rašeta, et al. DOI: 10.1007/978-3-031-23031-8_105 // Ethnobiology of Uzbekistan / Eds. O. K. Khojimatov, Y. Gafforov, R. W. Bussmann. Cham : Springer, 2023. P. 1011–1043.
5. Optimization of the nutrient medium for *Flammulina velutipes* submerged biomass production and micromorphology of its mycelium / L. Krasnopol'skaya, M. Shuktueva, A. Golyshkin, et al. DOI: 10.3390/fermentation7030180 // Fermentation. 2021. Vol. 7. Article No. 180.

ГЛУБИННОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИЦЕЛИЯ ГРИБА *LENTINUS TIGRINUS*

А. В. Третьякова, О. В. Прокудина, Г. В. Песцов

Тульский государственный педагогический
университет имени Л. Н. Толстого, г. Тула, Россия,
glazynovaanastasiya@gmail.com, prokudinaolga11@gmail.com,
georgypestsov@gmail.com

В статье представлены результаты эксперимента по глубинному культивированию мицелия гриба *Lentinus tigrinus* (пилолистник тигровый) на питательных средах различного состава. Установлено, что наилучший рост и развитие мицелия был на питательной среде из отвара зерновой пивной дробины. Сухая биомасса мицелия составила 3,2 г/л, что на 23% превышает контроль (картофельный отвар).

Ключевые слова: *Lentinus tigrinus*, пилолистник тигровый, мицелий, глубинное культивирование, пивная дробина, биомасса.

Глубинное культивирование съедобных и лекарственных грибов является актуальным и перспективным направлением современной прикладной микологии, биотехнологии и микробиологии. Использование жидких питательных сред позволяет получать биомассу мицелия грибов и биологически активные вещества в контролируемых условиях [1]. Данный метод имеет некоторые преимущества в сравнении с твердофазным культивированием, например, более высокую скорость роста мицелия, возможность использования специализированного оборудования – ферментеров, которые позволяют автоматизировать и стандартизировать процесс получения мицелия [2].

Пилолистник тигровый (*Lentinus (Panus) tigrinus*) – вид высших базидиомицетов, относящийся к семейству *Polyporaceae*. В природе встречается на мёртвых или ослабленных деревьях, является биодеструктом древесины. Этот гриб съедобен и обладает лечебными свойствами [3]. Вид *L. tigrinus* успешно культивируется в лабораторных условиях, а его плодовые тела богаты углеводами, белками, клетчаткой и минеральными веществами [4]. Помимо питательной ценности, в плодовых телах и мицелии содержится большое количество биологически активных соединений. К ним относятся: лектины, нуклеазы, лакказы, иммуномодулирующие белки (FIPs) и белки, инактивирующие рибосомы (RIPs), которые обладают антибактериальными, противовирусными, иммуномодулирующими и другими свойствами. Кроме белковых соединений, в грибах содержатся и фенольные соединения (кверцетин, катехин, мирицетин, пирогаллол и кофейная кислота), каротиноиды, эргостеролы, токоферолы, аскорбиновая кислота, терпены и полисахариды, обладающие антиоксидантной и противовоспалительной активностью [5]. Состав пита-

тельных сред является определяющим фактором роста и развития мицелия, а также влияет на количество накопления биологически активных веществ [6].

Для оценки набора биомассы гриба пилолистника тигрового было проведено исследование по определению влияния состава питательных сред на рост и развитие мицелия в глубинной культуре. Объектом исследования являлся гриб *Lentinus tigrinus* штамм М-21, полученный из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» ГосНИИгенетика. В опыте использовали 4 варианта питательных сред, следующего состава: картофельный отвар (контроль), отвар из пшеничных отрубей 10%, отвар из зерновой пивной дробины 10%, среда Чапека–Докса (сахароза – 30,0 г, NaNO_3 – 2,0 г, KH_2PO_4 – 1,0 г, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5 г, KCl – 0,5 г, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,01). Питательные среды разливали по 100 мл в колбы объемом 250 мл, после чего их стерилизовали в автоклаве при давлении 1,2 атм в течение 60 мин. Затем в стерильных условиях проводили инокуляцию чистой культурой мицелия. Культивирование осуществляли в орбитальном шейкер-инкубаторе при температуре 25 °С и скорости 200 об./мин в течение 7 суток. По окончании инкубации биомассу мицелия фильтровали от культуральной жидкости и высушивали в сушильном шкафу при 60 °С до постоянной массы. Повторность опыта 5-кратная (табл.).

Таблица

Глубинное культивирование мицелия гриба *Lentinus tigrinus*

№	Питательная среда	Сухая биомасса, г/л	%, к контролю	Морфологические характеристики мицелия
1	Контроль – картофельный отвар	2,62±0,19	100	Равномерное распределение мицелия в толще среды, умеренно плотный
2	Отвар зерновой пивной дробины	3,25±0,25	123	Плотный, образование сферических агрегатов мицелия (пеллет)
3	Отвар пшеничных отрубей	2,41±0,21	92	Дисперсный мицелий, наличие свободных гиф, менее плотный
4	Среда Чапека-Докса	1,84±0,15	69	Разреженный, нитевидный

Анализируя данные, представленные в таблице, можно сделать вывод, что состав питательной среды влияет как на накопление биомассы, так и на морфологические характеристики мицелия гриба *L. tigrinus*. Наилучший рост и развитие мицелия отмечали на питательной среде с использованием отвара из зерновой пивной дробины. В данном варианте биомасса мицелия составила 3,2 г/л, что превышает контроль на 23%. Характерной особенностью являлось формирование плотных сферических скоплений гиф – пеллет, что свидетельствует о высокой физиологической активности культуры. Вероятно, такие результаты связаны со сбалансированным составом зерновой пивной дробины. Несколько хуже мицелий пилолистника тигрового развивался на питательной среде из картофельного отвара (контроль). Сухая биомасса мицелия составила 2,6 г/л. Рост мицелия происходил равномерно

по всему объёму среды, структура его оставалась умеренно плотной, без выраженной тенденции к агрегации. При культивировании на отваре из пшеничных отрубей показатели оказались несколько ниже 2,4 г/л (92% к контролю). Мицелий преимущественно сохранял дисперсную форму, отмечалось наличие свободных гиф и меньшая плотность культуры. Это может указывать на ограниченность отдельных питательных компонентов или их доступности для мицелия гриба *L. tigrinus*. Наименьшие показатели сухой биомассы мицелия наблюдали, на синтетической питательной среде Чапека-Докса (1,8 г/л). Мицелий развивался в виде разреженной, нитевидной структуры. Такие результаты могут быть связаны с отсутствием в среде комплекса органических веществ, характерных для растительных целлюлозосодержащих субстратов.

Полученные результаты исследования подтверждают, что использование целлюлозосодержащих субстратов, особенно зерновой пивной дробины, способствует не только увеличению выхода биомассы, но и изменению его морфологии, повышая качество полученного мицелия.

Библиографический список

1. Культивирование мицелия высших базидиальных грибов штамма pS 64 *Polyporus squamosus* и использование в качестве сырья для производства низкокалорийных пищевых продуктов [Электронный ресурс]. – URL: <https://aeconomy.ru/news/agro/kultivirovanie-mitseliya-vyshshikh-b.html> (дата обращения: 09.04.2026).
2. Шутова В. В., Ревин В. В., Кудяева Т. В. Изучение действия гриба *Lentinus (Panus) tigrinus* на древесные отходы, используемые для получения биокомпозиционных материалов. DOI: 10.18500/1816-9775-2013-13-4-80-85 // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2013. Т. 13. № 4. С. 80–85.
3. Cultivation of different strains of *Lentinus tigrinus* from selected areas of Luzon Island, Philippines / S. Kalaw, A. M. Leon, J. Damaso, et al. DOI: 10.5943/sif/6/1/20 // Studies in Fungi. 2021. Vol. 6. P. 299–306.
4. Antioxidant and antibacterial activities of acetonitrile and hexane extracts of *Lentinus tigrinus* and *Pleurotus djamour* / R. M. R. Dulay, L. A. Miranda, J. S. Malasaga, et al. DOI: 10.1016/j.bcab.2016.12.003 // Biocatal. Agric. Biotechnol. 2017. Vol. 9. P. 141–144.
5. Optimization of submerged culture conditions for mycelial biomass production of fourteen *Lentinus* isolates from Luzon Island, Philippines / R. M. R. Dulay, E. C. Cabrera, S. P. Kalaw, R. G. Reyes. DOI: 10.1016/j.bcab.2021.102226 // Biocatal. Agric. Biotechnol. 2021. Vol. 38. Article No. 102226.
6. Взаимосвязь состава липидов и продуктов их перекисного окисления с секрецией лигнолитических ферментов в процессе роста *Lentinus (Panus) tigrinus* / Д. А. Кадималиев, О. С. Надежина, Н. А. Атыкян и др. // Микробиология. 2006. Т. 75. № 5. С. 649–653.

СОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ В ОТНОШЕНИИ К ТЯЖЕЛЫМ МЕТАЛЛАМ БАКТЕРИАЛЬНО-ГРИБНОГО КОМПЛЕКСА

И. Э. Шаранова

*Институт агробиотехнологий имени А. В. Журавского
Коми научного центра,
г. Сыктывкар, Россия, i_scharapova@mail.ru*

Изучена сорбционная способность в отношении к тяжелым металлам – Cd(II), Cu(II), Pb(II) – биопрепарата и биомодифицированного материала на основе биомассы актинобактерий *P. carboxydivorans* и базидиомицета *P. tigrinus*. Степень извлечения бактериально-грибного комплекса в иммобилизованной на носителе форме была выше, чем в составе жидкофазной формы биопрепарата.

Ключевые слова: комплекс, биопрепарат, биомодифицированный материал, тяжелые металлы, биосорбция.

Возможное загрязнение природных экосистем различными ксенобиотиками (тяжелые металлы (ТМ), ПАУ, пестициды и др.) является результатом антропогенной деятельности. В сельскохозяйственном земледелии загрязнение ксенобиотиками не только может снизить плодородие почв, но и опасно для растений и животных, а также может причинить вред здоровью человека. Из-за их относительно высокой растворимости ТМ подвижны с потоком грунтовых вод, но значительная часть экологической нагрузки и вреда приходится на почвы. Загрязнения ТМ при попадании в окружающую среду могут приводить к значительным негативным изменениям в агробиоценозах [1]. Поэтому в настоящее время разрабатываются технологии, направленные на ограничение подвижности ТМ с применением различных форм экологически безопасных биопрепаратов и биосорбентов.

Известно, что наиболее перспективными для использования в качестве биопрепаратов являются микроорганизмы, способные к активной биодеградации и/или биоаккумуляции сорбцией органических соединений и других опасных загрязнителей, включая ТМ [2–4]. При этом установлено, что сложные сообщества более эффективны в отношении широкого спектра ксенобиотиков и способны с большей полнотой и скоростью осуществлять более глубокую их деструкцию или сорбцию. Для создания комплексных биопрепаратов применяют природные или искусственно созданные ассоциации, в которых микроорганизмы отличаются по спектру потребляемых субстратов [5, 6]. Установлено, что актинобактерии рода *Pseudonocardia* широко распространены в окружающей среде, в том числе в различных экстремальных средах со стрессовыми условиями выживания, обладают способностью к биосинтезу различных биологически активных соединений [7]. Широкий спектр древо-

разрушающих грибов обладает сорбционными свойствами и биологической деструктивной активностью [8].

Использование различных форм биопрепаратов, представляющих биомассу микроорганизмов, которые или находятся в культуральной суспензии жидкофазной формы биопрепарата, или адсорбированы-иммобилизованы на сельскохозяйственно приемлемом биоразлагаемом материале-носителе в составе биомодифицированного материала, перспективно для биосорбции ТМ.

Цель исследований – оценить биосорбционную способность бактериально-грибного комплекса в отношении к некоторым тяжелым металлам.

В работе использованы штаммы бактерий и грибов, депонированные в ВКПМ (Всероссийская коллекция промышленных микроорганизмов БРЦ ВКПМ НИЦ ГосНИИГенетика) *Pseudonocardia carboxydivorans* AC-2046, *Panus tigrinus* F-8/18. В качестве материала-носителя использовали смесь из вермикулита и древесных опилок.

Монокультуры бактерий и грибов выращивали на стандартных питательных средах: среда-бульон Кустера, среда-бульон Чапека. Смешивание биологического компонента с материалом-носителем проведено при соотношении 1:10. Соотношение вермикулита и древесных опилок в смеси 1:5. Содержание биомассы в составе культуральной суспензии не менее 5 г/л, для биомодифицированного материала титр не менее $(1,5 \pm 0,5) \cdot 10^7$ КОЕ/г. Стандартными методами проведен микробиологический контроль: определение содержания биомассы и количества жизнеспособных клеток [9].

Для исследования сорбционной способности жидкой формы и иммобилизованной на материале-носителе формы бактериально-грибного комплекса (биопрепарата и биомодифицированного материала) были приготовлены водные растворы с различными концентрациями солей меди (50 мг/дм^3), кадмия (50 мг/дм^3) и свинца (100 мг/дм^3) в пересчёте на катионы металла: $(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 196,16 \text{ мг или } 50 \text{ мг по Cu(II)}; \text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 137,20 \text{ мг или } 50 \text{ мг по Cd(II)}; \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 = 159,85 \text{ мг или } 100 \text{ мг по Pb(II)})$. Исследование провели в динамичных условиях (130 об./мин) в течение 5 сут при внесении в емкости с раствором солей материалов (биопрепарат и биомодифицированный материал) в количестве 1% от объема. Определение концентрации элементов в пробе провели после центрифугирования раствора на спектрометре эмиссионный с индуктивно связанной плазмой Vista MPX Rad (Varian).

Предварительно проведенными исследованиями биосовместимости изучаемых штаммов актинобактерий и базидиомицета было установлено, что монокультуры не проявляют антагонизм при культивировании на плотных питательных средах.

Степень извлечения тяжелых металлов определяли по изменению концентрации ТМ от исходной в водных растворах, с оценкой сорбционной способности биомассы бактериально-грибного комплекса, используемой в различной форме, а именно в составе биомодифицированного материала в иммобилизованной на материале-носителе форме и в составе культуральной

суспензии жидкофазного биопрепарата. Степень извлечения Pb(II); Cu(II); Cd(II) из водных растворов с металлами составляла, %, соответственно:

- 73,6; 50,5; 58,1 – для биомодифицированного материала;
- 50,4; 28,1; 28,4 – для жидкофазного биопрепарата (табл.).

Таблица

**Результаты биосорбции тяжелых металлов с применением
бактериально-грибного комплекса**

Вариант опыта	Концентрация тяжелых металлов					
	Pb(II)		Cu(II)		Cd(II)	
	мг/дм ³	убыль, %	мг/дм ³	убыль, %	мг/дм ³	убыль, %
в жидкофазной форме						
Контроль (исходный раствор)	88,16 ±2,62	–	46,96 ±2,31	–	47,91 ±1,44	–
Исходный раствор + биопрепарат (бактериально-грибной комплекс на основе биомассы <i>P. carboxydivorans</i> + <i>Panus tigrinus</i>)	43,74 ±2,15	50,4	33,77 ±1,38	28,1	34,29 ±1,71	28,4
в иммобилизованной на носителе форме						
Исходный раствор	92,63 ±3,63	–	46,45 ±2,31	–	47,64 ±1,52	–
Исходный раствор + материал-носитель без биомассы (смесь вермикулита с опилками)	39,12 ±1,92	57,78	32,54 ±1,36	29,95	29,51 ±1,47	38,06
Исходный раствор + биомодифицированный материал (смесь вермикулита с опилками с иммобилизованным бактериально-грибным комплексом на основе биомассы <i>P. carboxydivorans</i> + <i>P. tigrinus</i>)	24,43 ±1,22	73,62	22,98 ±0,92	50,53	19,98 ±0,79	58,06

В результате проведенных исследований определена сорбционная способность в отношении тяжелых металлов – Cd(II); Cu(II); Pb(II) – биопрепарата и биомодифицированного материала на основе биомассы актинобактерий *P. carboxydivorans* и базидиомицета *P. tigrinus*. Эффективность биосорбции бактериально-грибного комплекса в иммобилизованной на материале-носителе форме была выше, чем в жидкофазной форме биопрепарата, где степень извлечения из водных растворов с металлами составляла соответственно 50,5–73,6% и 28,1–50,4%.

Библиографический список

1. Экологические проблемы геотехнологий: новые идеи, методы и решения / Н. Н. Чаплыгин, Ю. П. Галченко, В. И. Папичев и др. М. : Научтехлитиздат, 2009. 320 с.

2. Gikas P. Single and combined effects of nickel (Ni(II)) and cobalt (Co(II)) ions on activated sludge and on other aerobic microorganisms: a review. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.02.048 // J. Hazard. Mater. 2008. Vol. 159. P. 187–203.
3. Varjani S. J. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons // Bioresour. Technol. 2017. Vol. 223. P. 277–286.
4. Аронбаев С. Д. Биосорбционное концентрирование тяжелых металлов и радионуклидов микроорганизмами и сорбентами на их основе. Обзор // Молодой ученый. 2015. Т. 24. № 104. С. 31–50.
5. Шарапова И. Э., Гарабаджиу А. В. Оценка эффективности способов биоремедиации почв от нефтяных загрязнений // Инженерная экология. 2015. № 2. С. 32–42.
6. Mikesková H., Novotný Č., Svobodová K. Interspecific interactions in mixed microbial cultures in a biodegradation perspective. DOI: 10.1007/s00253-012-4234-6 // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2012. Vol. 95. No. 4. P. 861–870.
7. Sharapova I. The study of potentially lignocellulolytic actinobacteria *Pseudonocardia* sp. AI2. DOI: 10.1007/s12088-023-01069-6 // Indian J. Microbiol. 2023. Vol. 63. No. 2. P. 190–196.
8. Rabinovich M. L., Bolobova A. V., Vasil'chenko L. G. Fungal decomposition of natural aromatic structures and xenobiotics: a review. DOI: 10.1023/B:ABIM.0000010343.73266.08 // Appl. Biochem. Microbiol. 2004. Vol. 40. No. 1. P. 1–17.
9. Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М. : Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ФАНЦ СЕВЕРО-ВОСТОКА ИМЕНИ Н. В. РУДНИЦКОГО В ОБЛАСТИ ПОЧВЕННОЙ МИКРОБИОЛОГИИ И МИКРОБНОЙ ЭКОЛОГИИ

И. Г. Широких
*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого,
г. Киров, Россия, biotekhnologiya@fanc-sv.ru*

Проведен обзорный анализ работ по изучению микробных сообществ в региональных типах почв, выполненных в последние три десятилетия сотрудниками НИИ сельского хозяйства Северо-Востока (ныне ФАНЦ Северо-Востока). Особое внимание уделено характеристике биотехнологического потенциала местных изолятов бактерий и их ассоциаций с растениями. Представлены результаты по биоиндикации вредных антропогенных воздействий на почвенный микробиом, полученные совместно с лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ.

Ключевые слова: почвенный микробиом, трансформация структуры, природные изоляты, антагонизм, фиторегуляторное действие, гидролитический потенциал, филогенетическое разнообразие.

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого – старейшее научное учреждение сельскохозяйственного профиля на Северо-Востоке Нечерноземья – отметил в 2025 г. свое 130-летие.

За долгий и насыщенный событиями период его научной деятельности интерес к микроорганизмам, как создателям главного свойства почвы – ее плодородия возникал и угасал неоднократно. На первых порах биологическая активность почвы определялась в связи с индикативной ролью микробиоты в решении вопросов рациональной агротехники, систем удобрений, ротации культур в севооборотах и носила характер сопутствующих наблюдений в краткосрочных и длительных стационарных опытах, каждый из которых, имея свою собственную цель, попутно давал информацию об изменениях биологической активности почвы в ответ на то или иное возмущающее воздействие. Использовали в основном аппликационный метод, для чего закладывали в почву льняные пластинки на определенный срок и по степени их разложения судили о биологической активности почвы [1]. Более высокие показатели однозначно трактовались в пользу здоровья почвы, а низкие – как признак неблагополучия.

Кардинальный поворот к тематическим почвенно-микробиологическим исследованиям произошел благодаря выдвинутой академиком РАСХН А. А. Жученко задаче комплексного изучения одного из главных эдафических факторов северного земледелия – почвенной кислотности и сопряженной с ней токсичности алюминия, их влияния на продуктивность сельскохозяйственных культур и разработку возможных мер противодействия эдафическому стрессу. Для региона была поставлена масштабная цель, в достижении которой, наряду с другими специалистами, были задействованы и почвенные микробиологи.

Повышенная кислотность и токсичность алюминия являются генетическими особенностями региональных почв европейского Северо-Востока, как и низкая гумусность, слабая обеспеченность элементами питания. Влиянию этих факторов на почвенные микробные сообщества были посвящены первые исследования, которые выявили, что зональные почвы обладают значительным пулом кислотоустойчивых (10^5 – 10^6 КОЕ/г) и алюмотолерантных (10^3 – 10^5 КОЕ/г) микроорганизмов. Профильное распределение основных компонентов микробной биомассы в зональных почвах, тесно сопряжено с параметрами почвенной кислотности, а не только с содержанием органического вещества, как считалось ранее. Впервые для Северо-Востока Нечерноземья определены запасы и сезонные флуктуации микробной биомассы, процентное соотношение её компонентов в профиле естественной дерново-подзолистой (7,11–18,4 т/га), агродерново-подзолистой (5,9–8,2 т/га) и в остаточном слое торфяной эутрофной почвы (1,86–3,5 т/га) [2].

В дальнейшем тематика исследований сосредоточилась на изучении микроорганизмов в условиях эдафического стресса в прикорневой зоне растений – ризосфере и ризоплане. Было доказано, что на корнях растений, испытывающих стресс, обусловленный токсичными ионами H^+ и Al^{3+} , повышаются численность и разнообразие микробиоты. На примере различных генотипов ячменя, озимой ржи, овса была установлена связь между корневой экскрецией и интенсивностью бактериальной колонизации их корней, что указы-

вает на протекторную роль микроорганизмов в жизни растений. При стрессе активно колонизирующие корни бактерии чаще обладают потенциалом положительного воздействия на растения, чем в условиях физиологического оптимума. Показана эффективность искусственных бактериально-растительных ассоциаций на основе местных изолятов бактерий из родов *Rhizobium* и *Methilobacter* в повышении адаптивных реакций на эдафический стресс у бобовых культур [3] и зерновых злаков [4] соответственно.

Особый вклад в этом направлении внесен в изучение мицелиальных бактерий – актиномицетов, которые до этого не рассматривались в качестве активных компонентов ризосферной микробиоты. Впервые, с помощью люминесцентной микроскопии, было установлено наличие актиномицетного мицелия на всех стадиях онтогенеза зерновых культур, что указывает на активное участие мицелиальных прокариот в регуляции роста растений. Актиномицеты, выделенные из корней озимой ржи, стимулировали в модельных опытах рост проростков, а в присутствии L-триптофана продуцировали ауксины с фитогормональной активностью [5].

Наибольший интерес представляют результаты, полученные при изучении антагонистического потенциала актиномицетов, ассоциированных с корнями различных сортов и культур. Оказалось, что наиболее устойчивые к грибным инфекциям сорта ячменя, овса, клевера лугового отличаются высокой частотой встречаемости в их ризосфере стрептомицетов, продуцирующих антифунгальные метаболиты. Наличие генотипической изменчивости культур по признаку ассоциативности с актиномицетами-антагонистами свидетельствует о возможности направленной селекции на устойчивость к корневым инфекциям по этому признаку. Создание сортов с такой естественной биофунгицидной защитой исключает или значительно сокращает необходимость использования на полях химических средств защиты растений и может стать одним из экологически чистых путей снижения вредоносности почвенных фитопатогенных грибов.

Почва, как известно, самый большой резервуар грибов и бактерий, но закономерности распределения этого огромного микробного пула в конкретных экологических условиях остаются до сих пор слабо изученными. В связи с этим цель исследований в настоящий период связана с изучением микробного разнообразия в условиях местных фито- и агроценозов, выделением и выявлением культур для биотехнологической реализации их метаболического потенциала в повышении продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных растений к заболеваниям и абиотическим стрессам.

В рабочей коллекции микроорганизмов поддерживается более 300 природных изолятов, основная часть которых представлена штаммами актиномицетов с различными полезными активностями: ростстимулирующей, гидролитической, антагонистической или их сочетанием. Любопытно, что у изолятов из географически разобщенных региональных почв при химической идентификации метаболитов с противомикробным действием выявлен один и тот же антибиотик – скопафунгин, а таксономическая идентификация

по 16S рРНК отнесла эти культуры к филогенетически близкородственным видам. Получен патент на штамм одного из продуцентов скопафунгина – *Streptomyces antimycoticus* 8A13, обладающий способностью подавлять фитопатогенные грибы, бактерии, стимулировать рост растений и осуществлять деструкцию целлюлозосодержащих субстратов [6].

Исследования актиномицетов дает огромные возможности выявления культур с разнообразными агрономически полезными свойствами. Помимо продукции антибиотиков и фитогормонов, актиномицеты являются активными экзогидролитиками, благодаря чему могут использоваться в утилизации целлюлозных отходов, в качестве почвоулучшающих агентов, для обработки стерни и других корневых и пожнивных остатков. С этой целью запатентован штамм *Streptomyces thermocarboxydus* T1-3, обладающий целлюлазной активностью, высокой скоростью роста на широком спектре целлюлозосодержащих субстратов, фитостимулирующей способностью [7].

Для выявления агрономически ценных штаммов используются методы как фенотипического, так и генотипического скрининга, который проводится совместно с коллегами из лаборатории молекулярной биологии и селекции. Так, с помощью праймеров, разработанных этим коллективом, были выявлены и охарактеризованы штаммы стрептомицетов, несущие детерминанты целлюлазной [8] и хитиназной активности [9], синтеза поликетидных соединений [10].

При разработке принципов использования местного микробного потенциала важное место отводится формированию информационной базы о коллекции микроорганизмов. Разработаны интерфейс и система управления базой данных о свойствах культур, хранящихся в рабочей коллекции лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов. Реализуется работа по внесению в базу данных имеющихся и вновь получаемых данных о свойствах штаммов рабочей коллекции.

Важный блок исследований, выполняемый совместно с лабораторией биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ, в 2009–2018 гг. был посвящен мицелиальным микроорганизмам, как агентам ремедиации территорий, загрязненных тяжелыми металлами в различных функциональных зонах города [11], мышьяком, метилфосфоновой кислотой в зоне деятельности объекта хранения и уничтожения химического оружия, органическими пестицидами в районе Кильмезского ядомогильника [12]. Установлена высокая индикативная значимость прокариотных и эукариотных микроорганизмов в выявлении нежелательных тенденций в почвенных сообществах под влиянием различных поллютантов. Выделены из природной среды штаммы, устойчивые к загрязнителям различной природы, представляющие интерес в качестве кандидатных при разработке природоподобных технологий очистки окружающей среды от загрязнений.

В настоящее время это направление трансформировалось в поиск связи почвенной микробиоты с изменениями экосистем, вызванными деятельностью человека. С использованием метабаркодинга выявлены особенности фи-

логенетического разнообразия, таксономической и функциональной структуры различных почвенных микробиомов. Получены результаты, которые можно использовать в оценке процесса восстановления почвенных экосистем, нарушенных в результате деятельности промышленных предприятий и хранения производственных отходов [13, 14], а также в оценке различных способов обработки сельскохозяйственных почв [15].

Сформирован массив данных об антибиотических резистомах почв, подверженных различным агрогенным и техногенным воздействиям, и почв особо охраняемых природных территорий. Статистически доказано влияние на формирование профиля антибиотической резистентности, как географического фактора (места отбора почвы), так и экологических факторов, сопряженных с антропогенными воздействиями. Полученные данные указывают на необходимость мониторинга распространения устойчивости к антибиотикам в почвах, подверженных не только риску накопления остаточных концентраций антибиотиков, но и иным последствиям хозяйственной деятельности человека [16, 17].

Таким образом, изучение таксономического и функционального разнообразия микроорганизмов в региональных почвах и ризосфере сельскохозяйственных растений позволило выявить обширный биотехнологический потенциал прокариот в отношении создания биопрепаратов и технологий для использования в растениеводстве и земледелии. Не менее важным является изучение микроорганизмов с целью оценки экологического благополучия окружающей среды, ее защиты от бытового, сельскохозяйственного и техногенного загрязнения. Обнаруженные закономерности пространственно – функциональной структуры микробных сообществ могут быть использованы для индикации нарушений, обусловленных хозяйственной эксплуатацией земель в регионе, для предотвращения снижения биологического разнообразия и биопродуктивности экосистем.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2025-0005).

Библиографический список

1. Мишустин Е. Н., Востров И. В., Петрова А. Н. Аппликационные методы в почвенной микробиологии и биохимические исследования почв // Микробиологические и биохимические исследования почв. Киев : Урожай, 1971. С. 3–12.
2. Широких И. Г., Широких А. А. Микробные сообщества кислых почв Кировской области. Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2004. 332 с.
3. Широких А. А., Широких И. Г., Устюжанин И. А. Реакция бобово-ризобияльных симбиотических систем на стресс, обусловленный кислотностью и токсичностью алюминия // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2004. № 4. С. 22–24.
4. Широких И. Г., Шуплецова О. Н., Широких А. А. Оценка влияния митотрофных бактерий на растения *in vitro* // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. № 5. С. 23–25.
5. Мерзаева О. В., Широких И. Г. Образование ауксинов эндофитными актинобактериями озимой ржи // Прикладная биохимия и микробиология. 2010. Т. 46. № 1. С. 51–57.

6. Пат. 2 829 075. РФ, МПК C12N 1/20 (2006.01). Штамм актиномицета *Streptomyces antimycoticus* 8A13, обладающий способностью подавлять фитопатогенные грибы, бактерии, стимулировать рост растений и осуществлять деструкцию целлюлозосодержащих субстратов: № 2023133840: заявл. 19.12.2023. опубл. 23.10.2024 / Назарова Я. И., Широких И. Г. 17 с.
7. Пат. 2 852 225. РФ, МПК C12N 1/20 (2006.01). Штамм актиномицета *Streptomyces thermocarboxydus* T1-3, обладающий целлюлазной активностью, высокой скоростью роста на широком спектре целлюлозосодержащих субстратов, фитостимулирующей способностью: № 2024137314: заявл. 12.12.2024: опубл. 05.12.2025 / Боков Н. А., Широких И. Г. 12 с.
8. Целлюлолитический потенциал новых штаммов почвенных стрептомицетов / Н. А. Боков, А. В. Бакулина, Е. А. Бессолицына, И. Г. Широких DOI: 10.31857/S0026365624050111 // Микробиология. 2024. Т. 93. № 5. С. 635–644.
9. Отбор стрептомицетов-хитинолитиков для биоконтроля грибных фитопатогенов / И. Г. Широких, Н. А. Боков, А. В. Бакулина, Е. А. Бессолицына. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.3.595-607 // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025. Т. 26. № 3. С. 595–607.
10. Актинобиота корней *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Ijlin как потенциальный источник микробиологических препаратов для растениеводства / И. Г. Широких, Я. И. Назарова, А. В. Бакулина и др. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.515-526 // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 4. С. 515–526.
11. Особенности урбозкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока / под ред. Т. Я. Ашихминой, Л. И. Домрачевой. Киров : Изд-во ВятГУ, 2012. 282 с.
12. Микроорганизмы как агенты биомониторинга и биоремедиации загрязненных почв / под ред. Т. Я. Ашихминой, Л. И. Домрачевой. Киров : Изд-во ВятГУ, 2018. 254 с.
13. Сообщества прокариот при самозаращении хранилища отходов химической промышленности / И. Г. Широких, Н. А. Боков, Е. В. Дабах и др. DOI: 10.15372/SEJ20240213 // Сибирский экологический журнал. 2024. № 2. С. 344–358.
14. Разнообразие микробных сообществ в почвах разных природно-техногенных экосистем Мещерской низменности / А. А. Широких, Н. А. Боков, Т. Л. Егошина, И. Г. Широких. DOI: 10.15372/SEJ20260111 // Сибирский экологический журнал. 2026. № 1. С. 155–174.
15. Shirokikh I. G., Noskova E. N., Bokov N. A. The effect of soil tillage on the structure of the fungal community. DOI: 10.1134/S1064229326601174 // Eur. Soil Sc. 2026. Vol. 59. Article No. 127.
16. Широких И. Г., Гембицкая Е. А., Ашихмина Т. Я. Распространение устойчивых к антибиотикам актинобактерий в почвах, подверженных разным видам антропогенного воздействия. DOI: 10.35885/1684-7318-2024-1-98-114 // Поволжский экологический журнал. 2024. № 1. С. 98–114.
17. Широких И. Г., Боков Н. А., Ашихмина Т. Я. Профили антибиотикорезистентности стрептомицетов из разных почв Вятского Прикамья // Теоретическая и прикладная экология. 2026. № 2. С. 183–191.

ПОЧВЕННЫЕ ПРОКАРИОТНЫЕ СООБЩЕСТВА ПРИ САМОЗАРАСТАНИИ ХРАНИЛИЩ ГИПССОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

И. Г. Широких^{1,2}, Е. В. Дабах¹, Н. А. Боков²

¹ Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
г. Сыктывкар, Россия, irgenal@mail.ru,

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

С использованием метабаркодинга проведен сравнительный анализ прокариотного компонента микробных сообществ двух образцов эмбриоземов (Technosols), формирующихся на гипсодержащих отходах на европейском Северо-Востоке (южная тайга) при разном сочетании факторов почвообразования (рельеф, растительность, возраст). Установлено таксономическое и функциональное сходство микробиомов почв «гипсовой горы» – открытого действующего хранилища отходов и ликвидированного хвостохранилища жидких отходов, где гипс использовали в качестве насыпного материала для рекультивации.

Ключевые слова: гипсодержащие отходы, начальное почвообразование, прокариоты, 16S рРНК, филогенетическое разнообразие, экологические функции

Почвенные микроорганизмы являются ключевым звеном в биогеохимических циклах элементов питания, в связи с чем оценка микробного разнообразия в экосистемах, подвергшихся техногенным воздействиям, имеет большое практическое значение. На импактных территориях происходят сокращение разнообразия бактерий и грибов, трансформация структуры природных сообществ, что влечет за собой, как правило, снижение интенсивности биогенных процессов и способности экосистем к самовосстановлению после нарушающих воздействий [1].

Одним из неблагоприятных техногенных воздействий на почвенные микробные сообщества и экосистемы в целом является накопление и хранение промышленных отходов. В районе г. Кирово-Чепецка Кировской области расположено открытое действующее хранилище отходов химического производства, так называемая «гипсовая гора». Кроме того, гипсодержащие отходы встречаются в этом районе в виде гипсовых линз на поверхности ликвидированного хвостохранилища жидких отходов химического производства, при рекультивации которого гипс использовался в качестве насыпного материала [2]. В обоих случаях гипс на дневной поверхности подвергается воздействию физико-химических факторов среды, становится субстратом, на котором происходит формирование почв и поселяется растительность. Самозаращение

гипсодержащих отходов происходит медленно. Так, через пять лет после рекультивации засыпанного хвостохранилища жидких отходов проективное покрытие растительности (в основном мхов) на поверхности гипсовой линзы составляло всего 5–10%, тогда как на рыхлых супесях и суглинках окружающей территории проективное покрытие пырея ползучего местами достигало 100% [3]. Заращение гипсовой горы, по-видимому, происходит уже более 25 лет, о чем свидетельствует возраст древесных пород. В природных условиях европейского Северо-Востока почвообразование на гипсовых отложениях наблюдается крайне редко ввиду весьма ограниченных по площади выходов гипса на дневную поверхность и интенсивного выветривания породы в гумидном климате вследствие хорошей растворимости гипса. Информация о разнообразии, структуре и функциях микробиома при педогенезе на не типичной для данной местности гипсовой породе отсутствует.

Целью работы являлось определение филогенетического разнообразия и прогнозирование экологических функций прокариотных сообществ в примитивных почвах техногенных экосистем, формирующихся на гипсодержащих субстратах в разных условиях среды.

Объектами исследования служили почвенные образцы, отобранные на двух участках: частично заросшем открытом действующем хранилище отходов – гипсовой горе и на засыпанном хвостохранилище жидких отходов, где гипс, наряду с другими материалами, использовался для рекультивации. Из верхнего слоя почвы (0–2 см) каждого участка отбирали по пять проб, которые смешивали и просеивали через сито с диаметром ячеек 2 мм для тщательной гомогенизации и удаления корней, растительных остатков и крупных включений. Смешанные образцы почвы доставляли в Центр коллективного пользования «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ (Санкт-Петербург, г. Пушкин), где из них выделяли тотальную ДНК и проводили ампликонное секвенирование гена 16S рРНК на приборе Illumina MiSeq (Illumina, США).

В смешанных образцах почв определяли рН – по ГОСТ 26423-85, содержание органического вещества – по ГОСТ 26213-2021. Определение валового химического состава выполнено методами масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (г. Черноголовка).

Биоинформатическую обработку данных секвенирования проводили с помощью программного обеспечения Illumina и программного пакета QIIME 2 [4]. Классификация репрезентативных последовательностей по таксонам с восстановлением исходных флотипов (ASV, Amplicon sequence variant) и дальнейшей таксономической классификацией полученных ASV, выполнена с использованием базы нуклеотидных последовательностей SILVA (версия 138.2). При помощи QIIME2 рассчитывали индексы альфа-разнообразия, которое характеризовали с помощью индексов Шеннона, Фишера, Пиелу и Симпсона [5] и по количеству обнаруженных таксонов – ана-

лога видового богатства. Наряду с оценкой филогенетического разнообразия, выполняли экологическое профилирование прокариотных сообществ, для чего использовали программный комплекс FAPROTAX [6].

На основании результатов высокопроизводительного ампликонного секвенирования фрагмента гена 16S рРНК для формирующихся на гипсодержащих отходах прокариотных почвенных сообществ были рассчитаны индексы разнообразия (табл. 1).

Таблица 1

**Индексы разнообразия и таксономическое богатство бактерий
в почвах на гипсодержащих отходах**

Место отбора образцов	Индексы разнообразия			Индекс Фишера	Индекс Пиелу	Выявленные таксоны (богатство)
	Шеннона	Симпсон	Чео 1			
Гипсовая гора	7,4	0,993	231	42,0	0,944	231
Хвостохранилище	7,3	0,993	226	42,4	0,940	226

Показатели, полученные для двух разных микробиомов, оказались очень близки по значениям, несмотря на имеющиеся различия в свойствах, валовом содержании и элементном составе почв, формирующихся на разных участках. Так, по результатам анализа элементного состава, в почве гипсовой горы зафиксировано содержание ртути (3,6 мг/кг Hg), превышающее в 1,7 раза ПДК, и содержание стронция (275 мг/кг Sr), превышающее в 1,5 раза значение регионального фона. Накопление поллютантов в горизонте подстилки, вероятно, обусловлено денудацией компонентов современных отходов действующего объекта вниз по склону (уклон 15 °). Однако наличие в почве токсичных металлов не отразилось на разнообразии и видовом богатстве почвенных бактерий. Это можно объяснить тем, что в почве гипсовой горы по сравнению с хвостохранилищем отмечено существенно более высокое содержание органического вещества (26,6 против 2,4%) и эссенциальных элементов: фосфора (P_2O_5 – 0,43 против 0,057%), серы ($S_{\text{общ}}$ – 2,4 против 0,5%), кальция (CaO – 19,3 против 1,6%) [7].

В таксономическом составе прокариотных сообществ на гипсодержащих отходах выявлены представители 15 бактериальных и 1 архейного филума, которые в совокупности составили около 70% от общего количества классифицированных в работе ASV (рис. 1). В бактериальных сообществах почв гипсовой горы и хвостохранилища доминировали представители филумов – *Proteobacteria* (28,6 и 24,2% соответственно) и *Actinobacteria* (17,7 и 22,7% соответственно). Высоким относительным обилием характеризовались также *Bacteroidetes*, на долю которых приходилось соответственно 8,6 и 11,3% от общего числа классифицированных последовательностей. Доля ASV, отнесённых к другим филумам, в почвах на гипсодержащих отходах не превышала 0,4–3,7%.

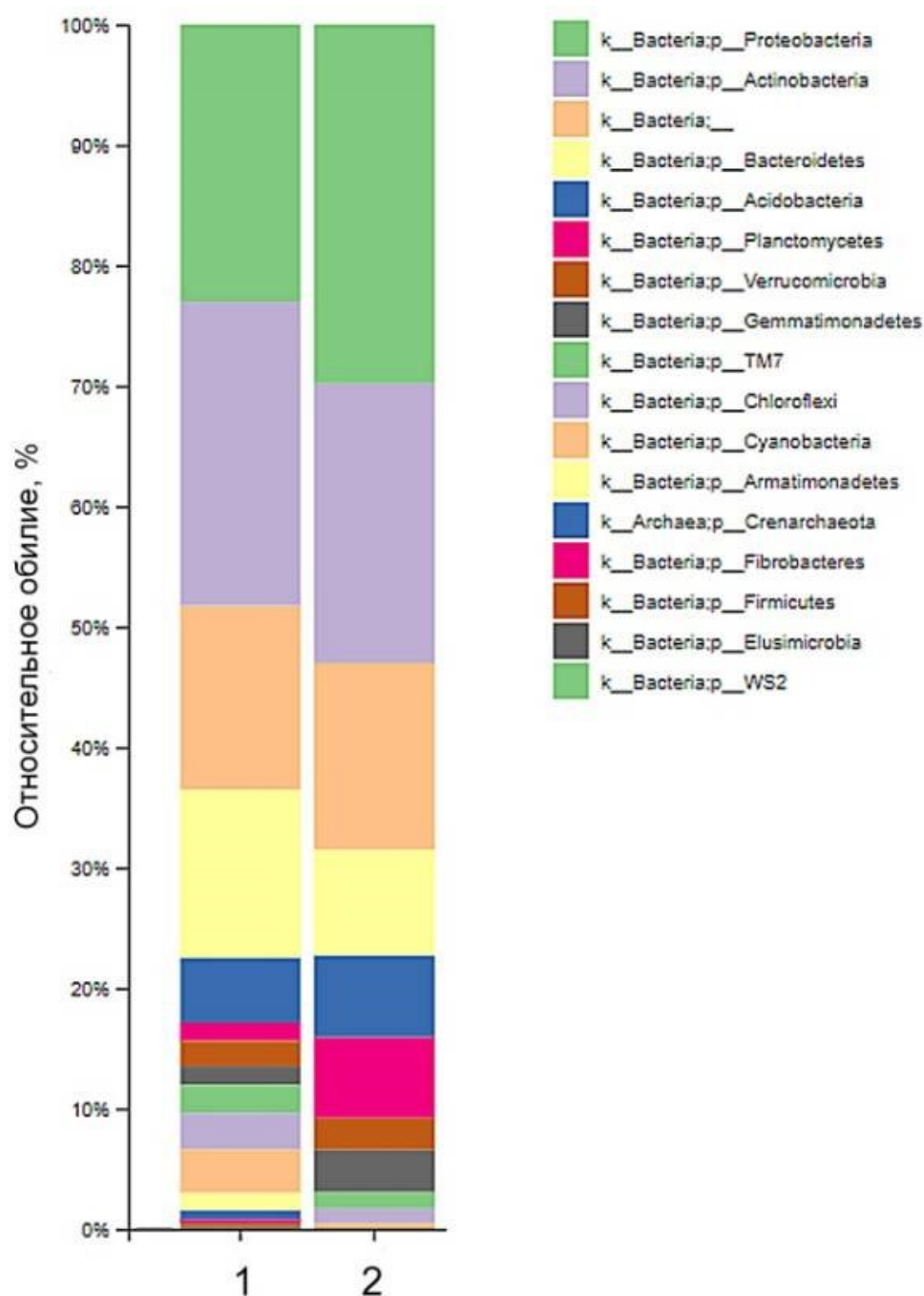


Рис. 1. Структура прокариотных почвенных сообществ на уровне филумов:
1 – хвостохранилище; 2 – гипсовая гора

Не выявлены существенные различия в филогенетической структуре сравниваемых сообществ и на более низких таксономических уровнях. Так, на уровне родов прокариоты формирующихся почв на гипсодержащих отходах тоже демонстрировали высокое таксономическое сходство (рис. 2).

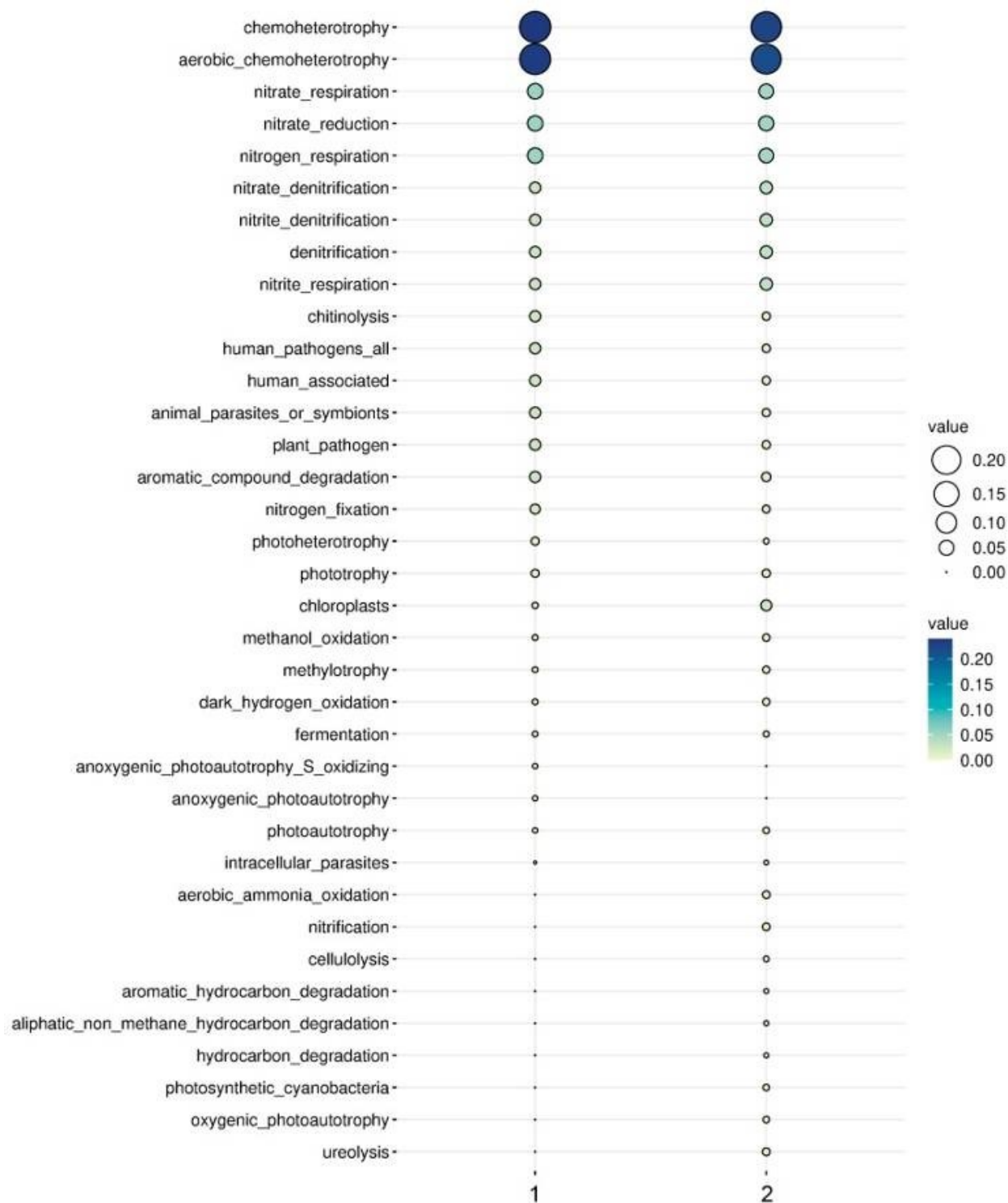


Рис. 3. Относительная численность основных трофических групп бактерий, прогнозируемых на основе результатов FAPROTAX, в микробиомах формирующихся почв: 1 – гипсовая гора; 2 – хвостохранилище

Данные по ASV, полученные для почвенных прокариот, были разделены в общей сложности на 36 функциональных групп по метаболическим или другим экологически значимым функциям, включая трансформацию соединений углерода, азота и другие процессы биогеохимического цикла. Наиболее распространённой функцией в том и другом сообществах предсказуемо ока-

залась хемогетеротрофия, в первую очередь, аэробная. В отличие от прокариотного сообщества гипсовой горы в микробиоме хвостохранилища спрогнозировано более высокое относительное содержание генов, связанных с такими экологическими функциями, как денитрификация, нитритное дыхание, а также наличие генов, детерминирующих процессы аэробного окисления аммония, нитрификации, разрушения целлюлозы, оксигенной фототрофии, разложения мочевины. В свою очередь, в микробиоме гипсовой горы выше относительное обилие генов, связанных с хитинолизом, азотфиксацией, деградацией ароматических соединений, а также патогенезом растений, человека и животных. По другим связанным с циклами углерода и азота экологическим функциям существенных различий между микробиомами формирующихся на гипсодержащих отходах почв не установлено.

Таким образом, полученные с помощью метабаркодинга результаты свидетельствуют, что на стадии начального почвообразования общий для двух разных участков характер почвообразующей породы, представленной гипсодержащим материалом, определяет не только сходство филогенетической структуры прокариотного компонента микробного сообщества, но и основные экологические функции прокариот в почвах, формирующихся в техногенном ландшафте на не свойственной для данной местности гипсовой породе.

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. Прокариотные сообщества почвогрунтов отвалов Курской магнитной аномалии / Е. А. Иванова, Е. В. Першина, Д. В. Карпова и др. DOI: 10.17816/ecogen17415 // Экологическая генетика. 2020. Т. 18. № 3. С. 331–342.
2. Кондакова Л. В., Дабах Е. В., Кислицына А. П. Формирование биоценоза на техногенных отходах. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-129-135 // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 129–135.
3. Дабах Е. В. Почвообразование на техногенных озерных илах. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-4-030-039 // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 4. С. 30–39.
4. 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. Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М. : Мир, 1992. 181 с.
6. Can we use functional annotation of prokaryotic taxa (FAPROTAX) to assign the ecological functions of soil bacteria? / C. Sansupa, S. F. M. Wahdan, S. Hossen, et al. DOI: 10.3390/APP11020688 // Appl. Sci. 2021. Vol. 11. No. 2. Article No. 688.
7. Дабах Е. В. Почвообразование на гипсодержащих отходах химического производства // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Киров, 2025. С. 48–53.

СООБЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ АКТИНОМИЦЕТОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ БЫВШЕГО ОБЪЕКТА ПО УНИЧТОЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

И. Г. Широких^{1,2}, Т. И. Кутявина¹, С. Э. Мокрушина²

¹ *Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук,
г. Сыктывкар, Россия, irgenal@mail.ru,*

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

Проведен сравнительный анализ структуры комплексов почвенных актиномицетов в почвах лесного и луговых ценозов в окрестностях объекта хранения и уничтожения химического оружия (ОХУХО), прекратившего свою деятельность более 10 лет назад. Показано отсутствие выраженных различий между культивируемой актинобиотой импактных почв и почвы прилегающей территории.

Ключевые слова: комплекс актиномицетов, численность, видовая структура, относительное обилие, частота встречаемости.

Более полувека на территории Оричевского района Кировской области хранились запасы авиационных химических боеприпасов в снаряжении фосфорорганическими (типа Vх, зарин, зоман) и мышьяксодержащими (смесь иприта с люизитом) отравляющими веществами в суммарном объеме 6929 т [1]. В соответствии с Конвенцией о запрещении химического оружия и его уничтожении на базе объекта хранения был сформирован объект по уничтожению химического оружия (ОХУХО) «Марадыковский», введенный в эксплуатацию в сентябре 2006 года. К декабрю 2013 года на объекте было уничтожено более 99% запасов химического оружия [2].

Для оценки экологического состояния почв, подверженных влиянию техногенных факторов, связанных с уничтожением химического оружия, была создана программа биологического мониторинга, согласно которой состояние почв в зоне деятельности объекта оценивалось по целому ряду показателей, включая комплекс мицелиальных прокариот – актиномицетов.

С использованием актиномицетов в качестве модельной группы микроорганизмов было доказано значимое влияние техногенных факторов на варьирование в почвах численности, разнообразия, долевого участия в комплексе представителей отдельных таксонов [3]. Установлены характерные физиологические отклики представителей мицелиальных прокариот на действие приоритетных загрязнителей окружающей среды при хранении и уничтожении химического оружия: метилфосфоновой кислоты [4], пирофосфата натрия [5], соединений мышьяка [6].

Цель настоящего исследования – определение численности и структуры комплексов актиномицетов в почвах луговых и лесного фитоценозов, расположенных в границах бывшей санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и зоны защитных мероприятий (ЗЗМ) ОХУХО «Марадыковский».

Для оценки изменений, произошедших в структуре комплексов актиномицетов за период после прекращения производственной деятельности ОХУХО «Марадыковский», в сентябре 2025 г. на участках в лесном и луговых ценозах были отобраны образцы почв на расстоянии от 0,45 до 1,5 км от объекта. В образцах определяли pH – по ГОСТ 26423-85, содержание органического вещества – по ГОСТ 26213-2021. Микробиологический посев проводили из разведений почвенных суспензий на казеин-глицериновый агар (КГА) и среду с пропионатом натрия. Перед посевом почву прогревали при 70 °С в течение 4 ч для ограничения роста немиецелиальных бактерий. Чашки с посевами культивировали при 28 °С в течение двух недель. Дифференцированный учет представителей различных цветовых секций и серий рода *Streptomyces* проводили на КГА, численности других/редких родов актиномицетов – на среде с пропионатом натрия путем прямого микроскопирования колоний на чашках (Leica DM 2500, Германия). Статистическая обработка выполнена стандартным методом с использованием программы Microsoft Excel 7.

При учете на КГА численность мицелиальных прокариот в исследуемых почвах варьировала от тысяч до сотен тысяч КОЕ/г, тогда как на среде с пропионатом натрия изменялась в пределах значений, превышающих приведенные на порядок (10^4 – 10^6 КОЕ/г) (табл. 1).

Таблица 1

Численность актиномицетов в образцах почв, отобранных в окрестностях бывшего объекта хранения и уничтожения химического оружия

Тип фитоценоза	Участок отбора почвы / слой, см	Общая численность актиномицетов, КОЕ/г	
		на КГА	на среде с пропионатом натрия
Лесной	005 / 0–5	$(3,8 \pm 1,17) \times 10^4$	$(3,5 \pm 2,13) \times 10^5$
	005 / 5–10	$(4,2 \pm 2,04) \times 10^3$	$(1,5 \pm 0,55) \times 10^4$
	0056 / 0–1	$(1,9 \pm 0,15) \times 10^5$	$(1,3 \pm 0,47) \times 10^5$
	0056 / 1–5	$(1,3 \pm 1,03) \times 10^3$	$(1,0 \pm 1,55) \times 10^3$
Луговой	006 / 0–7	$(1,8 \pm 0,85) \times 10^5$	$(1,4 \pm 0,18) \times 10^6$
	006 / 7–20	$(3,3 \pm 0,82) \times 10^4$	$(7,3 \pm 1,4) \times 10^4$
	233 / 0–20	$(2,1 \pm 0,47) \times 10^5$	$(5,4 \pm 0,87) \times 10^5$

Наличие выраженных различий в показателях, определяемых на средах с разными источниками углерода, не является типичным для региональных почв и, очевидно, может рассматриваться как результат накопления в почвенном микробиоме форм актиномицетов с определенными трофическими предпочтениями.

Максимальной численностью мицелиальных прокариот на той и другой среде среди проанализированных отличался образец, отобранный из поверх-

ностного (0–7 см) горизонта дерново-глеевой, оподзоленной почвы лугового фитоценоза (ассоциация: вейник наземный и полевица тонкая – участок 006). Наименьшей плотностью заселения актиномицетами отличались образцы из подповерхностных горизонтов (1–5; 5–10 см) среднеподзолистой песчаной почвы лесного фитоценоза (елово-берёзовый лес чернично-мёртвопокровный – участок 005).

Сопоставление количества актиномицетов с показателями кислотности и содержания в почвах органического вещества выявило наличие явной зависимости в распределении мицелиальных прокариот от того и другого почвенных факторов (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика свойств почв

Тип фитоценоза	Участок отбора почвы / слой, см	pH водн.	pH сол.	Органическое вещество, %
Лесной	005 / 0–5	3,9±0,1	3,1±0,1	7,2±0,7
	005 / 5–10	4,1±0,1	3,4±0,1	2,2±0,33
	005б / 0–1	5,0±0,1	4,2±0,1	4,1±0,6
	005б / 1–5	5,3±0,1	3,8±0,1	0,41±0,08
Луговой	006 / 0–7	6,4±0,1	6,2±0,1	5,9±0,6
	006 / 7–20	6,6±0,1	5,9±0,1	2,8±0,4
	233 / 0–20	5,9±0,1	5,7±0,1	4,3±0,6

Отмечена приуроченность высокой плотности актиномицетных пропагул к образцам с большим содержанием органического вещества (4,3–5,9%) и приближенными к нейтральным значениям кислотности (pH 5,9–6,4). Вместе с тем, в образце лесной почвы, обогащенной грубым гумусом (7,2±0,7%), даже при критически низких значениях кислотности (pH 3,9±0,1), численность актиномицетов выше (10^4 – 10^5), чем в подповерхностном слое (10^3 – 10^4) с более благоприятной реакцией почвенного раствора (pH 4,1±0,1), но существенно более низким содержанием органического вещества (2,2±0,33%).

Комплекс актиномицетов, населяющих почвы прилегающих к объекту лесного и луговых фитоценозов, представлен видами родов *Streptomyces*, *Micromonospora* и олигоспоровыми актиномицетами (табл. 3).

Таблица 3

Родовой состав почвенных актиномицетов в окрестностях бывшего объекта хранения и уничтожения химического оружия, сентябрь 2025 г.

Тип фитоценоза	Участок отбора почвы / слой, см	Встречаемость / Доля рода, %		
		<i>Streptomyces</i>	<i>Micromonospora</i>	Олигоспоровые
Лесной	005 / 0–5	100 / 98,2	33,3 / 0,9	33,3 / 0,9
	005 / 5–10	100 / 90,1	66,7 / 8,8	16,7 / 1,1
	005б / 0–1	0 / 0	100 / 100	0 / 0
	005б / 1–5	66,6 / 100	0 / 0	0 / 0
Луговой	006 / 0–7	100 / 97,6	100 / 2,2	16,7 / 0,1
	006 / 7–20	100 / 97,7	16,7 / 2,3	0 / 0
	233 / 0–20	100 / 100	0 / 0	0 / 0

Доминировали по частоте встречаемости (100%) и относительному обилию (97,6–100%), как в почвах лесного, так и луговых фитоценозов, представители рода *Streptomyces*. Своеобразием отличалась актинобиота поверхностного образца (0–1 см) лесной почвы, отобранной в месте нарушения микрорельефа (участок 005б), где доминировали (100%) виды рода *Micromonospora*, занимающие во всех других локациях позицию минорных представителей. Стрептомицеты в данном образце обнаружены не были, а в подповерхностном горизонте (1–5 см) их частота встречаемости была существенно ниже (66,7%), чем в других актиномицетных комплексах. Олигоспоровые формы чаще обнаруживались в лесном (до 33,3%), чем в луговом (16,7%) фитоценозе. Относительное обилие олигоспор изменялось от 0 до 1,1%, при этом прослеживалась их приуроченность к локациям с высоким содержанием органического вещества – 5,9 и 7,2% (табл. 2).

Анализ видовой структуры стрептомицетного комплекса тоже выявил ряд особенностей, отличающих его от почвенного комплекса мицелиальных прокариот за границами зоны влияния объекта (Котельничский район), а также различия между актинобиотой лесного и лугового фитоценозов (табл. 4).

Таблица 4

**Видовая структура комплексов стрептомицетов в окрестностях
бывшего объекта хранения и уничтожения химического оружия,
сентябрь 2025 г.**

Участок отбора почвы / слой, см	Встречаемость / Доля цветковых секций и серий, %							<i>Micromonospora</i>
	Albus Albus	Albus Albocolatus	Cinereus Achromo- genes	Cinereus Chromo- genes	Cinereus Vio- laceus	Laven- dulae- roseus	Helvo- lus	
Лесной фитоценоз								
005 / 0–5	16,7 / 9	50 / 22	66,7 / 48	50 / 21	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0
005 / 5–10	0 / 0	0 / 0	66,7 / 52	66,7 / 36	0 / 0	0 / 0	0 / 0	16,7 / 12
005б / 0–1	16,7 / 0,9	0 / 0	16,7 / 0,9	16,7 / 0,9	0 / 0	0 / 0	0 / 0	100 / 97,3
005б / 1–5	33,3 / 25	0 / 0	66,7 / 62,5	16,7 / 12,5	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0
Луговой фитоценоз								
006 / 0–7	100 / 81	0 / 0	50 / 5	16,7 / 1	16,7 / 1	83,3 / 8	16,7 / 4	0 / 0
006 / 7–20	50 / 40	0 / 0	33,3 / 10	16,7 / 10	0 / 0	0 / 0	0 / 0	66,7 / 40
233 / 0–20	100 / 33	0 / 0	100 / 54	16,7 / 8	33,3 / 5	0 / 0	0 / 0	0 / 0

Так, специфической особенностью стрептомицетных комплексов в почвах луговых фитоценозов в окрестностях бывшего ОХУХО можно считать относительно низкую представленность меланизированных форм, относящихся к цветковым секциям и сериям *Cinereus Chromogenes* и *Albus Albocoloratus*. Вместе с тем, обнаруживались другие пигментированные виды из серии *Cinereus Violaceus* и секций *Lavendulae-roseus* и *Helvolus*, которые не встречались в почве лесного фитоценоза. Наибольшим видовым разнообразием (6 секций и серий) отличался комплекс стрептомицетов хорошо гумусированной луговой почвы с реакцией среды близкой к нейтральной (рН 6,4–6,6). Лесные почвы характеризовались более узким видовым спектром (4 секции и серии) и низкими показателями встречаемости (16,7%) и относительного обилия (0–9%) неокрашенных видов *Albus Albus*. Низкое видовое разнообразие и

преобладание в комплексе представителей серии *Cinereus Achromogenes* обусловлено, очевидно, низкими в этих почвах значениями pH.

Таким образом, все исследованные почвенные образцы, отобранные в границах бывших СЗЗ и ЗЗМ ОХУХО, содержали актиномицеты в количестве, сопоставимом с их содержанием в зональных дерново-подзолистых почвах вне границ влияния Объекта и были представлены видами из родов *Streptomyces*, *Micromonospora* и олигоспоровыми формами. Существенные трансформации в структуре почвенных актиномицетов по прошествии 12 лет с окончания деятельности объекта не установлены.

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. Новикова Е. А., Ашихмина Т. Я. Оценка риска загрязнения природного комплекса при поэтапном строительстве и эксплуатации объекта уничтожения химического оружия // Современные проблемы биомониторинга и биоиндикации : сб. материалов VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Киров : ООО «Лобань», 2010. С. 180–182.
2. Холстов В. И. Итоги реализации Федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в РФ» в преддверии 2014 года // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 4. С. 6–9.
3. Численность и структура комплексов почвенных актиномицетов в районе возможного влияния химически опасного объекта / И. Г. Широких, Е. В. Товстик, Е. В. Дабах, Т. Я. Ашихмина. DOI: 10.7868/S0032180X13070101 // Почвоведение. 2013. № 7. С. 860–866.
4. Товстик Е. В., Широких И. Г., Огородникова С. Ю. Реакция актиномицетов на загрязнение почвы метилфосфоновой кислотой // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : ООО «Веси», 2014. С. 289–293.
5. Широких И. Г., Товстик Е. В. Реакция актиномицетов на пирофосфат натрия // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем : материалы XI Всерос. науч.-практ. конф.-выставки инновац. экол. проектов с междунар. участием. Киров : ООО «Веси», 2013. С. 195–197.
6. Реакция почвенных актиномицетов на загрязнение почвы мышьяком / И. Г. Широких, Е. В. Товстик, Т. Я. Ашихмина, А. А. Широких // Агрохимия. 2014. № 1. С. 82–89.

СЕКЦИЯ 7 ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ВОСПИТАНИЕ

PROMOTING ENVIRONMENTAL LITERACY AND PREVENTIVE HEALTH UPBRINGING VIA PHYTOTHERAPEUTIC PRACTICE: A COMMUNITY STUDY ON *ALOE VERA*–*HIBISCUS* FORMULATION FOR LEUCORRHEA

P. Bhalerao, R. Rawat, S. Patidar
Dr. C. V. Raman University, Khandwa, India

This research paper explores the potential of an Ayurvedic herbal formulation prepared from *Aloe vera* gel and hibiscus flower juice as a natural, accessible remedy for reducing leucorrhea. The prepared formulation – comprising equal proportions of *Aloe vera* gel and hibiscus juice, administered once or twice daily – was evaluated through a community-based survey among rural women to assess symptoms, usability, environmental health awareness, and perceived effectiveness. Findings support the potential of this low-cost, accessible, and culturally accepted combination in managing leucorrhea while empowering women through preventive healthcare knowledge. Further clinical validation is recommended to substantiate its therapeutic efficacy and safety for wider application.

Keywords: leucorrhea, *Aloe vera*, *Hibiscus rosa-sinensis*, Ayurvedic herbal remedy, women's reproductive health, hormonal imbalance.

Leucorrhea is a common gynecological condition among women of reproductive age and is characterized by excessive or abnormal vaginal discharge. While mild discharge is physiologically normal, persistent leucorrhea is often associated with infections, hormonal imbalance, nutritional deficiencies, psychological stress, and inadequate hygiene. Its prevalence is notably higher in rural and socio-economically disadvantaged populations due to limited access to healthcare services, low awareness, and social stigma, which often results in delayed treatment and chronic symptoms [1].

Ayurveda gives a holistic approach to managing gynecological disorders by addressing underlying imbalances rather than only symptomatic relief. According to Ayurvedic principles, leucorrhea is linked to Kapha dosha imbalance and weakened reproductive tissues, and is managed using cooling, astringent, antimicrobial, and strengthening herbs [2]. Patwardhan et al. [3] emphasized that Ayurvedic therapies aim to restore physiological balance, making them suitable for chronic reproductive conditions.

Aloe vera is a well-documented medicinal plant known for its antimicrobial, anti-inflammatory, wound-healing, and immune-modulatory properties. These therapeutic effects are attributed to its rich content of bioactive compounds and flavonoids, which may help reduce infection-related discharge and improve reproductive tissue health [4, 5]. Similarly, *Hibiscus rosa-sinensis* has been traditionally used for female reproductive disorders due to its antifungal, antibacterial, cooling, and astringent properties. It has also been reported to support hormonal regulation and reduce excessive vaginal secretions [6, 7].

Herbal remedies are widely regarded as safe, affordable, and culturally acceptable options for women's reproductive healthcare, particularly in rural settings where modern medical facilities are limited. Mishra [8] highlighted the scientific basis of Ayurvedic therapies, supported by long-standing empirical evidence. The Arena Fitness Enterprise (2013) has advocated the combination of established conventional medication into number one healthcare structures.

The present investigation was designed as a community-based observational survey aimed at evaluating the perceived effectiveness of an Ayurvedic herbal formulation prepared using *Aloe vera* gel and *Hibiscus rosa-sinensis* flower extract in the management of leucorrhea among rural women. This descriptive, non-clinical study sought to systematically document traditional herbal practices while adhering to ethical research standards. The study was conducted in selected rural regions where women commonly rely on traditional medicine due to limited availability of modern healthcare services. Women of reproductive age reporting symptoms of leucorrhea were enrolled in the study. Participation was entirely voluntary, and informed consent was obtained prior to data collection. Selection of participants was based on clearly defined inclusion and exclusion criteria. Women experiencing white vaginal discharge and willing to consume the herbal preparation were included, whereas pregnant or lactating women and those diagnosed with serious gynaecological conditions requiring medical intervention were excluded to maintain participant safety and consistency of observations. The herbal formulation was freshly prepared using natural ingredients. Two tablespoons each of freshly extracted *Aloe vera* gel and *Hibiscus rosa-sinensis* flower juice were mixed with approximately 100–150 ml of clean drinking water (Fig. A). Honey was optionally added to enhance palatability (Fig. B). To ensure maximum effectiveness, the preparation was consumed immediately after preparation (Fig. C). Participants were advised to take the formulation once daily on an empty stomach for a period ranging from 7 to 21 days (Fig. D). In cases where symptoms were reported as severe, twice-daily consumption was recommended under supervision. Participants were instructed to discontinue use if any discomfort or adverse reactions occurred.

Data collection was carried out using a structured questionnaire that captured demographic information, duration and severity of leucorrhea, associated symptoms, environmental health awareness of herbal remedies, and self-reported improvement following use of the formulation. Personal interactions were conducted to ensure clarity and accuracy of responses. Outcome evaluation was based on participants' self-assessment of symptom relief, including reduction in vaginal discharge, alleviation of itching, and improvement in overall comfort. The collected data were analysed descriptively to identify observable patterns and trends.

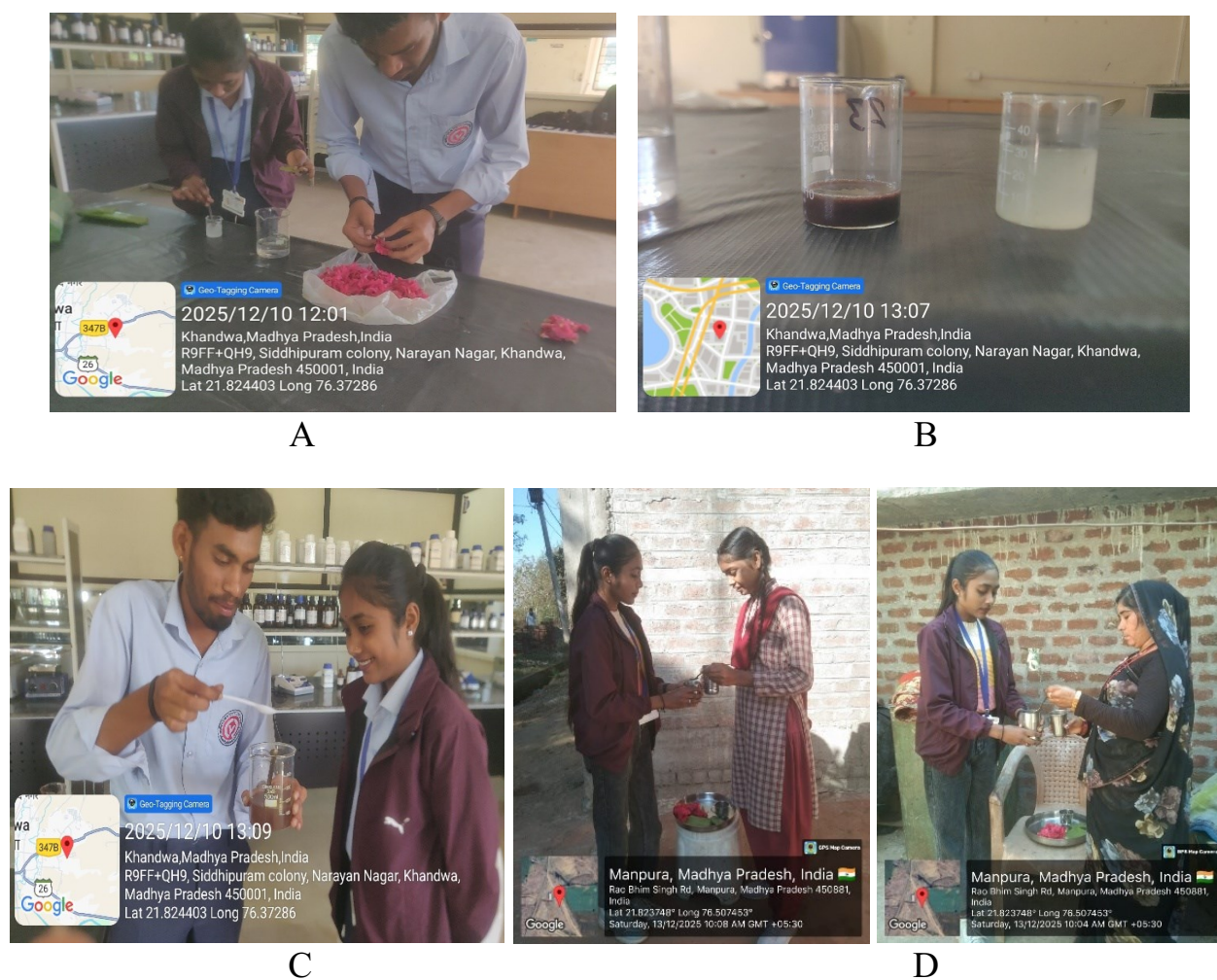


Fig. Stages of the study. See the text for explanations

Evaluation of the survey findings showed that leucorrhea was predominantly reported among women in the reproductive age range, with the highest occurrence observed between 20 and 40 years of age. This phase of life is marked by active hormonal regulation, making women more vulnerable to conditions associated with hormonal imbalance, including excessive vaginal discharge. The results reflect that reproductive health concerns remain common among rural women and are frequently overlooked due to insufficient environmental health awareness, social hesitation, and limited availability of medical services. Analysis of symptom duration revealed that a considerable number of participants had been experiencing leucorrhea for prolonged periods, extending from a few months to more than six months.

Several respondents described the condition as moderate to severe, often accompanied by symptoms such as genital itching, general weakness, and pain or discomfort in the lower abdominal region. These observations indicate that leucorrhea in rural communities is often persistent and chronic, potentially leading to reduced quality of life and daily discomfort when not appropriately addressed.

Assessment of participants' knowledge highlighted a low level of environmental health awareness regarding Ayurvedic or herbal management of leucorrhea. While certain women were familiar with traditional home remedies through cultural practices, only a small proportion had previously adopted herbal treatments in a regular or structured manner. This finding underlines the necessity for targeted community education and proper guidance on the safe and effective use of traditional medicinal preparations.

Post-intervention evaluation demonstrated a favourable response to the *Aloe vera*–*Hibiscus* herbal formulation. Most participants reported a noticeable decline in the intensity and frequency of white vaginal discharge following consistent intake of the preparation over the recommended period. Additionally, relief from associated symptoms such as itching, irritation, and physical discomfort was commonly reported. These outcomes suggest that the formulation offered supportive benefits in the management of leucorrhea-related symptoms. Beyond symptom reduction, many women also noted an improvement in overall physical comfort and ability to perform daily activities. This holistic benefit may be linked to the combined cooling, anti-inflammatory, antimicrobial, and regulatory effects attributed to *Aloe vera* and *Hibiscus rosa-sinensis* in traditional medicine. The findings align with Ayurvedic concepts that emphasize restoring internal balance to promote reproductive health.

The survey further indicated high levels of acceptability and adherence to the herbal regimen. Participants found the formulation simple to prepare, economical, and suitable for regular use. The optional use of honey enhanced palatability, which contributed to better compliance. A majority of respondents expressed willingness to continue using the remedy and to recommend it to other women in their community, reflecting strong cultural acceptance and trust in the formulation. Interpretation of the survey data suggests that the *Aloe vera*–*Hibiscus* formulation demonstrated encouraging perceived effectiveness in alleviating symptoms of leucorrhea among rural women. Although the outcomes were based on self-reported observations rather than clinical diagnosis, the consistent pattern of improvement across multiple parameters strengthens the reliability of the findings. The study highlights the potential value of incorporating traditional Ayurvedic remedies into community-based women's health programs, while also emphasizing the need for further clinical and laboratory investigations to validate these results scientifically.

The present community-based survey assessed the perceived impact of an Ayurvedic formulation prepared from *Aloe vera* and *Hibiscus rosa-sinensis* on the management of leucorrhea among women residing in rural areas. Evaluation of the survey responses indicated that the condition was most commonly observed in women belonging to the reproductive age group, especially between 20 and 40

years. This trend can be explained by the hormonal variations that occur during this phase of life, which increase vulnerability to excessive vaginal discharge. The findings also revealed that a considerable number of participants had been experiencing symptoms for prolonged periods, highlighting leucorrhea as a frequently ignored and persistent health issue in rural communities. Assessment of baseline knowledge showed that prior environmental health awareness regarding Ayurvedic or herbal approaches for managing leucorrhea was generally low. Although traditional healing practices were familiar within the community, their regular and guided application was limited due to inadequate scientific understanding and lack of proper instruction. This observation reflects a significant gap between traditional knowledge and informed health-seeking behavior, underlining the importance of environmental health structured awareness and education initiatives.

After regular intake of the *Aloe vera*–*Hibiscus* formulation for a period ranging from 7 to 21 days, most participants reported a visible decrease in the intensity of white vaginal discharge. Additionally, relief was noted in accompanying symptoms such as itching, irritation, weakness, and overall discomfort. The improvement observed across multiple symptom parameters suggests that the formulation contributed positively to enhancing physical comfort and daily functioning. The consistency of these responses strengthens the credibility of the survey outcomes. The beneficial effects observed in the study may be associated with the complementary therapeutic properties of the two herbal ingredients. *Aloe vera* is widely recognized for its antimicrobial, anti-inflammatory, detoxifying, and immune-supportive actions, which may aid in controlling infection-related discharge and improving reproductive tissue health. *Hibiscus rosa-sinensis* exhibits cooling, astringent, antifungal, and hormone-modulating characteristics, which may assist in reducing excessive secretions and supporting hormonal balance. The combined action of these herbs likely played a key role in alleviating symptoms of leucorrhea. Women reported that the remedy was simple to prepare, affordable, and suitable for routine use. The optional addition of honey improved taste, which helped maintain regular consumption. A substantial proportion of respondents expressed their intention to continue using the formulation and to recommend it within their community, indicating strong cultural compatibility and potential for wider application.

The outcomes of the study are consistent with Ayurvedic principles that focus on restoring balance within the body and reducing abnormal secretions through natural interventions. Although the study was based on self-reported observations and lacked clinical or laboratory confirmation, the uniform pattern of improvement among participants suggests that the *Aloe vera*–*Hibiscus* formulation holds promise as a supportive measure for leucorrhea management. These findings demonstrate that community-level documentation of traditional herbal practices can offer meaningful insights into women's reproductive health, particularly in rural and resource-constrained settings. The study supports the inclusion of Ayurvedic herbal formulations in preventive healthcare strategies, while also emphasizing the necessity for future controlled clinical studies to confirm efficacy, establish standardized dosage, and ensure long-term safety.

The present community-based survey study concludes that the Ayurvedic formulation prepared from *Aloe vera* gel and *Hibiscus rosa-sinensis* flower juice showed encouraging supportive effects in the management of leucorrhea among rural women. The condition was found to be common in women of reproductive age and often remained untreated due to limited environmental health awareness and healthcare accessibility. Regular intake of the formulation for 7–21 days resulted in a noticeable reduction in white vaginal discharge and relief from associated symptoms such as itching, irritation, weakness, and discomfort. The remedy was well accepted due to its simplicity, low cost, and cultural suitability, leading to improved compliance and confidence in Ayurvedic practices. The observed benefits may be attributed to the combined antimicrobial, anti-inflammatory, cooling, and hormone-regulating properties of *Aloe vera* and *Hibiscus*. Although the findings are based on self-reported survey outcomes, the consistent pattern of symptom improvement indicates the potential of this formulation as a supportive natural approach for leucorrhea management. Further controlled clinical studies are recommended to confirm efficacy, standardize dosage, and ensure long-term safety.

References

1. Prevalence of pathological Leucorrhea and traditional management practices in India / J. Majumdar, J. Gogoi, I. Barman, et al. DOI: 10.33029/2305-3496-2025-14-4-75-83 // Infectious Diseases: News, Opinions, Training. Journal named after Academician N. D. Yushchuk. 2025. Vol. 14. No 4. P. 75–83.
2. Sharma P. V. Dravyaguna Vijnana. Varanasi : Chaukhambha Bharati Academy, 2016. Vol. 2. 195 p.
3. Ayurveda and traditional Chinese medicine: a comparative overview / B. Patwardhan, D. Warude, P. Pushpangadan, N. Bhatt. DOI: 10.1093/ecam/neh140 // Evid. Based Complement. Alternat. Med. 2005. Vol. 2. No. 4. P. 465–473.
4. Surjushe A., Vasani R., Saple D. G. *Aloe vera*: a short review. DOI: 10.4103/0019-5154.44785 // Indian J. Dermatol. 2008. Vol. 53. No. 4. P. 163–166.
5. Kumar S., Pandey A. K. Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. DOI: 10.1155/2013/162750 // Sci. World J. 2013. Vol. 2013. Article No. 162750.
6. *Hibiscus rosa-sinensis*: a multifunctional flower bridging nutrition, medicine, and molecular therapeutics / H. Raza, M. T. Sultan, K. Ahmad, et al. DOI: 10.1002/fsn3.71254// Food Sci. Nutr. 2025. Vol. 13. No. 12. Article No. e71254.
7. Kirtikar K. R., Basu B. D. Indian medicinal plants. Delhi : Periodical Experts Book Agency, 2006. Vol. 2.
8. Scientific basis for Ayurvedic therapies / Ed. L. C. Mishra. CRC Press, 2004. 600 p.

ECO-IDENTITY AS A PREDICTOR OF SUSTAINABLE BEHAVIOR AMONG UNIVERSITY STUDENTS: A SURVEY-BASED STUDY INTE- GRATING UPBRINGING, AI AWARENESS, AND ENVIRONMENTAL EDUCATION

A. Laad

Dr. C. V. Raman University, Khandwa, India

Environmental sustainability requires behavioral transformation, particularly among young adults. This study examines the role of eco-identity in predicting sustainable behavior among university students. A structured questionnaire was administered to 60 students aged 18–25 using a 5-point Likert scale. SPSS-based statistical analysis, including Mean and Standard Deviation (SD) correlation, revealed that eco-identity significantly predicts sustainable behavior (Mean = 3.90) and AI awareness ((Mean = 3.50) and standard deviation values range between (0.55 to 0.75), significantly influenced eco-identity. The study highlights the importance of integrating identity-based learning, technological awareness, and upbringing in environmental education frameworks.

Keywords: eco-identity, sustainable behavior, environmental education, AI awareness, upbringing, SPSS.

Environmental issues such as climate change and resource depletion require immediate behavioral change [1, 2]. University students are crucial agents of change, yet environmental education often fails to translate knowledge into action. Environmental education is only confined up to books [3, 4]. We need to inculcate this habit of environmental protection from childhood so that fertile brains adapt and grow up with it. Eco-identity' is the part of an individual's self-concept that is defined by their relationship with the natural environment and their role in its protection. It develops through repeated pro-environmental behaviors, social interactions with like-minded peers, and reflective experiences in nature.

Eco-identity is the self-concept linked to environmental protection, developed through consistent behavior, social norms, and nature experiences. Eco-identity is the part of an individual's self-concept that is defined by their relationship with the natural environment and their role in its protection. It develops through repeated pro-environmental behaviors, social interactions with like-minded peers, and reflective experiences in nature. This study proposes that eco-identity, rather than knowledge alone, drives sustainable behavior.

The objectives were:

- 1) To measure eco-identity among students: When a student think that I am a part of Environment and I need to protect it and it is my responsibility.
- 2) To examine its impact on sustainable behavior: It tells us that what are the ways students are taking to protect it such as recycling the waste, Saving Ener-gies, Waste uses for something productive.

3) To analyze the influence of upbringing and AI awareness: family environment, moral values, childhood experience of concern about nature how they grow and now in modern era AI is also influencing it like weather forecast, remote sensing, climate change etc.

4) To develop a statistical model: SPSS software and mathematical data analysis helps to correlate between variable such as upbringing, AI awareness, environmental education etc.

Hypotheses:

- H1: Eco-identity positively influences sustainable behavior
- H2: Upbringing significantly affects eco-identity
- H3: AI awareness significantly affects eco-identity
- H4: Environmental education contributes to eco-identity

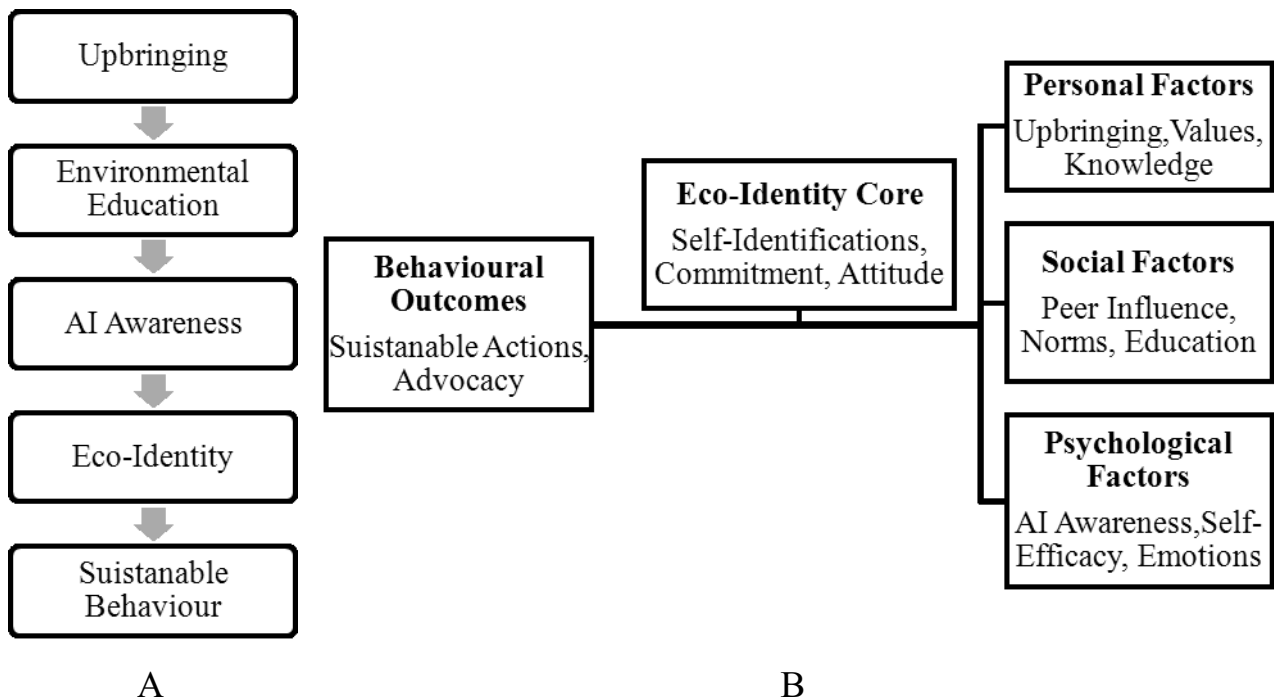


Fig. 1. The design of the study.

A – conceptual diagram; B – eco-identity model (EIM-Y)

We conducted a quantitative survey of 60 students aged 18–25. We used a 20-item questionnaire and 5-point Likert scale, Multiple Choice.

SPSS analysis & results are presented in Tables 1 and 2 and in Fig. 2.

Table 1

Descriptive Statistics

Variable	Mean	Standard Deviation
Eco-Identity (EI)	3.80	0.65
Sustainable Behavior (SB)	3.60	0.70
Upbringing (UP)	3.75	0.60
AI Awareness (AI)	3.50	0.75
Environmental Education (EE)	3.90	0.55

The mean scores of all variables are above 3, indicating a moderate to high level among university students. Environmental Education (Mean = 3.90) has the highest score, showing strong awareness in this area. AI Awareness (Mean = 3.50) is comparatively lower, suggesting scope for improvement. The standard deviation values range between 0.55 to 0.75, indicating low variability and consistent responses among students.

Table 2

Correlation Matrix

Variables	EI	SB	UP	AI	EE
Eco-Identity (EI)	1.00	0.72	0.65	0.58	0.70
Sustainable Behavior (SB)	0.72	1.00	0.60	0.55	0.68
Upbringing (UP)	0.65	0.60	1.00	0.50	0.62
AI Awareness (AI)	0.58	0.55	0.50	1.00	0.57
Environmental Education (EE)	0.70	0.68	0.62	0.57	1.00

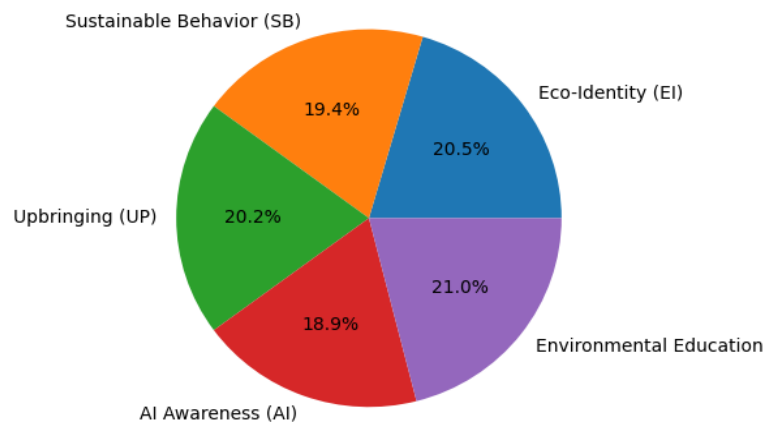


Fig. 2. Distribution of Mean scores

Eco-identity helps to predicts sustainable behavior and upbringing plays an important role in eco-identity and also signifies it. AI awareness helps to understand better about environment as it helps us in analyzing actual scenario of our country. This model explains 48% variance.

The findings suggest that environmental behavior among students is influenced more by identity than knowledge. Students who identify as environmentally responsible demonstrate higher sustainable behavior. Upbringing remains a strong foundational influence, while AI tools act as modern facilitators of awareness. Both Upbringing and AI will help to prevent our environment more actively where young students play an important role as they are future creators [5].

Eco-identity is a significant predictor of sustainable behavior among university students. Educational systems must shift toward identity-based and technology-supported environmental learning. Universities must integrate sustainability programs and as this is AI Era so it is better to organize some AI tools Workshops for students also and most important part is child rearing and upbringing from childhood till youth to save energy and to protect Environment.

References

1. Ajzen I. The theory of planned behavior. DOI: 10.1016/0749-5978(91)90020-T // Organizational Behavior and Human Decision Processes. 1991. Vol. 50. No. 2. P. 179–211
2. Mittal S., Kaur H. Sustainable development [Internet resource]. – URL: <https://ebooks.inflibnet.ac.in/esp12/chapter/sustainable-development/> (Assessed: 20.03.2026)
3. Education for sustainable development: Learning to act for people and planet [Internet resource]. – URL: <https://www.unesco.org/en/sustainable-development/education> (Assessed: 20.03.2026)
4. UNESCO declares environmental education must be a core curriculum component by 2025 [Internet resource]. – URL: <https://www.unesco.org/en/articles/unesco-declares-environmental-education-must-be-core-curriculum-component-2025> (Assessed: 22.03.2026)
5. Artificial intelligence and education and skills [Internet resource]. – URL: <https://www.oecd.org/en/topics/artificial-intelligence-and-education-and-skills.html> (Assessed: 22.03.2026)

AI-ENHANCED ENVIRONMENTAL EDUCATION AND AWARENESS: A COMPARATIVE MATHEMATICAL STUDY

M. Soni

*Dr. C. V. Raman University, Khandwa, India
meghasoni@cvrump.ac.in*

This study presents a mathematical and statistical comparison between AI-based instructional methods and traditional teaching approaches in the context of environmental education and awareness. Primary data were collected from 120 students, of which 60 were taught using AI-based learning modules (interactive AI simulations and AI chat-based learning), while the remaining 60 received instruction through traditional classroom methods. The analysis includes mean comparison, percentage analysis, and independent t-test. The results reveal that students taught through AI-based methods demonstrated significantly higher environmental awareness scores compared to those taught through traditional methods. The findings highlight the potential of AI-enhanced learning in strengthening environmental understanding and engagement among learners.

Keywords: AI-based learning, traditional teaching methods, environmental awareness.

Environmental education has become an essential aspect of modern academic curricula due to increasing ecological challenges, climate change, and the need for sustainable development. Traditional teaching methods, although effective in knowledge transmission, are often limited by their teacher-centered structure and lack of interactive engagement. With advancements in technology, Artificial Intelligence (AI) has emerged as a transformative tool in education. AI-based learning provides interactive, personalized, and simulation-based experiences that help students visualize real-world environmental issues. Tools such as AI chat bots, data-

driven feedback systems, and virtual environmental simulations enable learners to explore complex ecological concepts more effectively.

This study provides a comparative mathematical evaluation of AI-based and traditional teaching methods in enhancing environmental awareness among students.

Previous studies emphasize the role of AI in increasing learning efficiency, motivation, and engagement [1–4]. Key findings include:

- AI supports personalized learning pathways, enhancing students’ understanding and retention [5];
- AI-driven environmental simulations improve learners’ critical thinking and real-world problem-solving abilities [6];
- traditional methods often remain static and classroom-bound, whereas AI tools foster student-centred learning experiences [7].

However, despite several conceptual discussions, direct mathematical comparisons between AI-assisted learning and traditional instructional methods in environmental education remain limited. This research attempts to fill that gap.

Objectives of the Study:

1. To measure the impact of AI-based environmental education on students’ awareness levels.
2. To analyze the effectiveness of traditional teaching methods in environmental awareness.
3. To mathematically compare the performance of the AI-based learning group with the traditional group.

Hypotheses

- H_0 (Null Hypothesis): There is no significant difference in environmental awareness between students taught through AI-based methods and those taught through traditional methods.
- H_1 (Alternative Hypothesis): AI-based teaching methods significantly improve environmental awareness compared to traditional teaching methods.

Research Design. This study follows a comparative, quantitative research design based on primary data collected through structured questionnaires.

Sample Size. A total of 120 Student participated in the study: 60 students in AI-based learning group, and 60 students in traditional learning group (Table 1).

Table 1

Demographic profile of respondents

Variable	Category	AI group	Traditional group	Total
Gender	Male	32	30	62
	Female	28	30	58
Age	14–15 years	18	20	38
	16–17 years	29	27	56
	18+ years	13	13	26

Structured questionnaire and mathematical and statistical tools (mean, independent t-test) were used as the tools and techniques.

Students were given a pre-test and post-test questionnaire to assess changes in environmental awareness.

The AI-based group engaged in a 10-day AI learning module consisting of interactive simulations and AI-guided discussions. The traditional group received standard classroom lectures during the same period (Fig).

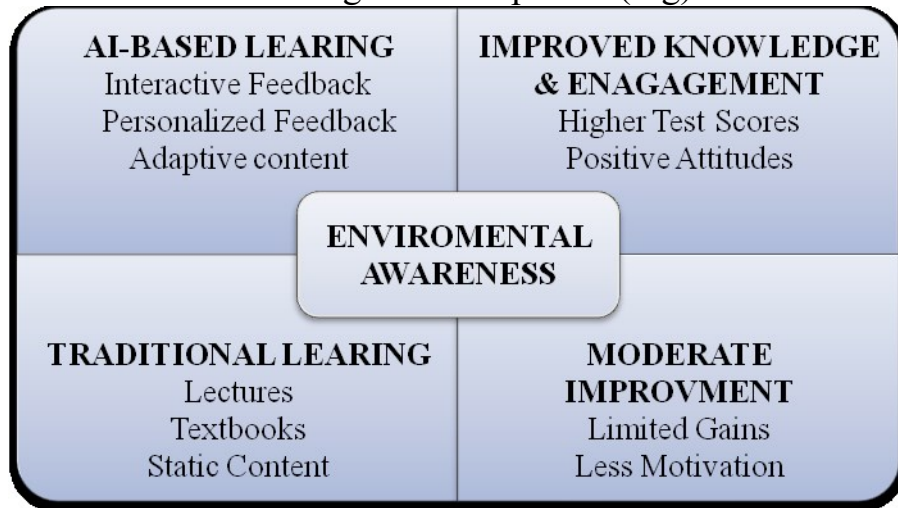


Fig. The design of the experiment

The results are in Tables 2–6.

Table 2

Primary Data

Group	Sample (n)	Mean Score	Standard Deviation (SD)
AI-Based Group	60	42.6	6.2
Traditional Group	60	34.8	5.9

Table 3

Pre-test environmental awareness scores (before learning)

Score Range	Awareness level	AI group	Traditional group	Total
0–20	Low	24	22	46
21–35	Medium	29	31	60
36–50	High	7	7	14

Table 4

Post-test environmental awareness scores (after learning)

Score Range	Awareness level	AI group	Traditional group	Total
0–20	Low	2	10	12
21–35	Medium	18	32	50
36–50	High	40	18	58

Table 5

Mean score comparison

Group	Sample Size	Mean	SD	Minimum	Maximum
AI-Based Group	60	42.6	6.2	28	50
Traditional Group	60	34.8	5.9	22	48

Table 6

t-test Summary

Group Comparison	Mean difference	Calculated t-value	Critical t-value (0.05)	Result
AI vs Traditional	7.8	7.21	1.98	Significant

The AI-based group shows a substantially higher mean score. The result is statistically significant, leading to the rejection of the null hypothesis (H_0).

The study concludes that AI-based environmental education is significantly more effective than traditional teaching methods. Interactive AI tools, real-time feedback, and virtual simulations create an immersive learning environment that enhances students' environmental awareness and engagement.

The statistical findings strongly suggest that integrating AI technologies into environmental studies can substantially improve learning outcomes and cognitive development. Educational institutions should consider incorporating AI-driven modules to strengthen the quality and impact of environmental education.

References

1. Chen L., Chen P., Lin Z. Artificial intelligence in education: A review. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2988510 // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 75264–75278.
2. Gokhale A. A. Collaborative learning enhances critical thinking // J. Technol. Educ. 1995. Vol. 7. No. 1. P. 22–30.
3. Holmes W., Bialik M., Fadel C. Artificial intelligence in education: promises and implications for teaching and learning. Boston : Center for Curriculum Redesign, 2019. 39 p.
4. Charisti P., Goyal R. K. The impact of AI-assisted learning tools on the academic performance of students with autism spectrum disorder (ASD) // Int. J. Multidiscip. Res. 2025. Vol. 7. No. 3. Article No. 250345048.
5. Dai C. Pu., Ke F. Educational applications of artificial intelligence in simulation-based learning: A systematic mapping review. DOI: 10.1016/j.caeai.2022.100087 // Comput. Educ. Artif. Intell. 2022. Vol. 3. Article No. 100087.
6. AI and Education: Guidance for policy-makers / F. Miao, H. Wayne, R. Huang, H. Zhang. UNESCO Publishing, 2022. 51 p.
7. Sumarmi A. M., Mutia T. The effect of digital eco-learning in student worksheet flip-book to environmental project literacy and pedagogic competency. DOI: 10.3926/jotse.1175 // J. Technol. Sci. Educ. 2021. Vol. 11. No. 2. P. 357–370.

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МИРОВОЗЗРЕНИЯ У СТУДЕНТОВ БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Т. Н. Агеева, В. М. Пускова
Белорусско-Российский университет,
г. Могилев, Республика Беларусь,
ageeva.tam@yandex.by; ver_4@mail.ru.

В статье показана необходимость формирования экологического и радиоэкологического мировоззрения у студентов и рассматривается организация образовательного процесса в вузе при проведении теоретических и практических занятий по дисциплинам, включающим вопросы экологической и радиационной безопасности.

Ключевые слова: экологическое воспитание, студенты, учебный процесс, окружающая среда, ^{137}Cs , радиоэкологическая безопасность.

В современных условиях жизни, с постоянно возрастающими антропогенными нагрузками, экологические проблемы становятся все более значимыми, а их решение во многом зависит от сознательного поведения каждого человека. Одним из условий сохранения природной среды является повышение экологической культуры молодежи. Формирование человека с новым экологическим мышлением, способного осознавать последствия своих действий по отношению к окружающей среде является важным направлением образовательного процесса в высшем учебном заведении [1, 2].

В Республике Беларусь необходимость экологического воспитания и образования закреплена на законодательном уровне (законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды»), при этом устанавливается всеобщность и комплексность экологического образования на всех этапах образовательной системы [3].

Соприкасаясь с природой, человек постепенно учится понимать принципы взаимосвязи между разными формами жизни, знакомится с проблемами загрязнения окружающей среды, анализирует их причины и последствия. Однако, решение экологических проблем невозможно без формирования ответственного отношения личности и общества к природе, материальным, социальным и духовным ценностям. Человек должен перестать быть просто потребителем, он должен научиться ценить природные богатства, щадить, поддерживать и преумножать их.

Формирование экологического и радиоэкологического мировоззрения у студентов – это не только получение определенных знаний об окружающей их среде обитания и имеющихся экологических проблемах, но и понимание важности природоохранных мероприятий, ответственности за сохранение окружающей среды, умение оценить возможные негативные последствия

своей профессиональной деятельности и находить альтернативные, более экологически безопасные решения. При этом будущий специалист должен научиться уважать природу и окружающий мир, рационально относиться к использованию природных ресурсов и стремиться к устойчивому развитию. Он должен осознавать, что дальнейшее развитие человека и общества может происходить только совместно с дальнейшим развитием природы и сохранением ее многообразия.

В современном мире, где проблемы окружающей среды становятся все более актуальными, именно вузы играют важную роль в экологическом образовании студентов и формировании у них экологического мировоззрения [1]. В вузах не только предлагают информацию и расширяют знания во всех сферах человеческой деятельности, но и предоставляют большие возможности для развития всесторонних талантов будущих специалистов и повышения их интеллектуального и культурного уровней.

Вопросы экологического и радиоэкологического образования в Белорусско-Российском университете рассматриваются при изучении таких дисциплин, как «Экология» и «Безопасность жизнедеятельности» при обучении студентов в соответствии с образовательными программами Российской Федерации, «Основы эколого-энергетической устойчивости производства» и «Безопасность жизнедеятельности человека» при обучении студентов в соответствии с образовательными программами Республики Беларусь. Университет готовит специалистов для предприятий Республики Беларусь и сопредельных областей Российской Федерации по различным направлениям (строительство, машиностроение, автомобилестроение, энергетика, экономика и др.). Экологическое образование является неотъемлемой частью профессиональной подготовки студентов и их будущего карьерного роста. От компетентности и профессионализма будущих создателей новых технологий и руководителей производств во многом будет зависеть не только личная безопасность, но и безопасность подчиненных, населения и окружающей природной среды.

В рамках учебного процесса студенты получают теоретические знания об основных экологических проблемах, связанных с загрязнением воздуха, воды, почв, потерей биоразнообразия и др. Рассматриваются причины и последствия этих проблем, методы и технологии их решения. На практических занятиях студенты знакомятся с методами контроля и мониторинга различных объектов окружающей среды, имеют возможность проводить экологические исследования (определять показатели качества воды, продуктов питания и др.), моделировать загрязнение экологических систем и находить методы решения возникших проблем, разрабатывать экологические проекты, которые могут быть внедрены в реальности. При этом студенты учатся видеть междисциплинарную связь между экологией и другими областями знания, такими как энергетика, экономика, политика и социология. Рассматриваются вопросы экологической безопасности при разработке различных технологических процессов и решений. Такая практика помогает студентам углубить свои зна-

ния, учит понимать экологические проблемы современности и позволяет осознавать необходимость защиты окружающей среды через анализ своих профессиональных задач и последствий будущей деятельности. В дальнейшем это позволит использовать полученные навыки для решения актуальных экологических проблем.

В связи с тем, что после аварии на Чернобыльской АЭС значительная часть территории Республики Беларусь (особенно Гомельской, Могилевской и Брестской областей), а также прилегающая к ней территория Брянской области Российской Федерации находятся в зоне радиоактивного загрязнения (обусловленного в большей степени выпадением ^{137}Cs и частично ^{90}Sr), в учебном процессе отводится место и вопросам радиоэкологического образования и воспитания. Согласно Перечню населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения (2021 г.), к зонам радиоактивного загрязнения на территории Республики Беларусь еще относятся 2022 населенных пункта и 49 объектов [4]. Проживая и работая на таких территориях, человек подвергается хроническому техногенному облучению [5, 6]. В связи с этим, студенты должны иметь представления о масштабах загрязнения, причинах и последствиях аварии и владеть навыками радиационной безопасности.

Под радиационной безопасностью понимают состояние защищенности настоящего и будущего поколения людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения [5]. Полученные знания в области радиационной безопасности позволяют не только расширить кругозор студента, но и способствуют выработке навыков культуры проживания на загрязненных радионуклидами территориях.

В теоретической части учебного процесса рассматриваются основные источники ионизирующих излучений, их физическая природа, биологическое действие, возможные последствия обучения, основные принципы и нормы радиационной безопасности, а также вопросы организации и проведения защитных мероприятий. Теоретические знания студенты получают на лекциях и семинарах (с просмотром документальных фильмов), при подготовке докладов, рефератов и участии в научно-исследовательской работе.

Практические навыки вырабатываются при проведении лабораторных или практических занятий. Для этого в университете организована лаборатория радиационного контроля, которая оснащена современным оборудованием. Студенты знакомятся с профессиональными дозиметрическими приборами (дозиметр-радиометр МКС-АТ6130 и др.) и отрабатывают навыки измерения мощности эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения. Стационарный гамма-спектрометрический комплекс «Прогресс-5» позволяет определять удельную и объемную активности радионуклидов в исследуемых образцах (пищевых продуктах (молоке, овощах, зерне, лесных грибах и ягодах и др.), пробах воды, воздуха, почвы, строительных материалах и других объектах окружающей среды). Полученные при этом данные о содержании ^{137}Cs в исследуемых пробах позволяют судить о радиоэкологической ситуации на тер-

ритории Могилевской области и формируют соответствующее мышление у студентов, направленное на повышение ответственности за собственное здоровье. Наряду с получением радиоэкологических знаний и навыков работы с оборудованием, студенты имеют возможность проводить научные изыскания. Методическую помощь в проведении научных исследований им оказывают преподаватели кафедры, многие из которых имеют большой практический опыт работы в области радиоэкологии и радиационной безопасности.

Одним из важных аспектов формирования экологического и радиоэкологического мировоззрения является вовлечение студентов университета в проведение мероприятий, приуроченных ко дню Чернобыльской трагедии, республиканским акциям «Неделя леса» и «Беларусь синеокая», общегородским субботникам по уборке, благоустройству и озеленению г. Могилева, благоустройству памятников природы республиканского значения и популярных туристических объектов. Мероприятия проводятся в сотрудничестве с разными учебными заведениями города, государственными и негосударственными организациями, общественностью. Их цель – не только навести порядок, но и напомнить обществу о важности бережного отношения к природе. Во время таких мероприятий у студентов расширяется область экологических знаний, приобретает новый экологический опыт и развивается экологическое сознание. При этом необходимо создать систему, позволяющую поддерживать и поощрять инициативы студентов в сфере экологических исследований.

Таким образом, в современных условиях важным направлением образовательного процесса в высшем учебном заведении является не только подготовка будущего высококвалифицированного специалиста, но и небезразличного человека, обладающего экологической культурой и осознающего свою роль в окружающем мире. Экологическое и радиоэкологическое мировоззрение формируется как благодаря лекциям и практическим занятиям в аудиториях, так и в процессе вовлеченности студентов в самые разнообразные формы познания и повышения заинтересованности в освоении любой дисциплины. Полученные в процессе образования экологические знания и навыки позволят студентам осознанно применять их в своей дальнейшей профессиональной деятельности, что сделает их гораздо более ценными специалистами для современного рынка труда.

Библиографический список

1. Допшак В. Н. Экологическое образование в техническом вузе // Вестник Кузбасск. госуд. ун-та. 2009. № 2 (72). С. 226–228.
2. Шушпанова Д. В. Формирование экологического мышления у студентов вузов во время внеаудиторных занятий // Молодой ученый. 2017. № 8 (142). С. 382–386.
3. Об охране окружающей среды: Закон Респ. Беларусь, 26 ноября 1992 г., № 1982-XII // Эталон-Беларусь / НЦПИ. Минск, 2019.
4. Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зоне радиоактивного загрязнения (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 08.02.2021 г. № 75). Минск, 2021. 54 с.

5. Кенигсберг Я. Э., Крюк Ю. Е. Ионизирующая радиация и риск для здоровья. Гомель : РНИУП «Институт радиологии», 2005. 70 с.

6. Казаченок Н. Н., Агеева Т. Н. Радиоэкологические проблемы в зонах радиоактивного загрязнения : монография. Могилев : БРУ, 2020. 309 с.

ШКОЛА ВДОХНОВЕНИЯ, В КОТОРОЙ РОЖДАЮТСЯ ЯРКИЕ ЗВЕЗДЫ

Т. Я. Ашихмина

Вятский государственный университет,

г. Киров, Россия, usr08619@vyatsu.ru,

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

Материал статьи включает содержание областного конкурса «Учитель года», который с 1991 года проводится в Кировской области. Конкурс проходит в два тура: заочный и очный. Очный тур проходил со 2 по 9 апреля 2026 г. на базе Кировского областного Института развития образования по 13 номинациям, в которых приняло участие 107 конкурсантов. 39 конкурсантов стали победителями. Наиболее полно представлена работа конкурсантов в номинации педагог-наставник, членом жюри которого была автор статьи. В данной номинации участвовало 10 конкурсантов, среди них учителя предметники, воспитатели детского сада, заместители директоров учебных заведений.

Ключевые слова: конкурс «Учитель года», программа, заочный и очный тур, номинации, педагогический опыт, мастер-классы, педагог-наставник.

В любом регионе и в нашей стране месяц апрель богат уникальными и значимыми событиями. Прежде всего, 12 апреля в России отмечается День космонавтики, а в мире – Международный день полета человека в космос. В этот день в 1961 г. Юрий Гагарин на корабле «Восток-1» совершил первый в истории 108-минутный орбитальный полет, открыв эру освоения космоса. С 2026 г. в первую декаду апреля в стране проводится «Неделя космонавтики». 7 апреля отмечается Всемирный день здоровья, который отмечается ежегодно, начиная с 1950 года. 23 апреля отмечается «Всемирный день книги и авторского права», который провозглашен ЮНЕСКО в 1995 г. для пропаганды чтения, книжного дела и защиты авторских прав.

Для Кировской области апрель знаменателен еще рядом очень важных событий и мероприятий. В этот месяц в 21-й раз на базе Вятского государственного университета проводится научно-практическая конференция «Экология родного края: проблемы и пути их решения», которая с 2024 г. стала проводиться на международном уровне. На базе Кировской научной областной библиотеки им. А. И. Герцена в 28 раз организуется Областная выставка-конкурс «Вятская книга года», ежегодно представленная литературными,

творческими, художественными работами кировских писателей, художников, авторских коллективов и издателей.

Ярким, волнующим, незабываемым событием всего педагогического сообщества в регионе является конкурс «Учитель года в Кировской области». Конкурс «Учитель года» – это не просто соревнование на выявление того, кто лучший, это профессиональная школа – площадка вдохновения, рождения новых талантов и ярких звезд. В апреле 2026 г. данный конкурс проводился в 36 раз. История конкурса началась с 1991 г. по инициативе Г. М. Шульминой, директора Кировского областного института усовершенствования учителей. За три с половиной десятилетия в конкурсе приняло участие 1025 педагогов, из которых на региональном этапе победителями стали 137 участников, из них 33 стали победителями и лауреатами всероссийского уровня.

В XXXVI конкурсе «Учитель года Кировской области» приняло участие 107 педагогов из 29 муниципалитетов региона. Конкурс проводился по 13 номинациям: «Молодой учитель», «Молодой воспитатель», «Воспитатель», «Мастер производственного обучения», «Преподаватель профессионального цикла», «Педагог-психолог», «Учитель-логопед», «Учитель-дефектолог», «Сердце отдаю детям», «Педагог-наставник», «Учитель года», «Молодой классный руководитель», «Первый учитель». Номинация «Первый учитель» – новая, впервые представленная в этом году для учителей начальных классов, где закладываются основы личности, отношение к учебе, дружбе, к родной школе и своей Малой Родине. Творческий талант конкурсантов оценивало профессиональное жюри из 76 представителей – педагогов высшей школы, ученых, учителей, опытных методистов и воспитателей. Организатором данного конкурса являлся Институт развития образования Кировской области, возглавляемый ректором, кандидатом педагогических наук Н. В. Соколовой.

Программа каждой номинации существенно отличалась по содержанию, проводимым мероприятиям, по количеству участников и даже по инфраструктуре, где проводились данные номинации. Все работало на конкурсантов. Для проведения открытых уроков, мастер-классов, интеллектуальных игр, творческих мастерских были задействованы школы, детские сады, дошкольные учреждения, учреждения дополнительного образования, музеи, театры, методические кабинеты Института развития образования. Участниками мероприятий были учащиеся разных классов, различные группы детей дошкольного возраста, опытные и начинающие журналисты, фотографы.

От всех программ существенно отличалась программа в номинации «Педагог-наставник» (руководитель Г. А. Кобелева зав. кафедрой управления в образовании КОГОАУ ДПО «ИРО Кировской области»). Кто такой педагог-наставник? Чем он отличается от учителя? Именно этой теме была посвящена программа конкурсантов данной номинации.

Программа включала два тура:

– заочный тур – конкурсные испытания: «Презентация системы работы педагога-наставника», «Видеозапись мотивационного выступления «Школа ждет вас», эссе «Чем учитель отличается от наставника?»;

– очный тур – конкурсные испытания: «Наша визитка», «Публичное выступление», «Мастер-класс», «Педагогический ринг», «Лайфхак от наставника».

В конкурсе участвовали 10 конкурсантов: Е. Н. Береснева – учитель начальных классов; С. Г. Варина – заместитель директора по учебно-воспитательной работе, учитель русского языка и литературы; И. В. Демакова – учитель математики; А. В. Козлова – педагог-психолог; О. А. Кязимова – воспитатель детского сада; Н. И. Лебедева – инструктор по физической культуре детского сада; Е. Л. Попова – заместитель директора по воспитательной работе, социальный педагог; Ю. С. Сивкова – учитель химии, советник директора по воспитанию и взаимодействию с детскими общественными объединениями; Т. В. Слаутина – учитель физики; О. А. Тимофеева – учитель начальных классов, учитель-логопед.

Каждый конкурсант стремился раскрыть и показать целостную, эффективно действующую систему наставнической деятельности, продемонстрировать ее структуру, методы, формы работы и практические результаты, подтверждающие успешность профессионального развития наставляемых; позиционировать привлекательный образ современной школы и мотивации студентов педагогических специальностей к профессиональной деятельности через личную авторскую позицию и артистизм.

Каждый из них продемонстрировал в форме мастер-класса, эссе, публичного выступления, педагогического ринга и представления визитки о себе, что наставник – это больше, чем просто учитель. Это тот, кто идет рядом, кто не только передает знания, но и помогает раскрыть внутренний потенциал, найти свой путь и смысл. Это спутник, который поддерживает, вдохновляет и направляет, учитывая уникальность каждого начинающего педагогическую работу молодого педагога, учителя, воспитателя, студента-практиканта.

Крайне сложно и непросто было профессиональному жюри оценивать талант и артистизм такого спектра опытейших педагогов-наставников по целому комплексу весьма сложных критериев. В каждом представлении конкурсанту необходимо было отразить следующее: методическое обоснование выбора образовательной технологии, методов и приемов обучения; логичность в построении занятия; методическую компетентность; соответствие применяемых форм работы поставленным целям и задачам, использование способов, методов и приемов, обеспечивающих эффективность занятия; соответствие применяемых форм работы целеполаганию и их эффективность; содержательную глубину методического мастер-класса с опорой на современные теории и концепции, актуальные представления о теме. Членам жюри конкурса также необходимо было оценить использование конкурсантами различных способов мотивации и рефлексии обучающихся во время занятия; единство темы и содержания; соответствие жанру мотивационного выступле-

ния; глубину раскрытия темы, наличие авторской позиции и профессиональных тезисов для широкой аудитории; коммуникативную и речевую культуру конкурсанта. В состав критериев оценки конкурсанта было включено и представление собственной точки зрения (позиции, отношения) при раскрытии темы; мировоззренческая, культурологическая, психолого-педагогическая позиция; неординарность и глубина педагогического мышления; нелинейность повествования, оригинальность замысла и композиции; аргументация своей позиции с опорой на факты общественной жизни или собственный опыт.

По итогам конкурса жюри пришло к единому мнению, что все конкурсанты педагоги-наставники 2026 г. – это яркие талантливые звезды педагогического опыта. Они не просто учат молодую смену педагогов, они воспитывают, помогают становиться педагогической личностью на основе своего опыта и для каждого из них учитель – это свет, источник информации, а наставник – это тепло, которое согревает и ведет вперед, являясь источником вдохновения.

Поистине конкурс «Учитель года» – это настоящая школа передового педагогического опыта, где каждый конкурсант представляет свой уникальный, профессиональный опыт и обогащает себя опытом других, тем самым развивая и сохраняя преемственность лучших традиций педагогического мастерства.

В открытии и закрытии конкурса «Учитель года» с приветствием к участникам и конкурсантам выступили: А. В. Соколов – Губернатор Кировской области, С. В. Шумайлова – зам. председателя Правительства Кировской области, Н. А. Бастрикова – министр образования Кировской области, Р. А. Береснев – Председатель Законодательного собрания Кировской области, И. Г. Морозова – зам. председателя Законодательного собрания, О. Ю. Березин – депутат Законодательного собрания.

Все участники конкурса были отмечены дипломами, призами и ценными подарками от социальных партнеров конкурса – предприятий и учреждений региона.

ОПЫТ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ МОЛОДЕЖИ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С. М. Воронин

*АО «Куприт», региональный оператор по обращению с ТКО
в Кировской области,
г. Киров, Россия, vsm@cuprit.ru*

В статье рассматривается частный опыта АО «Куприт» как регионального оператора по обращению с отходами в формировании экологической культуры молодежи Кировской области. Рассматриваются теоретические основания экологического воспитания, включая когнитивный, ценностно-мотивационный и деятельностный компоненты, обеспечивающие целостное

развитие экологической культуры личности. Особое внимание уделяется роли образовательной и просветительской инфраструктуры (Экоцентра) как платформы для вовлечения молодежи в практики устойчивого образа жизни и добровольческую природоохранную деятельность. На основе данных социологического опроса выявлены уровни экологической осведомленности, поведенческие барьеры и потенциал вовлечения. Сделан вывод о значении интеграции знаний, личного опыта и институциональной поддержки в формировании устойчивых экологических установок у молодого поколения.

Ключевые слова: экологическая культура, молодежь, экологическое воспитание, региональный оператор, отдельный сбор отходов, устойчивое развитие.

В современных условиях нарастающих экологических вызовов формирование экологической культуры подрастающего поколения приобретает особую социальную значимость [1, 2]. Культура как научное понятие понимается как совокупность материальных и духовных ценностей, норм и способов взаимодействия человека с окружающим миром. Антрополог Э. Б. Тайлор в своей работе «Первобытная культура» дал широкое определение культуры как «сложного целого, включающего знания, верования, искусство, нравственность, законы, обычаи и иные способности, и привычки, усвоенные человеком как членом общества» [1]. В отечественной гуманитарной традиции культура нередко трактуется как «вторая природа» – результаты деятельности человека, преобразующей первичную природу «окультурив» ее [3]. Так, философы С. Л. Рубинштейн и М. С. Каган подчеркивали неразрывную связь культуры с природой: человек, созданный природой, сам создает особый рукотворный мир культуры, используя ресурсы природы, и продукты этой деятельности составляют ту самую «вторую природу» [3].

Экологическая культура представляет собой часть общей культуры, отражающую специфические нормы и ценности взаимодействия общества и природы. Так, В. А. Ясвин и С. Д. Дерябо в рамках экологической психологии выделяют структуру экологической культуры личности, включающую три ключевых компонента: когнитивный (экологические знания и представления), ценностно-мотивационный (отношения к природе, экологические ценности) и деятельностный (конкретные экологически значимые практики и образ жизни) [4, 5]. Каждый из этих компонентов необходим для полноценного экологического воспитания: знание об окружающей среде должно подкрепляться эмоционально-положительным отношением и переходить в практические действия.

На сегодняшний день особое внимание в формировании экологической культуры уделяется в контексте молодежной политики России. В соответствии с ФЗ №489-ФЗ от 30.12.2020 «О молодежной политике в Российской Федерации», к молодежи относятся граждане в возрасте 14–35 лет. Именно в этом возрасте человек наиболее восприимчив к усвоению новых ценностей. Эколо-

гическое просвещение и воспитание молодежи выделены в качестве приоритета на государственном уровне: национальный проект «Экология» и с 2025 г. «Экологическое благополучие», федеральные программы Минпросвещения и Росмолодежи предусматривают системное экологическое образование и добровольчество. Не так давно появились новые институты, призванные привить экологическую культуру подрастающим гражданам, – например, Российское движение детей и молодежи «Движение первых» [6] и институт советников по воспитанию «Навигаторы детства» в школах [7]. Эти инициативы обеспечивают массовое и безотрывное вовлечение детей и молодежи в природоохранную деятельность и создают воспитательную инфраструктуру на местах.

Одновременно в сфере обращения с отходами формируется уникальная просветительская практика: региональные операторы по обращению с ТКО начинают участвовать в экологическом просвещении населения.

Таким образом, актуальная проблема заключается в том, чтобы преодолеть разрыв между декларируемой экологической осведомленностью молодежи и ее реальным экологичным поведением, что обусловлено прежде всего недостатком устойчивых сценариев экологически правильного поведения в повседневной жизни и отсутствием социальной поддержки таких инициатив в окружении молодых людей [8].

В данном контексте особую роль играют институциональные акторы – как государственные структуры образования и молодежной политики, так и отраслевые организации. Настоящая статья рассматривает опыт Кировской области, где региональный оператор по обращению с отходами в сотрудничестве с образовательными и общественными организациями стал одним из центров формирования экологической культуры молодежи. Ниже изложены теоретико-методологические основы и эмпирические данные, иллюстрирующие, как сочетание просвещения, инфраструктуры и волонтерства способствует развитию экологической культуры молодежи на примере деятельности АО «Куприт».

В Кировской области ключевым инфраструктурным актором (действующим субъектом изменений) экологического просвещения выступает АО «Куприт» – региональный оператор обращения с отходами. С 2024 г. на базе предприятия создан Экоцентр, представляющий собой комплексную площадку экологического просвещения. Экоцентр объединяет под одной идеей несколько объектов: Экодом, Экопункт, мобильную акцию «Экомобиль», проект «Экососеди», а также мастерскую переработки «Я разделяю». Все эти элементы призваны предоставить населению, и особенно молодежи, доступные «точки входа» – возможности лично участвовать в экологически значимых практиках (сдача вторсырья, эколого-просветительские мероприятия, творческая переработка отходов и пр.). Наличие таких возможностей считается важнейшим условием формирования экологической культуры, поскольку без практики знание об экологии остается абстрактным понятием [5]. Деятельность Экоцентра за полтора года охватила широкую аудиторию: объекты

центра посетили более 42000 человек, проведено 284 тематических мероприятия, общее число участников превысило 5900 человек. За это время собрано порядка 100 т вторичного сырья на переработку. Мастерская «Я разделяю» вовлекла молодежь в творческую переработку пластика и изготовление экосувениров (например, за два года изготовлено свыше 10 тыс. значков из переработанного пластика).

Программы Экоцентра выстроены по принципу сочетания всех трех компонентов экологической культуры. Когнитивный компонент обеспечивается через экскурсии, лекции, экоуроки, которые дают необходимые знания об экологии и практиках устойчивого образа жизни. Ценностный компонент формируется через участие в социальных инициативах (акция «Экомобиль», экологические мероприятия, конкурсы и т. д.). Наконец, деятельностный компонент реализуется непосредственно через вовлечение молодых людей в экологическую деятельность – сбор и сортировку отходов, волонтерские акции по очистке территорий, проекты по переработке и работу в мастерской переработки. Тем самым АО «Куприт», хотя и является коммерческой организацией отрасли обращения с отходами, фактически выполняет социальную функцию, выступая инфраструктурным посредником между государственной экологической повесткой, образовательными учреждениями и населением [4, 9].

Вместе с тем Экоцентр служит пространством консолидации экологически ориентированного сообщества. Через участие в волонтерских инициативах, совместных проектах, акциях и мастер-классах формируется устойчивая социальная среда, объединяющая школьников, студентов, педагогов, представителей НКО и отраслевых организаций. Возникают горизонтальные связи между участниками, укрепляется идентичность экологически активного гражданина, а сама площадка становится точкой притяжения для новых участников, способствуя институционализации зеленых практик на уровне региона.

В результате вокруг Экоцентра и экологических инициатив регионального оператора сформировалось сообщество молодежи, для которой экологичная повседневная практика стала нормой.

Уильям Томсон сказал: «Если вы не можете что-то измерить, вы не можете это улучшить». Для получения объективной картины информированности населения и оценки уровня экологической культуры в сентябре 2025 г. был проведен опрос, охвативший 2540 респондентов всех возрастов по региону (онлайн-опрос о введении отдельного сбора отходов). Молодежь в возрасте 14–35 лет составила 37% выборки. Исследование включало серию вопросов, основанных на методиках отечественного социолога Е. В. Ядова. В частности, применялась шкала согласия с ценностными суждениями экологического содержания для диагностики экологических установок, а также вопросы на знание конкретных экологических практик и норм, самоотчет о собственном поведении (сортировка отходов, участие в мероприятиях и т. п.).

Полученные результаты отражают неоднородность частей экологической культуры молодежи и приведены ниже (рис.).

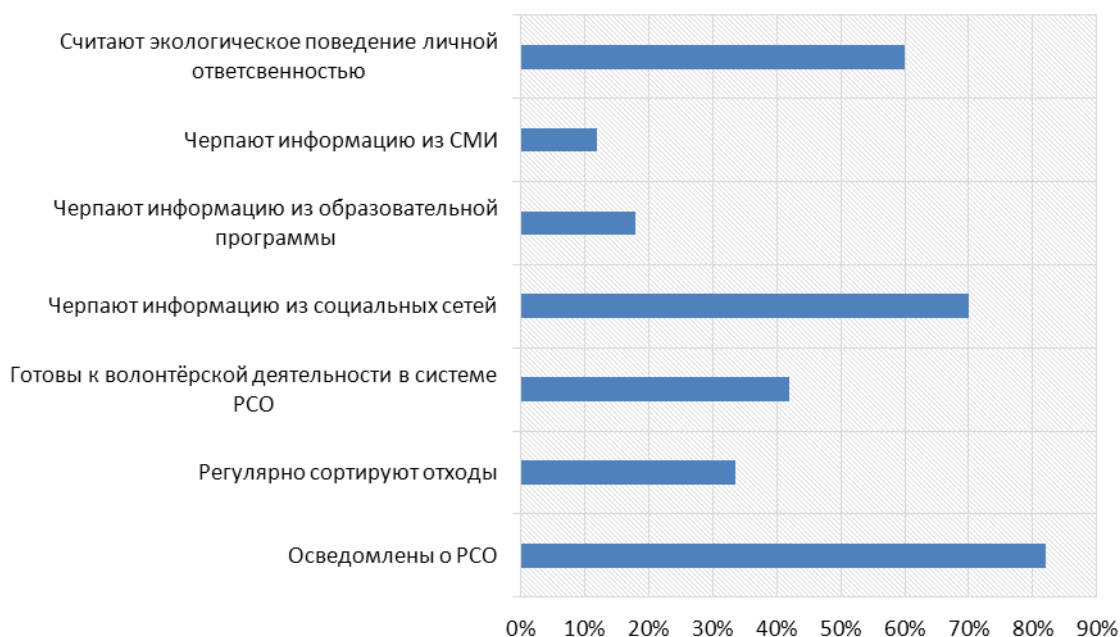


Рис. Результаты опроса молодежи о внедрении дуальной системы сбора отходов

На основании данных можно сделать вывод о том, что молодежь Кировской области обладает достаточно высоким уровнем экологических знаний и разделяет фундаментальные ценности «зеленого» мировоззрения. Однако переход к массовому экологичному поведению сдерживается недостаточностью инфраструктуры и поддержки: не всем удобно сортировать отходы из-за нехватки контейнеров, не у всех есть опыт участия в экопроектах. Именно здесь инициативы Экоцентра и подобные программы выполняют важную функцию, сокращая разрыв между знанием и действием. Предоставляя молодым людям конкретные возможности применения своих знания на практике – будь то сдача вторсырья, экологические мастерские или волонтерские акции – так региональный оператор стимулирует формирование устойчивых навыков экологического поведения.

Особо следует отметить роль волонтерства как центрального механизма воспитания экологической культуры. На базе Экоцентра и в рамках проектов АО «Куприт» развивается широкое экологическое волонтерское движение при тесном партнерстве с региональным отделением всероссийского экологического движения «Экосистема». За последние годы более 2000 волонтеров (в основном школьники и студенты) были вовлечены в различные мероприятия, суммарно затратив свыше 1570 ч добровольческого труда.

Этот факт наглядно подтверждает тезис, что именно деятельность является стержнем экологического воспитания: через собственное участие в полезной деятельности у молодого человека закрепляются новые ценности и модели поведения [9]. Как отмечают С. Дерябо и В. Левин, экологическое

сознание и ответственность наиболее эффективно формируются в деятельности и через деятельность, когда знания приобретаются не пассивно, а в ходе решения практических задач [9]. Волонтерская работа по озеленению, уборке, просветительские инициативы – все это способствует тому, что экологические нормы превращаются для молодых людей в личный опыт и привычку. Кроме того, участники волонтерских команд получают социальное одобрение и поддержку от единомышленников, что укрепляет их ценностные установки.

Опыт Кировской области иллюстрирует воспроизводимую модель формирования экологической культуры молодежи. Эта модель базируется на триединстве: образовательная инфраструктура (уроки, экоцентры) дает знания; социально-просветительские проекты и общественные движения формируют ценности и мотивацию; а практическая деятельность (волонтерство, участие в проектах регоператора) обеспечивает приобретение опыта и закрепление экологических привычек.

Библиографический список

1. Тайлор Э. Б. Первобытная культура. Пер. с англ. М. : Политиздат, 1989. 573 с.
2. Рубинштейн С. Л. Бытие и сознание. М. : Изд-во АН СССР, 1957. 327 с.
3. Каган М. С. Философия культуры. СПб. : Петрополис, 1996. 414 с.
4. Лось А. А., Урсул А. Д. Экологическая культура и основы экологической этики. М. : Агар, 2000. 254 с.
5. Мамедов Н. М. Основы социальной экологии : учеб. пособие для вузов. М. : Ступени, 2003. 256 с.
6. Пресс-служба РДДМ. «Движение первых» займется объединением юннатов // Объясняем.рф [Электронный ресурс]. – URL: <https://объясняем.рф/articles/news/dvizhenie-pervykh-zaumetsya-obedineniem-yunnatov/> (дата обращения: 16.10.2025).
7. Навигаторы детства – советники по воспитанию. Официальный сайт Российского детско-юношеского центра [Электронный ресурс]. – URL: <https://rusdetcenter.ru/navigatory-detstva-rosdetcentr> (дата обращения: 16.10.2025).
8. Дерябо С. Д., Левин В. А. Экологическая психология и педагогика. Ростов н/Д. : Феникс, 1996. 479 с.
9. Ядов В. А. Саморегуляция и прогнозирование социального поведения личности: Диспозиционная концепция. СПб. : Питер, 2000. 367 с.
10. Филиппова Г. Г. Экологическое воспитание: психологические основы // Дошкольное воспитание. 1998. № 10. С. 74–77.

ЗООЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ КАК ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС В ФОРМИРОВАНИИ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ

В. К. Колупаева, О. Н. Пересторонина

*Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
victoriakolupaeva2907@yandex.ru*

Кировский городской зоологический музей является важным образовательным центром для экологического и естественно-научного воспитания младших школьников. В статье рассматриваются педагогические возможности музея, методические приёмы для младших классов и практические рекомендации по включению музейных ресурсов в школьную учебную деятельность.

Ключевые слова: Кировский городской зоологический музей, музейное образование, естественно-научное воспитание, экологическое просвещение, младшие школьники.

Осовремененное начальное образование ориентировано на формирование у младших школьников целостной картины мира, научных представлений о живой природе и экологически ответственного поведения. Однако традиционные уроки нередко ограничены учебником и иллюстративным материалом, что сокращает возможности ребёнка для непосредственного наблюдения природных объектов. Именно поэтому использование внешкольных ресурсов – прежде всего зоологических и естественно-научных музеев – приобретает особую значимость, что подчеркивается в работах Л. М. Шляhtiной, рассматривающей музей как пространство формирования познавательного опыта ребёнка [1]. Одним из таких ресурсов в Кировской области выступает Кировский городской зоологический музей, который функционирует как культурно-просветительное учреждение и одновременно как площадка для реализации естественно-научного образования. Музей обладает значимым потенциалом для формирования научных представлений у учащихся начальной школы благодаря разнообразным фондовым коллекциям, диорамам, постоянной экспозиции «Путешествие по России» и развитой системе образовательных мероприятий.

Кировский городской зоологический музей, учрежденный в 2005 г., представляет собой культурно-научное пространство, включающее фондовые коллекции фауны Вятского края и других регионов России. Экспозиционный зал, открытый в 2011 г., расширил возможности музея в сфере просвещения, обеспечив доступ к постоянной тематической экспозиции, ориентированной на широкую аудиторию, включая младших школьников [2].

Зоологическая экспозиция включает чучела птиц и млекопитающих, коллекции беспозвоночных, тематические диорамы, отражающие природные

зоны России [3]. Благодаря высокой степени наглядности и научной достоверности экспозиционных материалов музеев выступает важнейшим дополнением к школьному курсу «Окружающий мир». Возможности музея позволяют реализовать различные модели взаимодействия: экскурсионные программы, музейные уроки, практические занятия, исследовательские проекты, а также массовые мероприятия и конкурсы, направленные на экологическое образование обучающихся. Музейные коллекции животных традиционно рассматриваются как эффективный инструмент формирования первичных научных знаний. Работа с реальными биологическими объектами и диорамами способствует усилению мотивации и более глубокому пониманию закономерностей природы [4, 5].

Дидактическая цель использования Кировского городского зоологического музея в работе с младшими школьниками заключается в обеспечении условий для формирования научно обоснованных, целостных представлений о живой природе посредством наглядно-практического обучения.

В соответствии с данной целью выделяются следующие **задачи**.

1. Образовательные: усвоение знаний о видовом разнообразии животных, их морфологических признаках и экологических условиях; формирование представлений о средах обитания, адаптациях и связях в экосистемах; освоение базовых понятий школьного курса; расширение естественно-научного словаря учащихся; закрепление изученного материала через непосредственное наблюдение экспонатов и выполнение познавательных задач.

2. Развивающие: развитие наблюдательности и умения выделять существенные признаки объектов; расширение кругозора учащихся; развитие познавательной мотивации к естественным наукам; формирование умений сравнивать, классифицировать, устанавливать связи между объектами; развитие элементарных исследовательских навыков: постановки вопросов, фиксации наблюдений, анализа природных объектов.

3. Воспитательные: формирование эмоционально положительного отношения к живой природе; овладение нормами экологической культуры и ответственным отношением к природным ресурсам; осознание необходимости охраны животных и природных территорий; развитие сочувствия, доброжелательности и ответственности.

Наиболее эффективными **формами** музейной педагогики в начальной школе являются следующие.

1. Экскурсии (обзорные и тематические), позволяющие познакомить детей с ключевыми видами животных региона и страны, сформировать первичные научные представления. Краткая, динамичная экскурсия, ориентированная на возраст, с акцентом на 6–8 ключевых объектов и мини-рассказами о «жизненных историях» животных помогает удерживать внимание младших школьников [4].

2. Музейные уроки, включающие практико-ориентированные задания: определение животных по признакам, размещение по биотопам, выполнение

творческих и познавательных упражнений, что дает возможность закрепить понятия из школьной программы [4].

3. Интерактивные программы – викторины, квесты, игры-экспедиции, конкурсы (например, городской конкурс «Чудо-звери»), направленные на активизацию познавательной деятельности [6, 7].

4. Практико-исследовательские проекты. Сотрудники музея участвуют в консультативно-методической работе с учащимися и учителями, помогают организовывать исследовательские работы, наблюдения и совместные исследования природных территорий. Такие проекты формируют исследовательскую мотивацию и навыки собирать данные [2].

5. Использование диорам и технических средств для формирования интегрированных представлений (биология-география-экология) [6].

Такие формы обеспечивают активную позицию ребёнка в процессе познания, соответствуя возрастным особенностям и требованиям федерального государственного образовательного стандарта начального общего образования.

Практическая реализация образовательного потенциала музея заключается в том, что посещение зоологического музея становится эффективным средством интеграции школьного и внеурочного образования. Учитель может заранее определить планируемые задачи, подготовить обучающихся к экскурсии, разработать задания для последующей рефлексии.

Примеры конкретных разработок занятий, адаптированных для посещения Кировского городского зоологического музея учащимися младших классов представлены ниже.

1. «Знакомство с местными птицами» (1 класс, 30–40 мин).

Дидактическая цель: сформировать первоначальные представления о типичных птицах родного края, их внешних признаках и особенностях образа жизни на основе музейных экспонатов.

Образовательные задачи: познакомить обучающихся с 4–5 распространёнными видами птиц Вятского края; закрепить понятия «птица», «крылья», «клюв», «оперение»; научить определять птицу по характерным признакам.

Развивающие задачи: развивать наблюдательность, умение сравнивать и выделять существенные признаки; развивать слуховую память и внимание; формировать умение классифицировать.

Воспитательные задачи: воспитывать интерес и бережное отношение к птицам; формировать чувство принадлежности к природе родного края; развивать умение работать в группе.

Ход занятия.

Вводная беседа. Экскурсовод показывает карту Вятского края, озвучивает основную цель занятия. Наводящие вопросы: «Каких птиц вы видели зимой? А летом?».

Наблюдение за экспонатами «Узнай птицу». Обучающиеся стоят у витрины с птицами. Экскурсовод обращает внимание на внешние признаки:

форма клюва, окраска перьев, размер птицы, также делает акцент на месте обитания. Далее младшие школьники угадывают птицу по описанию.

Интерактив «Чьи это перья?». Детям раздают карточки с изображением перьев и/или натуральные объекты. Необходимо назвать птицу, приветствуется её нахождение на витрине для лучшего визуального запоминания.

Игра «Где живет птица?». Обучающиеся получают три изображения биотопов: лес, город/парк, поле/луг. Их задача заключается в распределении птиц по данным биотопам. Рекомендуются групповая форма работы (распределение класса на 3 команды).

Подведение итогов, рефлексия: о каких птицах нашего края мы сегодня узнали? Что нового вы узнали о птицах? Какая птица понравилась больше всего и почему?

2. «Кто где живёт?» (2 класс, 40–45 мин).

Дидактическая цель: сформировать у учащихся представление о взаимосвязи животных и их среды обитания на основе музейных диорам.

Образовательные задачи: уточнить и расширить знания о биотопах; научить соотносить животных с их естественной средой обитания; закрепить понятия «приспособленность», «корм», «поведение».

Развивающие задачи: развивать умение группировать животных по признакам; формировать логическое мышление; развивать способность работать с визуальными моделями.

Воспитательные задачи: формировать экологическую грамотность; воспитывать уважение к живым существам; развивать аккуратность, умение слушать и работать в группе.

Ход занятия.

Вводная часть. Постановка проблемного вопроса, например, почему заяц не живет на болоте? Выведение обучающихся на тему занятия.

Работа у диорамы «Лес». На диораме представлены: лиса, белка, заяц, сова, кабан. Экскурсовод обращает внимание на маскировочную окраску; адаптации к среде обитания; условия леса. Детям показывают карточку животного, не относящегося к данному биотопу. Их задача – объяснить причины обитания данного животного в другом биотопе.

Работа у диорамы «Водоём». Здесь: бобр, выдра, утка, чайка. Экскурсовод задает наводящие вопросы по адаптационным признакам данных животных к их месту обитания, например, какие части тела помогают животным плавать. Выполнение задания по соотнесению лап, хвоста, клюва с животным, объяснить, как ему это помогает.

Групповая работа «Животные и их дом». Групповая форма работы: класс делится на 3 группы, каждая группа получает карточки с животными, биотопами, пищевым кормом. Задание состоит в составлении «природной цепочки»: кто где живет и что ест. Пример: белка-лес-орехи.

Подведение итогов, рефлексия: что помогает животным жить в их домах? Почему важно сохранять разные природные среды?

Кировский городской зоологический музей, обладая богатой фондовой коллекцией, постоянной экспозицией и практикой взаимодействия с учебными заведениями, представляет собой значимый ресурс для формирования естественно-научных представлений у младших школьников. Эффективное использование музея требует планирования: предварительная подготовка и рефлекслирующая работа учителя, игровых и последовательных форм занятий, а также сотрудничества с работниками музея.

Для более полного включения музея в образовательный процесс рекомендуется:

- 1) разработать серию сопряженных музей-школа модулей для 1–4 классов;
- 2) создать методическую папку для учителя с маршрутами по экспозиции и контрольными заданиями с предварительным посещением музея и сотрудничеством с работником музея;
- 3) внедрить мини-исследовательские проекты с публикацией результатов на школьных и музейных ресурсах.

Библиографический список

1. Шляхтина Л. М. Музейная педагогика : учебное-методическое пособие. СПб. : СПбГИК, 2021. 60 с.
2. Кировский городской зоомузей [Электронный ресурс]. – URL: https://zoovyatka.myl.ru/index/o_muzee/0-5 (дата обращения: 14.11.2025).
3. Выставочный зал Кировского городского зоологического музея на ул. Ленина // Культура. РФ [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.culture.ru/institutes/20333/-vystavochnyi-zal-kirovskogo-gorodskogo-zoologicheskogo-muzeya-na-ul-lenina?utm_source=](https://www.culture.ru/institutes/20333/-vystavochnyi-zal-kirovskogo-gorodskogo-zoologicheskogo-muzeya-na-ul-lenina?utm_source=chatgpt.com)chatgpt.com (дата обращения: 14.11.2025).
4. Колыванова Л. А., Носова Т. М., Шведова В. Г. Образовательный потенциал музея в развитии экологической культуры детей // Детство как антропологический, культурологический, психолого-педагогический феномен : материалы II Междунар. конф. Самара, 25–26 марта 2016 года. В рамках проекта «А.З.Б.У.К.А. детства». Ч. 1. Самара : СГСПУ; ООО «Научно-технический центр», 2016. С. 408–418.
5. Кузнецова М. В. Роль музеев в экологическом воспитании школьников // Вектор развития современного естественнонаучного образования : сб. трудов Междунар. конф. (Якутск, 12–13 октября 2018 года). Киров : Изд-во МЦИТО, 2019. С. 32–33.
6. Васильева И. М. Формы и методы музейной педагогики в начальной школе // Ямальский вестник. 2017. № 4 (10). С. 57–59.
7. Состоялся городской конкурс «Чудо-звери» // ДХШ – Киров. РФ [Электронный ресурс]. – URL: [https://дхш-киров.рф/sostoyalsya-gorodskoj-konkurs-chudo-zveri/?utm_source=](https://дхш-киров.рф/sostoyalsya-gorodskoj-konkurs-chudo-zveri/?utm_source=chatgpt.com)chatgpt.com (дата обращения: 14.11.2025).

РАЗРАБОТКА ВНЕУРОЧНОГО МЕРОПРИЯТИЯ НА ТЕМУ «СОСТАВ И СТРОЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СООБЩЕСТВА. ВЗАИМОСВЯЗИ ОРГАНИЗМОВ В СООБЩЕСТВЕ»

Е. А. Констанкевич, К. С. Лавриненко, О. Н. Пересторонина
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
stud204556@vyatsu.ru, stud204384@vyatsu.ru, usr11789@vyatsu.ru

В статье представлен структурированный план образовательной экскурсии, посвящённой изучению растительных сообществ. План-конспект помогает организовать деятельность учащихся как через теоретические понятия, так и через практическую деятельность. Статья будет полезна педагогам, студентам, интересующимся экологическим образованием и просвещением.

Ключевые слова: растительное сообщество, экологическая экскурсия, природные сообщества, взаимосвязи организмов, экосистема.

В современном мире мы сталкиваемся с экологическими проблемами, такими как истощение природных ресурсов, загрязнение окружающей среды, поэтому важно перейти человечеству от потребительского отношения к рациональному и бережному взаимоотношению с природой. Важным аспектом является также развитие у школьников осознания ценности природопользования и обучение их ответственному и разумному отношению к природе.

Проблематика экологизации образования активно обсуждается педагогическим сообществом с конца XX века и по причине неблагоприятной экологической ситуации в мире остаётся крайне актуальной на сегодняшний день. Так, в 1984 г. В. А. Сластенин пишет, что «экологическое образование совершенно справедливо рассматривается не как составная часть образования, а как новый смысл и цель современного образовательного процесса – уникального средства сохранения и развития человека и продолжения человеческой цивилизации [1].

Большая роль в решении этой задачи принадлежит биологическому образованию. Биологические знания, навыки природоохранительной работы и убежденность в необходимости и важности охраны природы неопределимы для осознанного и активного участия школьников в решении этих задач. В школе могут быть использованы различные формы организации практической работы, имеющей природоохранное значение. Хорошо себя зарекомендовали такие формы, как экскурсии в природу. Экскурсии могут быть урочной и внеурочной деятельностью (например, исследовательская работа) школьника.

Площадкой для проведения экскурсии могут быть дендрологические парки – сложные формы «организованного растительного мира в городе», особо охраняемые природные территории. Одним из таких мест является дендрологический парк лесоводов Кировской области, который находится

между Казанским трактом и берегом р. Вятки близ поселка Сошени в Нововятском районе г. Кирова.

Дендрологический парк заложили в 1962 г. с целью расширения видового состава лесов и ассортимента древесных и кустарниковых пород для озеленения городов и других населенных пунктов Кировской области. Для того чтобы определить зимостойкость растений новых видов и их приспособленность к почвенно-климатическим условиям Вятского края, нужны были искусственные высадки саженцев деревьев и кустарников [2]. К парковой части примыкают естественные лесные массивы, расположенные через овраг с прудом. Это придает дендрологическому парку естественную завершенность и разнообразие ландшафта. Здесь можно познакомиться с разнообразными древесными растениями Дальнего Востока, Сибири, Китая, Европы, Кавказа и Средней Азии, Японии, Северной Америки и Канады. Также можно пронаблюдать особенности строения типичных лесов Кировской области.

Дендропарк лесоводов Кировской области – излюбленное место отдыха кировчан. Растительность дендрологического парка испытывает стихийные антропогенные воздействия. Особенно сильно на экологическое состояние парка влияет химическое и шумовое загрязнение среды, вызванное прохождением в непосредственной близости от его территории автомагистрали.

Предлагаем мероприятие по актуализации знаний и умений в 5 классе на тему «Природные сообщества» и в 7 классе на тему «Растения в природных сообществах».

Выписка из содержания Федеральной рабочей программы для 5 класса: «Понятие о природном сообществе. Взаимосвязи организмов в природных сообществах. Пищевые связи в сообществах. Пищевые звенья, цепи и сети питания. Производители, потребители и разрушители органических веществ в природных сообществах. Примеры природных сообществ (лес, пруд, озеро и другие природные сообщества). Искусственные сообщества, их отличительные признаки от природных сообществ» [3].

Выписка из содержания Федеральной рабочей программы для 7 класса: «Растения и среда обитания. Экологические факторы. Растения и условия неживой природы: свет, температура, влага, атмосферный воздух. Растения и условия живой природы: прямое и косвенное воздействие организмов на растения. Приспособленность растений к среде обитания. Взаимосвязи растений между собой и с другими организмами. Растительные сообщества. Видовой состав растительных сообществ, преобладающие в них растения. Распределение видов в растительных сообществах» [3].

Цель: изучить особенности функционирования экосистемы леса в дендропарке лесоводов Кировской области.

Задачи образовательные: сформировать представление о растительном сообществе; провести наблюдения за особенностями взаимоотношений между организмами в лесу.

Задачи развивающие: способствовать развитию познавательного интереса; формировать умения устанавливать причинно-следственные связи, делать выводы.

Задачи воспитательные: способствовать воспитанию бережного отношения к природе.

Для проведения успешной экскурсии учитель проводит подготовку по формированию базы знаний. Для этого применяются различные образовательные подходы, направленные на понимание структуры и функционирования сообществ. Основой подготовки служат: объяснительно-иллюстративный метод (фотографии, схемы), словесно-логические техники через постановку наводящих вопросов, способствующую развитию самостоятельного мышления школьников, наблюдения в природе; закрепление понятий посредством тематических заданий; оформление результатов и формулировка выводов.

Разделы работы.

1. Пояснения учителя о целях создания дендрологического парка. Отмечается, когда и где появились первые дендрологические парки. Понятие о лесе. Леса Кировской области. Экологические условия лесного биоценоза.

Цели создания дендрологического парка:

- 1) научная – изучение и акклиматизация растений для селекции и ландшафтного дизайна;
- 2) образовательная – просвещение о разнообразии растительного мира;
- 3) охранный – сохранение редких и исчезающих видов;
- 4) рекреационная – создание эстетически привлекательного пространства для отдыха.

Возникновение первых дендрологических парков, или арборетумов, как специализированных научно-исследовательских учреждений, относится к периоду XVIII – начала XIX веков. Приоритет в их создании принадлежит Великобритании [4]. Лес – это комплекс живых организмов (растения, животные, грибы, микроорганизмы), связанных между собой и с окружающей средой. В Кировской области леса занимают значительную часть территории – лесистость составляет 63,5%. В северной и центральной части области преобладают хвойные леса: еловые, елово-пихтовые, а также широколиственно-хвойные. В южных районах области встречаются смешанные леса, где доминируют береза и осина [5, 6].

Экологические условия лесного биоценоза своеобразны. В таежных лесах часто царит полумрак из-за густых крон хвойных деревьев. Ярусность также влияет на распределение света: нижние ярусы получают меньше света. Почвы подзолистые, часто заболоченные.

2. Наблюдение и определение растений разных ярусов: деревья, кустарники, растения травяно-кустарничкового яруса, моховой ярус, внеярусные организмы.

В дендрологическом парке города Киров можно среди деревьев встретить дуб черешчатый, липу сердцевидную, лиственницу сибирскую, ель обыкновенную, сосну обыкновенную и др. В подлеске – шиповник майский,

бересклет бородавчатый, малину обыкновенную, черемуху обыкновенную и т. д. Травяно-кустарничковый ярус представляют черника, костяника, майник двулистный, кислица обыкновенная, земляника лесная, живучка ползучая и др. В мохово-лишайниковом покрове доминирует плевроциум Шребера. Внеярусные организмы представлены лишайниками: ксантория настенная, гипогимния и др.

3. Наблюдения за взаимоотношениями между организмами в лесном сообществе.

В ходе экскурсии в дендропарке можно наблюдать различные взаимоотношения между организмами:

- трофические связи: белка получает пищу, дерево теряет потенциальное потомство;

- фабрические связи: муравьи строят себе надёжный и защищённый дом с особым микроклиматом из хвоинок и веточек. Деревья предоставляют уже опавший или отмерший материал;

- топические связи: на перьях уток могут селиться различные микроорганизмы, водоросли и мелкие рачки, используя их как среду обитания и передвижения;

- форические связи: птицы, распространяющие семена и плоды растений.

4. Сбор материала для работы в классе: листья, плоды растений и т.д.

5. Выполнение заданий.

Задание № 1. «Экологический след».

Цель: познакомиться с разнообразием живых организмов леса и научиться бережно относиться к природе.

Описание задания: участникам предлагается выбрать небольшой участок леса площадью около 1 кв. м. Здесь ребята находят и записывают всех представителей флоры и фауны, которые встречаются именно на данном участке. Затем учитель объясняет детям важность каждого вида в общей цепи питания, демонстрирует зависимость животных и растений друг от друга. После завершения наблюдения участники собирают весь мусор, найденный ими на территории участка.

Вопросы для размышления могут быть следующие. Какие растения обитают на выбранном вами участке? Каких насекомых или мелких животных вам удалось заметить? Почему важно соблюдать чистоту и порядок в природной среде?

Задание № 2. «Кто живёт под ногами?» (исследование лесной подстилки и почвы)

Цель: изучить значение лесной подстилки и её обитателей в круговороте веществ.

Ход работы.

1. Выберите участок с хорошо развитой лесной подстилкой (ковром из опавших листьев, хвои, веточек).

2. Аккуратно, с помощью палочки, приподнимите небольшой слой подстилки и рассмотрите его с помощью лупы.

3. Найдите и зарисуйте/сфотографируйте 2–3 обитателя этого яруса. Это могут быть животные (мелкие жуки, многоножки, дождевые черви, пауки), грибы (плесневые, мелкие плодовые тела макромикетов), растения (проростки).

4. Опишите, что вы видите. Какова лесная подстилка на ощупь (влажная, сухая, рыхлая)? Что происходит со старыми листьями?

5. Сделайте вывод: какую роль играют найденные вами организмы? Почему лесную подстилку называют «фабрикой переработки»?

Задание № 3: «Цепочка жизни в лесу».

Цель: изучить взаимоотношения разных организмов внутри лесного сообщества.

Описание задания. Экскурсанты выбирают два–три примера пищевых цепочек лесных жителей, начиная от растений и заканчивая крупными животными-хищниками. Дети рисуют схему цепи питания, используя иллюстрации и схемы, составленные самостоятельно. По завершении мероприятия проводится обсуждение важности сохранения каждого звена пищевой цепи.

Вопросы для размышления. Из чего состоит пищевая цепь? Кто является производителем энергии в данной цепочке? Что произойдет, если исчезнет одно звено пищевой цепи?

6. Формулировка выводов и запись их в тетради.

Все это можно пронаблюдать в черте города, в дендропарке.

Для продолжения работы школьникам задается домашняя работа по оформлению результатов, которые были получены во время экскурсии. Эта работа может быть выполнена в виде отчета или реферата.

Представленная разработка может быть использована в общеобразовательных школах при базовом и углублённом изучении биологии. Работа в природе важна для школьников и должна быть направлена на привитие любви и бережного отношения к ней, на выработку природоохранных умений и рационального использования природных ресурсов.

Библиографический список

1. Мусинова Л. П., Калугин Ю. Г., Митина Е. Г. Экскурсия как форма организации просветительской деятельности Ботанического сада Петра Великого БИН РАН. DOI: 10.24411/2309-4370-2020-11308 // Самарский научный вестник. 2020. Т. 8. № 1. С. 259–267.

2. 50 лет Нововятск. Киров : АВФЦ «Колизей», 2005. 264 с.

3. Федеральная рабочая программа основного общего образования. Биология (базовый уровень) : для 5–9 классов образовательных организаций [Электронный ресурс]. – URL: 2025_ooo_frp_biologiya_5-9_baza.pdf/https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2025/07/2025_ooo_frp_biologiya_5-9_baza.pdf (дата обращения: 10.11.2025).

4. Ботанические сады и дендрологические парки высших учебных заведений / Л. Н. Андреев, М. Н. Бер, А. А. Егоров и др. // Hortus botanicus. 2006. № 3. С. 5–27.

5. Леса Кировской области / под ред. А. И. Видякина, Т. Я. Ашихминой, С. Д. Новоселова. Киров : ОАО «Кировская областная типография», 2007. 400 с.

7. Гордеева З. И. Кировская область. Природа [Электронный ресурс]. – URL: <https://bigenc.ru/c/kirovskaja-oblast-priroda-7d52ac?ysclid=mpwj7cp8in114971412> (дата обращения: 10.11.2025).

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И СНИЖЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

И. Б. Махсумов, Д. Т. Исозода, А. Н. Давлатзода

*Институт энергетики Таджикистана,
р-н Кушониён, Хатлонская область, Республика Таджикистан,
messi.ilhom@gmail.com, isoev-d@mail.ru, david.silemonov@tgem.tj*

В статье рассматривается взаимосвязь экологического образования и развития возобновляемой энергетики как ключевого фактора снижения климатических рисков в странах Центральной Азии. На основе анализа потенциала солнечной, ветровой и гидроэнергетики показано их влияние на сокращение выбросов парниковых газов и улучшение экологической ситуации в регионе. Особое внимание уделено роли подготовки квалифицированных кадров и формированию экологического мышления в условиях энергетического перехода. Выявлены основные барьеры развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и обоснована необходимость интеграции образовательных и научных инициатив. Сделан вывод о том, что экологическое образование является важным инструментом обеспечения устойчивого развития и повышения эффективности внедрения «зеленых» технологий.

Ключевые слова: экологическое образование, возобновляемые источники энергии, климатические изменения, устойчивое развитие, Центральная Азия, декарбонизация, энергетическая безопасность, экологическое воспитание.

Изменение климата является одной из ключевых глобальных проблем XXI века, оказывая значительное влияние на окружающую среду, экономику и социальное развитие [1]. Глобальная температура уже увеличилась более чем на 1,1 °C по сравнению с доиндустриальным уровнем, что сопровождается ростом экстремальных погодных явлений [1, 2].

В странах Центральной Азии наблюдается повышение температуры и изменение режима осадков, что негативно влияет на водные ресурсы, сельское хозяйство и экосистемы [2, 3].

Одним из эффективных инструментов решения данных проблем является развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ), позволяющих снизить выбросы парниковых газов и повысить устойчивость энергетических систем [4]. Однако успешное внедрение ВИЭ невозможно без экологического образования и подготовки квалифицированных кадров.

Цель работы заключается в комплексной оценке потенциала возобновляемых источников энергии в странах Центральной Азии с акцентом на снижение выбросов парниковых газов. Исследование направлено на анализ вклада солнечной, ветровой, гидро- и биоэнергетики в улучшение качества воздуха и сохранение экосистем региона. Также работа идентифицирует ключевые препятствия и возможности для масштабного внедрения «зеленой» энергетики. Результаты предназначены для формирования рекомендаций по экологически устойчивому развитию энергетического сектора и повышению климатической устойчивости Центральной Азии.

Потенциал возобновляемых источников энергии в Центральной Азии. Центральная Азия обладает значительным потенциалом развития ВИЭ, включая солнечную (рис. 1), ветровую и гидроэнергетику [5]. Высокие показатели солнечной радиации и ветровых ресурсов создают благоприятные условия для внедрения ВИЭ в регионе (табл. 1) [5].

Таблица 1

Потенциал возобновляемых ресурсов в странах Центральной Азии

Страна	Солнечная радиация (кВт·ч/м ² /год)	Скорость ветра (м/с)	Гидроэнергетика (МВт)
Казахстан	1600–1900	5–6	5000
Узбекистан	1800–2100	4–5	2000
Кыргызстан	1500–1800	5–7	3500
Таджикистан	1600–2000	4–6	6000
Туркменистан	2000–2200	4–5	1500

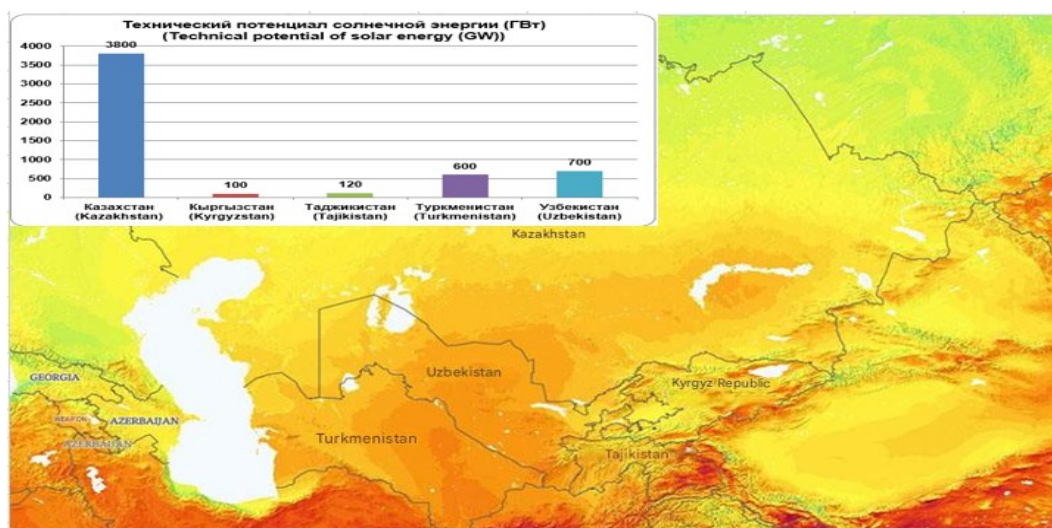


Рис. 1. Географическое распределение солнечного энергетического потенциала в странах Центральной Азии [5]

Анализ климатических данных свидетельствует о стабильном росте температуры и изменчивости осадков в регионе.

На рисунке 2 проиллюстрирована долгосрочная динамика среднегодовой температуры и осадков в Центральной Азии за период с 1990 по 2024 год. Красная кривая отражает динамику средней температуры, демонстрируя

устойчивую тенденцию к повышению примерно на 0,03 °C в год, что согласуется с глобальным и региональным потеплением. Это увеличение отражает воздействие более широких климатических процессов, включая накопление парниковых газов и региональные изменения в атмосферной циркуляции, которые привели к постепенному усилению теплового стресса в этом районе.

Синие полосы соответствуют годовым колебаниям количества осадков.

Взятые вместе, эти данные указывают на двойную климатическую тенденцию для Центральной Азии: постоянное потепление регионального климата и менее предсказуемый, но постепенно повышающийся уровень осадков [2, 3].

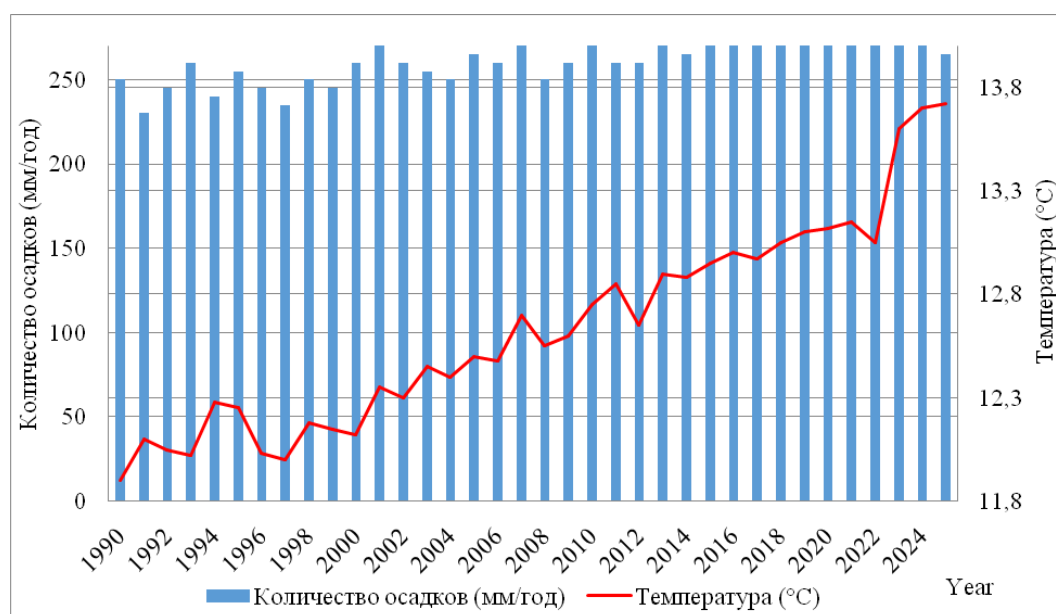


Рис. 2. Динамика изменения среднегодовой температуры и осадков в Центральной Азии (1990–2024 гг.) [2, 3]

Среднегодовая температура демонстрирует устойчивый рост, тогда как осадки характеризуются значительной вариабельностью, что указывает на нестабильность климатической системы. Развитие ВИЭ способствует снижению выбросов CO₂ и улучшению экологической ситуации (табл. 2) [4].

Таблица 2

Снижение выбросов углекислого газа за счёт ВИЭ (млн т)

Год	Казахстан	Узбекистан	Кыргызстан	Таджикистан	Туркменистан
2020	2,1	1,5	0,8	0,9	0,4
2024	6,0	5,2	1,6	1,7	1,5

Рост показателей сокращения выбросов обусловлен активным внедрением солнечных и ветровых технологий, а также модернизацией энергетических систем [6].

Экологическое образование как ключевой фактор развития ВИЭ. Несмотря на высокий потенциал ВИЭ, их развитие ограничено рядом факто-

ров, включая недостаток квалифицированных специалистов и слабую научно-образовательную базу [7–9].

Экологическое образование играет важную роль:

- в формировании экологической культуры общества;
- подготовке специалистов в области ВИЭ;
- развитии научных исследований и инноваций;
- повышении эффективности внедрения экологически чистых технологий.

Модернизация образовательных программ и развитие научных центров являются необходимыми условиями устойчивого развития энергетики [8, 10].

Инвестиции и международное сотрудничество

Международные организации активно поддерживают развитие ВИЭ в регионе, обеспечивая финансирование и техническую помощь [7, 9, 11–13].

На рисунке 3 представлено распределение инвестиционных проектов в области ВИЭ по странам Центральной Азии (ЦА) и Южного Кавказа с учетом как числа проектов, так и совокупного объема инвестиций (млрд долларов США). Анализ данных демонстрирует значительную вариативность этих показателей между странами, что отражает неоднородность развития региональной возобновляемой энергетики и связанных с ней экологических эффектов.

Казахстан занимает лидирующую позицию по числу проектов, а также по общему объему инвестиций, что свидетельствует о его ключевой роли в формировании низкоуглеродной энергетической инфраструктуры региона. Высокая инвестиционная активность способствует сокращению выбросов парниковых газов и улучшению экологической обстановки на национальном уровне.

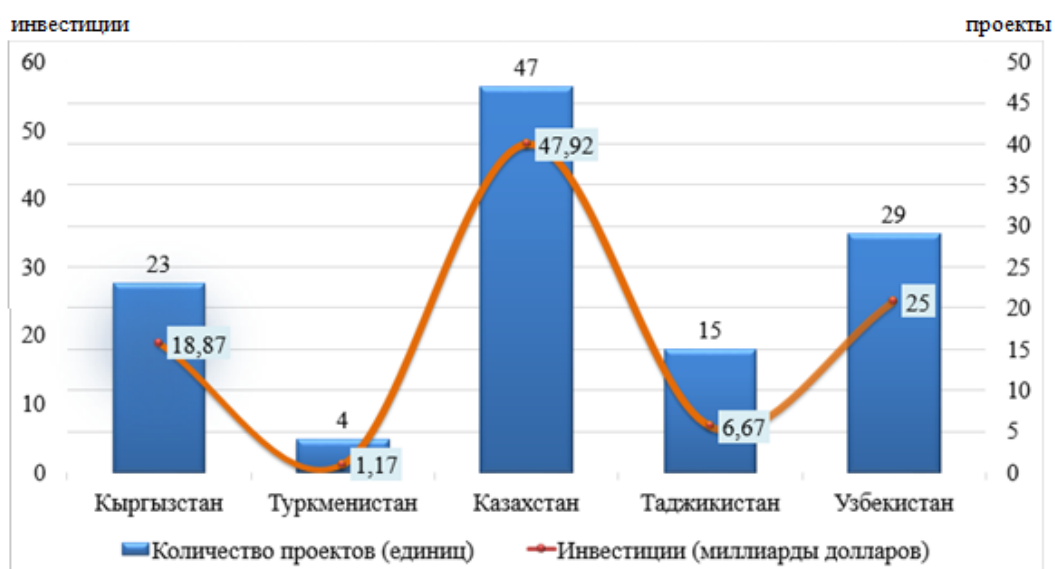


Рис. 3. Распределение инвестиционных проектов ВИЭ в ЦА [11]

Узбекистан следует за ним, а Кыргызская Республика при умеренном числе проектов демонстрирует меньший объем инвестиций, что указывает на

ограниченные, но постепенно растущие возможности по внедрению экологически чистых технологий.

В целом, наблюдается явная корреляция между количеством проектов и объемом инвестиций, а также выявляются значительные различия в уровне экологической модернизации энергетических систем стран региона [11].

Казахстан и Узбекистан занимают лидирующие позиции по объему инвестиций, тогда как другие страны региона имеют высокий потенциал, но ограниченные ресурсы.

Основные проблемы:

- недостаток инвестиций;
- устаревшая инфраструктура;
- институциональные барьеры.

Результаты исследования показывают, что инвестиционная активность в возобновляемую энергетику напрямую влияет на экологическую ситуацию в странах Центральной Азии. На примере Казахстана и Узбекистана видно, что высокое число проектов и значительные объемы инвестиций способствуют заметному снижению выбросов CO₂ и улучшению качества воздуха, тогда как страны с меньшей инвестиционной активностью, например, Таджикистан и Кыргызстан, демонстрируют более скромные экологические показатели. Анализ выявляет, что ключевыми ограничителями развития ВИЭ остаются устаревшая инфраструктура, недостаток квалифицированных специалистов и институциональные барьеры. Экологическое образование играет критическую роль, формируя экологическое сознание, стимулируя инновации и повышая эффективность реализации проектов, что является важным фактором уменьшения климатических рисков.

Результаты исследования показывают, что сочетание развития ВИЭ и экологического образования обеспечивает устойчивый экологический эффект и снижение климатических рисков в Центральной Азии. Подготовка квалифицированных специалистов, внедрение инновационных технологий и формирование экологической культуры создают условия для сокращения выбросов парниковых газов, стабилизации экосистем и повышения климатической устойчивости региона. Комплексный подход, включающий модернизацию инфраструктуры, научные исследования и международное сотрудничество, является стратегическим инструментом эффективного перехода к «зеленой» энергетике.

Библиографический список

1. IPCC. Climate Change 2023: The Physical Science Basis [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (дата обращения: 06.04.2026).
2. UNECE. Climate Change Vulnerability and Adaptation in Central Asia, 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://unece.org/2021-0> (дата обращения: 06.04.2026).
3. Махсумов И. Б. К вопросу об экологической безопасности «зелёной» энергетики // Наука – основа инновационного развития : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. Душанбе: Таджикский технический университет им. акад. М. С. Осими, 2025. С. 9–15.

4. IRENA. Renewable Energy and Climate Change Mitigation, 2024 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/Renewable-energy-statistics-2024> (дата обращения: 06.04.2026).
5. World Bank. Central Asia Energy Sector Overview, 2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://asia.nikkei.com/business/finance/world-bank-eyes-central-asia-to-expand-renewable-energy-project> (дата обращения: 06.04.2026).
6. Махсумов И. Б., Холназаров М. Б. Оценка экологической безопасности технологий «зелёной» энергетики // Булатовские чтения : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Т. 4. Краснодар : ООО «Издательский дом – Юг», 2025. С. 33–37.
7. Asian Development Bank. Barriers to Renewable Energy Deployment in Central Asia, 2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ebrd.com/home/news-and-events/news/2024/ebrd-posts-strong-operational-results-in-central-asia-in-2023.html> (дата обращения: 06.04.2026).
8. Impact of green energy development on climate change mitigation / К. К. Khushvakh-tzoda, I. B. Makhsumov, M. B. Kholnazarov, I. M. Kirpichnikova // Regional Sustainability. 2026. Article No. 100292.
9. Махсумов И. Б., Давлатзода А. Н., Хасанзода Б. М. Энергетический ландшафт Центральной Азии и роль возобновляемых источников энергии в трансформации региональных энергосистем // Тепловые электрические станции. 2026. № 1. С. 10–17.
10. UNECE. Renewable Energy Readiness in Central Asia, 2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.newscentralasia.net/2023/04/21/unece-central-asia-would-need-a-massive-shift-rather-than-a-massive-increase-in-investment-to-reach-net-zero-by-2050/> (дата обращения: 06.04.2026).
11. World Bank. Financing Renewable Energy in Central Asia, 2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.worldbank.org/en/energy/powering-the-energy-future-of-europe-and-central-asia-> (дата обращения: 06.04.2026).
12. Махсумов И. Б., Рахимов З. С., Рахимов Х. А. Экологические и экономические особенности и перспективы развития возобновляемых источников энергии // Энергетика : состояние и перспективы развития : материалы междунар. науч.-практ. конф. Душанбе : Aprint, 2024. С. 115–122.
13. Силемонов Д. С., Сафарзода Г., Худоназаров Б. В. Экономические и экологические аспекты применения солнечной энергетики в городских условиях // Бутаковские чтения : сб. статей IV Всеросс. с междунар. участием молодёжной конф. Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. С. 299–302.

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ-БИОЛОГОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ УЧЕБНО-ПОЛЕВЫХ ПРАКТИК

А. А. Новикова, Н. М. Дайнеко

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

В статье рассматривается роль учебно-полевых практик в системе профессиональной подготовки биологов. Показана необходимость экологического образования для формирования экологической компетентности студентов университетов. Акцентируется значение экологического компонента практик, в том числе полевых практик по ботанике, как базового элемента воспитания

экологической культуры будущего специалиста, формирования природоохранных компетенций и готовности будущих учителей биологии к осуществлению экологического просвещения.

Ключевые слова: полевая практика, экология, профессиональная подготовка, природоохранная деятельность.

В условиях современного высшего образования особое значение приобретает формирование у будущих специалистов практико-ориентированных компетенций. Экология как интегративная дисциплина играет в этом процессе ключевую роль, поскольку именно она задает вектор устойчивого взаимодействия человека с окружающей средой. Для студентов-биологов ключевым этапом профессионального становления являются учебно-полевые практики. Будучи важнейшим компонентом ботанических и экологических дисциплин, практики позволяют интегрировать фундаментальные теоретические знания с природной средой, закладывая основу для формирования целостного экологического мировоззрения. В Гомельском государственном университете имени Франциска Скорины учебно-полевые практики рассматриваются как самостоятельный и высокоэффективный инструмент развития научно-исследовательских и природоохранных компетенций студентов-биологов [1].

Полевые практики являются неотъемлемым и важнейшим компонентом ботанических дисциплин. Они проводятся после завершения теоретического курса и служат базой для углубления знаний по морфологии, систематике, экологии растений и геоботанике. На 1–2 курсах практики проводятся в естественных природных условиях, что позволяет студентам перейти от абстрактных представлений к живому восприятию биоразнообразия. Сезонный характер полевых выездов и их проведение в разнообразных экосистемах (лесных, луговых, водно-болотных) позволяют сформировать у студентов необходимую базу для дальнейшей специализации [2].

Основной формой работы в ходе практики являются экскурсии во все типы естественных и антропогенных сообществ, а также самостоятельные исследования. Методически правильно организованная экскурсия сочетает рассказ и объяснение преподавателя с активной самостоятельной деятельностью студентов: они ведут полевые наблюдения, выполняют зарисовки, делают записи в полевых дневниках, собирают материал для последующей камеральной обработки в лаборатории [3].

В результате прохождения практики по ботанике студент должен овладеть значительным массивом знаний и умений. Ключевыми требованиями являются: знание основных жизненных форм растений разных фитоценозов, особенностей морфо-биологической структуры растений различных систематических групп, а также умение идентифицировать в природе не менее 200 видов растений. Особое внимание уделяется формированию навыков природоохранной деятельности: студенты изучают редкие виды региона (ви-

ды Красной книги Республики Беларусь, виды международной и региональной охраны).

Важной составляющей практики является ведение документации. Будущий специалист должен уметь вести полевой дневник с материалами экскурсий, составлять флористическую тетрадь (список видов растений района практики на русском и латинском языках), грамотно пользоваться определителями растений и ботаническими атласами, а также собирать и оформлять морфологический и систематический гербарий. План описания растений, применяемый в университете, включает более 30 пунктов и охватывает биолого-экологический анализ, морфологию, описание репродуктивных органов, а также оценку роли растения в природе и жизни человека. Практика такого детального описания под руководством преподавателей позволяет студентам уже со второго курса уверенно пользоваться различными определителями [4].

Навыки научно-исследовательской деятельности являются одной из важнейших компетенций специалиста-биолога. В учебном процессе ГГУ им. Ф. Скорины формирование таких навыков реализуется на разных этапах обучения, однако именно полевая практика создает уникальные условия для мотивации. Важным условием усвоения навыков является осознание студентами практической значимости результатов их изысканий. В условиях грамотно организованного учебного процесса исследовательская деятельность студентов под руководством преподавателя приобретает значение для целей краеведческой и природоохранной работы в регионе.

На втором курсе практика направлена на углубленное изучение видового состава, структуры и продуктивности основных растительных сообществ. Студенты осваивают методы изучения горизонтальной и вертикальной структуры фитоценозов, проводят фенологические наблюдения. Такой подход позволяет к концу практики сформировать у студента целостное представление о динамике растительного покрова, растительных ресурсах территории и правилах рационального природопользования.

Направленность полевых практик на биологических специальностях имеет существенные отличия в зависимости от курса обучения, что обеспечивает принцип преемственности. Если на 1 и 2 курсах практики имеют узкоспециализированную направленность, диктуемую содержанием конкретных дисциплин (ботаника, зоология), то на 3 курсе полевая практика приобретает интегрированный характер. Это проявляется в разностороннем исследовании природных объектов, что благоприятно для интенсивного внедрения методов экологического мониторинга как системного метода исследования окружающей среды.

Студенты во время прохождения практики получают наглядный пример о разнообразных природных процессах и их взаимосвязи, учатся фиксировать факты, анализировать природные явления, опираться на самостоятельные наблюдения. Такой подход обеспечивает изучение экологических проблем в сочетании с приобретением опыта взаимодействия с природой, способствует формированию профессионально-достаточного уровня экологической

компетентности. Системное и поэтапное прохождение полевых практик создает фундамент для подготовки востребованных специалистов, способных эффективно решать задачи природопользования и охраны окружающей среды в регионе [5].

Учебно-полевые практики в системе подготовки биологов-экологов выступают не просто как форма закрепления теории, а как ключевой механизм трансформации знаний в компетенции. Реализация данной модели в ГГУ им. Ф. Скорины способствует формированию у выпускников не только профессиональных умений, но и активной природоохранной позиции, что соответствует современным требованиям высшего образования и запросам экономики региона. Сочетание теоретической подготовки с практико-ориентированными формами работы, включая общественно-полезные мероприятия, полевые исследования и природоохранные проекты, позволяет будущим учителям биологии накапливать необходимый объем экологических компетенций. Такой комплексный подход способствует не только усвоению предметных знаний, но и развитию навыков экологического просвещения, что является ключевым требованием к современному педагогу.

Библиографический список

1. Сластенина Е. С. Экологическое образование в подготовке учителя: вопросы теории и практики. М. : Педагогика, 1984. 104 с.
2. Бавтуто Г. А. Учебно-полевая практика по ботанике. Минск : Вышэйшая школа, 1990. 269 с.
3. Гуленкова Л. А., Красникова А. Л. Летняя практика по ботанике. М. : Просвещение, 1986. 150 с.
4. Булохов А. Д. Учебно-полевая практика по лесоведению : учебное пособие. Брянск : РИО БГУ, 2007. 72 с.
5. Зверев И. Д. Экология в школьном обучении: новый аспект образования. М. : Знание, 1980. 96 с.

ОТНОШЕНИЕ К ЭКОЛОГИЧЕСКИМ МЕРОПРИЯТИЯМ СТУДЕНТОВ В СОВРЕМЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ: ОПЫТ ВЛАДИВОСТОКСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

С. Б. Ярусова, Н. В. Иваненко, Е. В. Соколова
*Владивостокский государственный университет,
г. Владивосток, Россия, yarusova_10@mail.ru*

Исследование направлено на изучение мотивации студентов бакалавриата Владивостокского государственного университета к участию в экологических мероприятиях, выявления наиболее распространенных форм экологических мероприятий, определения наиболее эффективных форм экомероприятий в соответствии с мнением студентов. Авторами исследования дополнена ранее разработанная анкета и проведен опрос 150 студентов.

Ключевые слова: экологическое образование, экологические мероприятия, студенты, университет.

Процесс непрерывного экологического образования и просвещения определяет процесс развития экологической культуры, формирования экологического мировоззрения, приобретения профессиональных навыков, необходимых для реализации принципов рационального природопользования и экологической безопасности [1, 2].

Профессионально-экологическая культура, с одной стороны, является неотъемлемым компонентом профессионализма личности будущего специалиста, что выражается в проявлении его экологической компетентности, с другой стороны, отражает экологическое сознание, центральным элементом которого является экологоориентированное мировоззрение, определяющее его поведение в различных ситуациях профессиональной деятельности [3].

Для повышения эффективности экологического образования и формирования активной позиции молодежи в решении экологических задач, экологическое образование и воспитание в университете должно опираться на сочетание разных методов и форматов, чтобы обеспечить не только информированность, но и осознанное участие студентов в природоохранных инициативах. Наиболее распространенным форматом являются различные формы экологических мероприятий: экологические уроки и игры, мастер-классы, конференции, конкурсы, экотурниры, выставки, экскурсии, экологические флешмобы, квесты, акции и т.д.

В 2023 г. Владивостокский государственный университет начал проводить исследования внутри вуза, связанные с анализом состояния сформированности экологической компетентности студентов среднего профессионального образования (проведено анкетирование 333 студентов 1–3 курсов Колледжа сервиса и дизайна (КСД) и IT-колледжа (IThub Владивосток) Владивостокского государственного университета (ВВГУ) [4, 5].

В 2024 г. в рамках VIII Открытой школы Приморского океанариума «Естественно-научное образование и просвещение: вызовы, приоритеты, инновации» (21–22 марта 2024 г., г. Владивосток) исследователями Владивостокского государственного университета было проведено анкетирование специалистов сферы экологического просвещения и образования из различных субъектов РФ для оценки экологической осведомленности субъектов экологического просвещения и образования по вопросам уровня экологической информированности о состоянии окружающей среды, проведения просветительских и волонтерских экомероприятий, уровня проводимой работы по экопросвещению молодежи. Более 80% респондентов считают экологическое образование необходимым элементом образовательных программ любого учебного заведения, что подтверждает необходимость повышения уровня экологической информированности населения и актуальность проведения мероприятий экологической направленности. Более 50% опрошенных указывают на средний уровень доступности информации о проводимых экомеро-

приятных, что свидетельствует о необходимости улучшения коммуникации и распространения экологических данных [6].

В 2025 г. получены результаты анкетирования 50 студентов бакалавриата и магистратуры ВВГУ, направленные на изучение их отношения к экологическим вопросам, уровня информированности и восприятия экологической тематики в университете. Исследование мотивации студентов ВВГУ к участию в экологических акциях выявило противоречие: несмотря на высокую осведомленность – 96% респондентов признают важность решения экологических проблем, – их реальная активность остается низкой. Основным препятствием для участия является недостаток времени, в то время как главным стимулом выступают внешние бонусы (дополнительные баллы, освобождение от занятий, мерч и сувениры), а не внутренняя экологическая сознательность [7].

Для развития полученных в 2025 г. результатов исследования [7] была расширена содержательная часть анкеты и опрошено большее число респондентов (150 человек), преимущественно студентов бакалавриата. Анкета содержит 14 вопросов, которые условно можно разбить на блоки, позволяющие получить информацию об отношении студентов к экологическим проблемам, их личном опыте, информированности студентов и оценке студентами мероприятий в вузе. В зависимости от специфики учебного процесса или непосредственно университета перечень вопросов может быть расширен, а их содержание конкретизировано.

Было опрошено 150 студентов преимущественно бакалавриата (более 90%). Студенты специалитета и СПО распределились в равном количестве (примерно по 4 %). Среди опрошенных студентов наиболее активно на вопросы отвечали студенты 1 и 2 курса (39,3% и 42% соответственно). Наименьшее количество респондентов – среди студентов 3 курса (5,3%). Количество студентов 4 курса – 14,7%.

Анализ результатов анкетирования показал, что примерно 72,7% от общего числа опрошенных студентов считает решение экологических проблем очень важной задачей, 25,3% – важной, но не первоочередной.

Большая часть студентов (53,3%) неоднократно принимала участие в различных мероприятиях экологической направленности. Количество студентов, не участвующих в экомероприятиях, но желающих поучаствовать – 18,7%. Количество студентов, не участвующих в экомероприятиях и не планирующих их посещать, составляет 12%. Процент регулярно посещающих экомероприятия студентов также не высок – всего 10,7%.

Более 70% опрошенных студентов считают, что экологические мероприятия в целом эффективны. Около 16% считают экомероприятия неэффективными.

Среди основных экологических мероприятий, проводимых в университете, подавляющее большинство студентов указывает на субботники и волонтерские акции, затем примерно в равной степени конференции, экоигры, экоквесты, сбор вторсырья, экофестивали и ярмарки. Конкурсы, олимпиады

экологической направленности считаются самыми не популярными среди студентов: 28% выбрало этот вариант. Данный вопрос подразумевал возможность выбора нескольких вариантов ответа. На отсутствие интереса к экомероприятиям указало 20% (30 человек) опрошенных студентов ВВГУ.

Как показал вопрос, касающийся интереса к каким-либо конкретным мероприятиям (рис. 1), студентов интересуют многие мероприятия, в наибольшей степени экоигры, экоквесты, экофестивали и экоярмарки. Практически в равной степени – сбор вторсырья, волонтерские акции, субботники и озеленение. Отмечен низкий интерес к конференциям (всего 16%), что, вероятно, связано с недостаточной информированностью студентов и отсутствием опыта подготовки и презентации докладов.



Рис. 1. Результаты ответов студентов (%) на вопрос «Какие экологические мероприятия, по вашему мнению, наиболее интересны?» (с выбором нескольких вариантов)

Следует отметить, что большее количество студентов (72% (108 человек) предпочитает короткий формат проведения экологических мероприятий. Мероприятия продолжительностью 6–8 часов и 3–5 дней выбрало 7,3 и 5,3% соответственно. На предпочтительный формат участия в мероприятии в режиме онлайн указывают 32,7%, офлайн на кампусе – 38,7%. Гибридный формат выбрали – 23,3% (рис. 2).

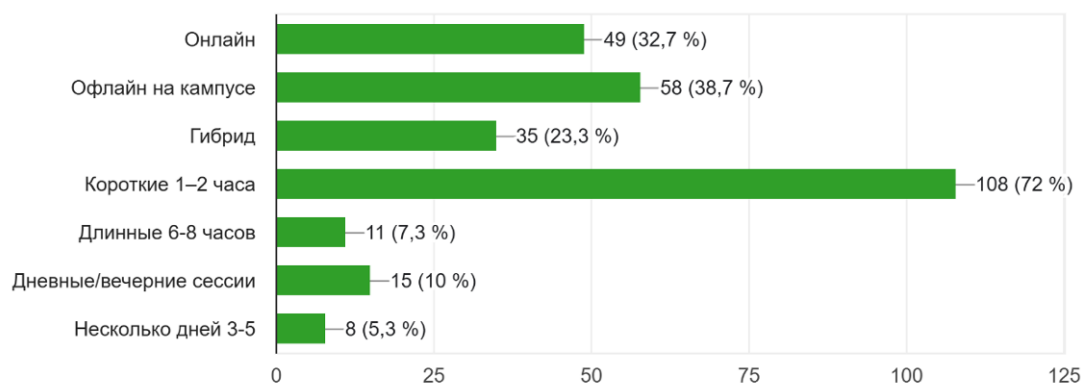


Рис. 2. Результаты ответов студентов (%) на вопрос «Какой формат мероприятий предпочтительнее для Вас?» (можно выбрать несколько вариантов ответа)

Выбор небольших по продолжительности мероприятий, возможно, связан, с дефицитом времени студентов: большинство студентов указывают на отсутствие, прежде всего, времени, и отсутствие интереса к теме экологии. Существенная часть студентов указывает на недостаток информации о таких мероприятиях и на собственное убеждение о незначительности личного вклада в экологию. Примерно треть опрошенных указывает на непривлекательный формат экомероприятий.

На вопрос «Что могло бы мотивировать Вас лично принять участие в экологическом мероприятии?» большинство опрошенных выбрали ответы «Желание внести личный вклад в общее дело сохранения окружающей среды», «Возможность получить дополнительные баллы/зачет по предмету» и «Бесплатные бонусы (мерч, еда, сувениры)». Интересный формат мероприятия выбрала треть опрошенных.

На вопрос, примут ли участие студенты в экомероприятии вуза или города, если узнают о проведении экологического мероприятия в вашем вузе или в городе, ответы «Да» и «Скорее да» выбрали 19,3 и 48% соответственно; ответы «Нет» и «Скорее нет» – 6,7 и 18,7% соответственно. 7,3% студентов выбрали ответ «Только по указанию преподавателя».

При этом, по мнению студентов, роль университета в повышении экологической культуры состоит в информировании о внешних городских и все-российских акциях, внедрении «зеленых» практик на территории вуза и более активном проведении собственных мероприятий, а также организации курсов. При этом на вопрос «Насколько Вы доверяете информации об экологических инициативах, распространяемой вузом?» ответы распределились следующим образом: полностью доверяют – 28,7%, частично доверяют – 38,7%, нейтральной позиции придерживается 26% опрошенных.

Таким образом, полученные в данном исследовании результаты свидетельствуют о наличии определенных проблем и необходимости уделять большее внимание не только проведению различных экологических мероприятий, но и повышению экологической культуры студентов в целом. Проведенное исследование мотивации студентов Владивостокского государственного университета к участию в экологических мероприятиях выявило противоречие между высоким уровнем осознания студентами важности экологических проблем (98% опрошенных считают их решение важным) и их реальной вовлеченностью.

Найдено противоречие между предлагаемыми и желаемыми форматами экомероприятий. Результаты указывают на проблемы в системе информирования и экологического просвещения. Существенная доля респондентов отмечает недостаток информации об экологических мероприятиях, что подчеркивает необходимость более активной и качественной коммуникационной политики со стороны университета: более 50% видят роль университета в повышении экологической культуры в улучшении информированности студентов.

Необходима комплексная работа с форматами мероприятий в сторону более интересных и интерактивных для студентов, совершенствование систе-

мы информирования и разработка стратегии по формированию внутренней мотивации, чтобы участие в экологических мероприятиях воспринималось не как обязанность или способ получения баллов, а как осознанная ценность и личный вклад в устойчивое развитие.

Цель дальнейших исследований – увеличение количества респондентов, расширение географии анкетирования, подробный анализ экологических мероприятий, проводимых в университете и разработка концепции экологического мероприятия с учетом полученных в исследовании результатов. Полученные в данной исследовательской работе результаты представляют основу для разработки качественных рекомендаций по проведению экологических мероприятий в университетах.

Библиографический список

1. Комарова Н. Г. Образование и новая экологическая культура в стратегии устойчивого развития // *Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований. Том IV: Экологическая безопасность, инновации и устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития* / под ред. проф. В. З. Латыповой и доц. О. Г. Яковлевой Казань : Изд-во «Отечество», 2009. С. 320–322.
2. Костин И. А. Формирование экологической культуры населения // *Наука и образование: прошлое, настоящее и будущее : сб. статей III межвузовской студенческой конф. Воронеж : филиал РГУПС в г. Воронеж, 2021. Т. 2. С. 14–17.*
3. Гагарин А. В. Аксиологическая составляющая развития профессионально-экологической культуры студентов // *Вестник Международной академии наук (русская секция). Специальный выпуск. 2014. № 1. С. 60–63.*
4. Штабной И. П., Ярусова С. Б., Иваненко Н. В. Изучение экологической информированности студентов среднего профессионального образования на примере Владивостокского государственного университета // *Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы (Год педагога и наставника) : материалы VII междунар. науч.-практ. конф. (г. Новокузнецк, 8 декабря 2023 г.). Кемерово : ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева», филиал КузГТУ в г. Новокузнецке, 2023. С. 154–156.*
5. Оценка экологической информированности студентов среднего профессионального образования / С. Б. Ярусова, Н. В. Иваненко, И. Ю. Буравлев, И. П. Штабной // *Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета. 2024. Т. 16. № 4. С. 256–267.*
6. Оценка доступности экологической информации для населения и роль экологических мероприятий в экопросветительской деятельности: результаты социологического опроса респондентов сферы экологического просвещения и образования / С. Б. Ярусова, Н. В. Иваненко Е. В., Медеян, Д. П. Перебейнос. DOI: 10.60797/IRJ.2026.164.3 // *Международный научно-исследовательский журнал. 2026. № 2 (164). С. 1–12.*
7. Ярусова С. Б., Иваненко Н. В., Соколова Е. В. Природоохранные мероприятия как средство повышения экологической активности студентов: опыт Владивостокского государственного университета // *Академическое сообщество 2025 : сб. статей участников II Всерос. форума преподавателей высшего образования. (г. Москва, 18–19 ноября 2025 г.). М. : Лига Преподавателей Высшей Школы, 2025. С. 261–267.*

СЕКЦИЯ 8 ХИМИЯ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СУБСТАНЦИЙ

ЦВЕТКИ АРОНИИ МИЧУРИНА, БОЯРЫШНИКА И РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ КАК СЫРЬЁ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОСМЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

П. К. Белослудцева, Т. А. Адамович
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, polina.gundina5@yandex.com

В статье представлены результаты исследования цветков трёх видов растений семейства Розоцветные (Rosaceae): аронии Мичурина (*Aronia mitschurinii* A. K. Skvortsov & Maitul.), боярышника обыкновенного (*Crataegus laevigata* (Poir.) DC.) и рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), произрастающих на территории Кировской области. Установлено, что цветки данных растений обладают высокой антиоксидантной активностью, значительным содержанием флавоноидов и витамина С, что позволяет использовать их комбинацию в качестве основы для косметической сыворотки.

Ключевые слова: арония Мичурина, боярышник, рябина обыкновенная, цветок, экстракт, антиоксидантная активность, косметическая сыворотка.

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост интереса к созданию косметических средств на основе натурального растительного сырья. С экологической точки зрения, использование дикорастущего или культивируемого местного сырья позволяет снизить углеродный след от логистики и способствует рациональному природопользованию [1]. Особый интерес представляют цветки растений семейства Розоцветные (Rosaceae), такие как арония Мичурина (*Aronia mitschurinii* A. K. Skvortsov & Maitul.), боярышник обыкновенный (*Crataegus laevigata* (Poir.) DC.) и рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.). В Кировской области эти растения широко культивируются как плодовые культуры или встречаются в диком виде. Их сырьё, которое часто остается неиспользованным после сбора плодов, накапливает комплекс биологически активных веществ [2, 3]. Это открывает перспективы для его применения в формулах косметических продуктов, одновременно решая задачу более полной утилизации растительной биомассы.

Цель работы – исследовать биохимический состав цветков аронии Мичурина, боярышника обыкновенного и рябины обыкновенной, произрастающих в Кировской области, для разработки рецептуры косметической сыворотки для лица с антиоксидантным эффектом.

Объектом исследования служили цветки аронии Мичурина, боярышника обыкновенного и рябины обыкновенной, собранные в мае 2025 г. на территории Верхнекамского района Кировской области в фазу цветения растений. Экстракты получали методом мацерации с использованием 70% этилового спирта в течение 7 суток. В работе использовали комплекс физико-химических методов анализа: определение содержания витамина С в экстрактах – методом титрования 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия, в сыворотке – методом кулонометрического титрования [4]; определение содержания флавоноидов – спектрофотометрическим методом в пересчете на рутин с использованием алюминия хлорида; определение антиоксидантной активности – методом инверсионной вольтамперометрии.

В ходе работы получены экстракты из цветков исследуемых растений. Результаты количественного определения основных показателей представлены в таблице.

Таблица

Характеристика экстрактов цветков

Показатель	Арония Мичурина	Боярышник обыкновенный	Рябина обыкновенная
Антиоксидантная активность, мг/г	7,99±0,34	4,129±0,010	5,69±0,35
Содержание витамина С, мг/г	0,250±0,007	0,42±0,06	0,700±0,006
Содержание флавоноидов, %	0,135±0,002	0,561±0,002	0,100±0,004

Анализ данных показал, что наибольшей антиоксидантной активностью обладает экстракт цветков аронии Мичурина (7,99 мг/г), что коррелируется с достаточно высоким содержанием в нём флавоноидов (0,135%). Экстракт рябины обыкновенной выделяется максимальным содержанием витамина С (0,700 мг/г). Экстракт боярышника обыкновенного обладает наибольшим содержанием флавоноидов (0,56%). Полученные результаты подтверждают высокую биологическую ценность исследуемого сырья.

На основании полученных данных разработана рецептура косметической сыворотки (общей массой 30 г). Комбинация экстрактов позволяет достичь синергического эффекта: экстракт боярышника выступает как мощный источник флавоноидов, а экстракт рябины – как источник природного витамина С. В состав также были включены стабильная форма витамина С (аскорбилфосфат натрия, 2%), увлажнители (глицерин, гиалуроновая кислота) и консервант (сорбат калия). Исследование готового продукта подтвердило сохранность антиоксидантной активности и

содержание витамина С, что с учётом разбавления в рецептуре свидетельствует о корректности технологических режимов.

В результате проведённой работы установлено, что цветки аронии Мичурина, боярышника обыкновенного и рябины обыкновенной, собранные в Кировской области, являются ценным источником биологически активных веществ. Полученные экстракты обладают выраженной антиоксидантной активностью. Разработанная рецептура сыворотки для лица на их основе может быть рекомендована для дальнейших исследований и внедрения в производство натуральных косметических средств. Использование сырья, остающегося после сбора плодов, способствует решению локальных экологических задач, связанных с утилизацией отходов и рациональным использованием природных ресурсов региона.

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. Изучение биологически активных веществ листьев рябины черноплодной / Т. А. Брежнева, Е. И. Недолужко, Е. Е. Логвинова и др. // Вестник Воронежского государственного университета. Серия : Химия. Биология. Фармация. 2018. № 2. С. 306–311.
3. Куркин В. А., Морозова Т. В., Правдивцева О. Е. Исследования по разработке методики стандартизации листьев боярышника кроваво-красного // Химия растительного сырья. 2017. № 3. С. 169–173.
4. Клименок М. П. Использование метода кулонометрии для количественного определения аскорбиновой кислоты // Студенты – науке и практике АПК : материалы 106-й Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов (г. Витебск, 21 мая 2021 г.). Витебск : ВГАВМ, 2021. С. 282–283.

СОЗДАНИЕ И ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ЛИПОСОМАЛЬНОЙ ФОРМЫ ПЕРФТОРДЕКАЛИНА И ТРИПЕПТИДА МЕДИ НА ОСНОВЕ СОЕВОГО ЛЕЦИТИНА

С. А. Вотинцева^{1, 2}, В. А. Козвонин^{1, 2}

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

² *Кировский государственный медицинский университет,
г. Киров, Россия, niokgma@yandex.ru*

В статье представлены результаты разработки липосомальной формы на основе соевого лецитина с антигипоксантным (перфтордекалин) и регенеративным (трипептид меди) действующими веществами (ДВ) для наружного применения. Эффективность инкапсуляции ДВ в липосомы составила $(68 \pm 4)\%$ и $(22 \pm 3)\%$ соответственно. Полученная суспензия липосом характеризовалась стабильными показателями pH и седиментационной устойчивости на протяжении 30 сут.

Ключевые слова: липосомы, перфтордекалин, трипептид меди, соевый лецитин, наружное применение, гипоксия кожи, регенерация тканей.

В современной репаративной медицине гипоксию (дефицит кислорода в тканях) относят к основным факторам, замедляющим регенерацию кожных покровов и способствующим хронизации ран, ожогов и дерматозов. Снижение оксигенации кожи в зоне повреждения инициирует накопление активных форм кислорода (АФК); подавляет пролиферацию кератиноцитов; повышает риск микробной контаминации раневой поверхности [1–3].

Одним из перспективных подходов к терапии тканевой гипоксии считается применение перфторуглеродных соединений в качестве носителей газообразных действующих веществ (ДВ). Наиболее широко исследованы в этой области экспериментальные лекарственные препараты, содержащие перфтордекалин (ПФД) – биологически инертный перфторуглерод с высокой растворяющей способностью в отношении газов, в частности кислорода, превышающей показатели дистиллированной воды в 16–20 раз [1, 4]. Доклинически доказана эффективность эмульсий, содержащих ПФД, при наружном применении – их использование восстанавливает нормоксию в тканях и стимулирует синтез коллагена [4–6].

Вместе с тем восстановление тканевой оксигенации не обеспечивает полноценной регенерации: необходима нейтрализация накопленных при гипоксии АФК и стимуляция репаративных клеточных процессов. С этой точки зрения представляет интерес трипептид меди (Гли-Гис-Лиз·Cu²⁺) – хелатный комплекс ионов меди(II) и трипептида глицил-L-гистидил-L-лизина – эндогенный регулятор гомеостаза кожи [7]. Фармакологическое действие трипептида меди реализуется через ряд молекулярных механизмов: хелатирование ионов Cu²⁺ ингибирует реакцию Фентона и перекисное окисление липидов клеточных мембран; активация VEGF и bFGF стимулирует неоваскуляризацию и пролиферацию фибробластов [7–9].

Сочетание ПФД и трипептида меди в одном лекарственном препарате патогенетически обоснованно: ПФД устраняет гипоксию тканей, предупреждая развитие клеточного повреждения, тогда как трипептид меди нейтрализует последствия уже реализованного повреждения и запускает регенеративные процессы в клетках. Однако включение указанных ДВ в лекарственные препараты сопряжено с технологической проблемой: молекулы ПФД одновременно гидро- и липофобны, а молекулы трипептида меди – гидрофильны, что затрудняет образование стабильных эмульсий без вспомогательного носителя [1, 4, 10, 11]. В качестве такого носителя перспективны липосомы – сферические носители, образованные фосфолипидным бислоем. Структурное сходство их бислойной мембраны с биологическими мембранами клеток обеспечивает высокую биосовместимость и проницаемость через кожу при инкапсуляции ДВ, таких как ПФД и трипептид меди, в липосомальную форму [12, 13].

Цель работы – оценка морфологии и стабильности суспензии липосом, содержащих перфтордекалин и трипептид меди (Гли-Гис-Лиз·Cu²⁺) в качестве действующих веществ.

Для получения суспензии липосом соевый лецитин (175 мг) и холестерин (60 мг) растворяли в 96%-м водном растворе этилового спирта (2 см³) при 55 °С на магнитной мешалке (600 об/мин, 10 мин). Водную фазу готовили на основе фосфатного буферного раствора (рН = 7,4) с предварительно эмульгированным ПФД (50 мкл): ПФД диспергировали с соевым лецитином (5 мг) при интенсивном перемешивании (1000 об/мин, 5 мин) с последующей экструзией на ручном экструдере «Avestin LiposoFast-Basic». В водную фазу вносили трипептид меди (1 мг/см³). Раствор лецитина и холестерина вводили шприцем в водную фазу (55 °С, 600 об/мин) со скоростью 0,5 см³/мин. Для однородности размера липосом проводили экструзию полученной суспензии на экструдере «Avestin LiposoFast-Basic» через поликарбонатную мембрану с диаметром пор 200 нм (55 °С).

Определение рН проводили потенциометрическим методом на иономере «Эксперт-001-1» согласно ОФС.1.2.1.0004 в точках 0, 7, 14 и 30 сут. [14].

Для оценки эффективности инкапсуляции (включения ДВ в липосомы) проводили удаление невключенных ДВ: полученную суспензию липосом подвергали диализу против фосфатного буферного раствора (48 ч, 4 °С). Содержание ПФД определяли гравиметрически после разрушения везикул изопропанолом и трехкратной экстракции гексаном (0,5 см³) с упариванием органической фракции при 40 °С. Концентрацию трипептида меди определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре «UNICO 2800» при $\lambda = 246$ нм [15, 16].

Для оценки седиментационной устойчивости образцы центрифугировали (3000 об/мин, 15 мин) согласно ОФС.1.4.2.0029; объем осадка оценивали визуально и относили к общему объему суспензии [17].

Морфологию липосом исследовали методом световой микроскопии на биологическом микроскопе «Микромед-3 вар. 2-20» с видеоокуляром «TourCam UCMOS05100KPA»; препараты готовили методом раздавленной капли на предметном стекле.

Для оценки стабильности в условиях хранения образцы выдерживали при 4 °С и 25 °С в течение 30 сут согласно [18]. В интервалах 0, 7, 14 и 30 сут регистрировали значения рН и оценивали седиментационную устойчивость.

В результате исследования морфологии липосом в препарате зафиксированы преимущественно сферические частицы полидисперсного распределения. Кластерообразование и кристаллические включения отсутствуют, что свидетельствует о формировании липосомальной структуры (рис.).



Рис. Оптическая микроскопия суспензии липосом (соевый лецитин/холестерин, инкапсулированные перфтордекалином и трипептидом меди (Гли-Гис-Лиз·Cu²⁺), метод этанольной инъекции), ×400, светлое поле

Установлено, что pH полученной суспензии липосом не превышал $7,2 \pm 0,1$ на всех сроках наблюдения. Эффективность инкапсуляции ПФД составила $(68 \pm 4)\%$, трипептида меди – $(22 \pm 3)\%$, что согласуется с опубликованными данными для аналогичных экспериментальных препаратов [10, 19]. Низкая эффективность инкапсуляции трипептида меди обусловлена гидрофильностью ДВ: значительная его часть остается в водной фазе липосомальной суспензии.

В ходе оценки седиментационной устойчивости установлено, что объем осадка после центрифугирования не превысил 1% от общего объема в течение 14 сут. при 4 °С, что соответствует нормативным значениям [17]. При 25 °С к 30 сут отмечено незначительное увеличение осадка (до 2%), не влияющее на потребительские свойства.

Результаты исследования свидетельствуют о возможности разработки лекарственных препаратов для наружного применения с включением полученных липосомальных форм: инкапсуляция ПФД и трипептида меди в липосомы повышает физическую стабильность системы и обеспечивает проникновение ДВ через роговой слой кожи; совместное включение ПФД и трипептида меди обеспечивает комплексное регенеративное действие при наружном применении.

Библиографический список

1. Vichare R., Janjic J. Perfluorocarbon nanoemulsions in drug delivery: design, development, and manufacturing. DOI: 10.7150/thno.103820 // Theranostics. 2025. Vol. 15. No. 7. P. 3013–3034.
2. Mohanto N., Park J.-Y., Kim J.-O. Therapeutic delivery of oxygen using artificial oxygen carriers. DOI: 10.1186/s12951-024-03060-9 // J. Nanobiotechnol. 2025. Vol. 23. Article No. 25.

3. Han X., Ju L. S., Irudayaraj J. Oxygenated Wound Dressings for Hypoxia Mitigation and Enhanced Wound Healing. DOI: 10.1021/acs.molpharmaceut.3c00352 // *Mol. Pharmaceutics*. 2023. Vol. 20. No. 8. P. 3801–3824.
4. Mystkowska J., Prokopczyk G., Łysik D. Influence of perfluorodecalin content on the physicochemical properties of perfluorocarbon emulsions. DOI: 10.2478/ama-2024-0076 // *Acta Mechanica et Automatica*. 2024. Vol. 18. No. 4. P. 482–488.
5. Roth J. Topical oxygen for wound care and skin rejuvenation. DOI: 10.36849/JDD.2020.4728 // *J. Drugs Dermatol*. 2020. Vol. 19. No. 3. P. 250–253.
6. Perfluorodecalin-based oxygenated emulsion as a topical treatment for chemical burn to the eye / S. Li, K. Pang, S. Zhu, et al. DOI: 10.1038/s41467-022-35241-1 // *Nat. Commun*. 2022. Vol. 13. Article No. 7371.
7. Lau W. K. W., Leung P. C. The potential of GHK as an anti-aging peptide. DOI: 10.3390/antiox9040337 // *Antioxidants*. 2020. Vol. 9. No. 4. Article No. 337.
8. Exploring the beneficial effects of GHK-Cu on an experimental model of colitis and the underlying mechanisms / S. Mao, J. Huang, J. Li, et al. DOI: 10.3389/fphar.2025.1551843 // *Front. Pharmacol*. 2025. Vol. 16. Article No. 1551843.
9. Effects of GHK peptide and its structural analogues on dynamics of healing and bacterial contamination of infected wound / K. K. Rakhmetova, I. I. Bobyntsev, L. V. Zhilyayeva, et al. DOI: 10.17816/pavlovj15471 // *I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2024. Vol. 32. No. 4. P. 463–472.
10. Liposomes as carriers of GHK-Cu tripeptide for cosmetic application / M. Dymek, K. Olechowska, K. Hac-Wydro, E. Sikora DOI: 10.3390/pharmaceutics15102485 // *Pharmaceutics*. 2023. Vol. 15. No. 10. Article No. 2485.
11. GHK-Cu/Pionin-loaded in situ electrospun PVB/PVP smart dressing promotes wound healing / Q. Wang, R. Chen, X. Li et al. DOI: 10.1016/j.cej.2024.154322 // *Chem. Eng. J*. 2024. Vol. 498. Article No. 154322.
12. Eugster L., Lucian P. Liposomes: bridging the gap from lab to pharmaceuticals. DOI: 10.1016/j.cocis.2024.101875 // *Curr. Opin. Colloid Interface Sci*. 2025. Vol. 75. Article No. 101875.
13. Herdiana Y. Bridging the gap: the role of advanced formulation strategies in the clinical translation of nanoparticle-based drug delivery systems. DOI: 10.2147/IJN.S554821 // *Int. J. Nanomed*. 2025. Vol. 20. P. 13039–13053.
14. ОФС.1.2.1.0004. Ионметрия [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-2/1-2-1/ionometriya/?ysclid=mpxoi4dvyp806438145> (дата обращения: 11.04.2026).
15. Expression and purification of recombinant GHK tripeptides and evaluation of their biological activities / Y. Zhang, W. Ma, D. Li, et al. DOI: 10.1007/s00253-020-10832-y // *Appl. Microbiol. Biotechnol*. 2020. Vol. 104. No. 19. P. 8147–8158.
16. Dymek M., Wilk K. A. Glycyl-L-Histidyl-L-Lysine-Cu⁽²⁺⁾ loaded liposome formulations. DOI: 10.12991/201014455 // *Marmara University Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2010. Vol. 14. No. 2. P. 107–114.
17. ОФС.1.4.2.0029. Седиментационная устойчивость [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-4/1-4-2/sedimentatsionnaya-ustoychivost-/?ysclid=mpxogmm4zx357863774> (дата обращения: 11.04.2026).
18. ОФС.1.1.0009. Стабильность и сроки годности лекарственных средств [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-1/stabilnost-i-sroki-godnosti-lekarstvennykh-sredstv/?ysclid=mpxohh16r2395526623> (дата обращения: 11.04.2026).

19. Novel applications of CE-ICP-MS/MS: monitoring of antiaging GHK-Cu cosmetic component encapsulation in liposomes / J. Zajda, E. Wadych, K. Ogorek, et al. DOI: 10.1002/elps.202400047 // Electrophoresis. 2024. Vol. 45. No. 21–22. P. 1946–1954.

СОДЕРЖАНИЕ АНТИОКСИДАНТОВ В ЛИСТЬЯХ И ПЛОДАХ ОБЛЕПИХИ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. А. Галашева, А. И. Фокина, С. С. Козачок, Т. А. Адамович
*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, ivanov@gmail.com*

В статье представлены результаты определения содержания антиоксидантов методом инверсионной вольтамперометрии в плодах и листьях облепихи крушиновидной, произрастающей на территории Кировской области. Экспериментальные данные подтверждают значительный потенциал облепихи и обосновывают целесообразность ее дальнейшего изучения и использования в медицинских, фармацевтических и пищевых целях.

Ключевые слова: облепиха крушиновидная, антиоксиданты, инверсионная вольтамперометрия.

Стресс и попадание в организм далеко не безобидных веществ (загрязнителей окружающей среды, антибиотиков, в составе лекарств и пищевых продуктов и т. д.) провоцируют появление окислительного стресса в организме. Снизить уровень агентов, вызывающих окисление в организме, помогают антиоксиданты (АО). Они могут быть как природного, так и синтетического происхождения. Известно, что соединения природного происхождения вызывают меньше побочных эффектов. А поступление их в организм в составе продуктов считается оптимальной формой.

Облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides* L.) по праву считается одним из ценнейших поливитаминных растений отечественной флоры. Ее плоды и листья являются природной кладовой биологически активных веществ (БАВ), включающих витамины (С, Е, К, группы В), каротиноиды, флавоноиды, фенолокислоты, жирные масла с уникальным составом, микро- и макроэлементы. Препараты на основе облепихи находят широкое применение в медицине, фармакологии, косметологии и пищевой промышленности благодаря противовоспалительному, антиоксидантному, ранозаживляющему и общеукрепляющему действию [1].

На территории Кировской области растение широко распространено, а ягоды растения давно себя зарекомендовали как источник полезных веществ, в том числе и АО. Однако отсутствуют литературные данные о содержании этой группы веществ в плодах и листьях облепихи на указанной территории произрастания.

Целью работы было определение количества антиоксидантов в ягодах и листьях облепихи крушиновидной, произрастающей на территории Кировской области.

Плоды облепихи крушиновидной собраны в конце августа – начале сентября 2025 г/ из нескольких мест на территории Кировской области: г. Слободской, пгт Оричи, пос. Ганино (вблизи г. Кирова), пгт Стрижи (Оричевский р-н), д. Подсобное (Слободской район), пос. Захарищевы (вблизи г. Кирова), с. Чистополье (Котельничский район) и г. Вятские Поляны. Образцы ягод отобраны с кустарников, которые растут на участках, не подвергающихся агротехнологическому воздействию. Высушены при температуре 50 ± 5 °С в термостате и измельчены в лабораторном измельчителе. Содержание АО в ягодах определено методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе «Экотест-ВА» (Россия) в вытяжках 70% и 96% водно-спиртовыми растворами. В качестве стандарта использован кверцетин [2], а в качестве модели активной формы кислорода – пероксид водорода. Методика валидирована для экстрактов облепихи по характеристике линейность и повторяемость.

В ягодах облепихи содержание АО (70% спирт) колеблется от $46,3 \pm 2,9$ мг/г (пгт Оричи) до $66,2 \pm 4,1$ мг/г (пос. Ганино) и от $11,7 \pm 0,7$ мг/г (г. Вятские Поляны) до $25,2 \pm 1,6$ мг/г (пгт Оричи) при экстракции 96% спиртом. В листьях облепихи содержание АО (70% спирт) колеблется от $29,6 \pm 1,3$ мг/г (д. Подсобное – Слободской район) до $48,9 \pm 2,1$ мг/г (г. Слободской) и от $22,6 \pm 1,0$ мг/г (пгт Стрижи (Оричевский район) до $46,1 \pm 1,9$ мг/г (г. Слободской) при экстракции 96% спиртом (табл.).

Таблица

**Содержание антиоксидантов
в плодах и листьях облепихи крушиновидной, мг/г**

Местность	Плоды		Листья	
	Концентрация спирта в вытяжке		Концентрация спирта в вытяжке	
	70%	96%	70%	96%
г. Вятские Поляны	$58,7 \pm 3,7$	$11,7 \pm 0,7$	$47,6 \pm 2,0$	$42,2 \pm 1,8$
пос. Ганино	$66,2 \pm 4,1$	$12,2 \pm 0,8$	$38,6 \pm 1,6$	$36,1 \pm 1,5$
г. Слободской	$57,9 \pm 3,6$	$13,2 \pm 0,8$	$48,9 \pm 2,1$	$46,1 \pm 1,9$
пгт Оричи	$46,3 \pm 2,9$	$25,2 \pm 1,6$	$42,2 \pm 1,8$	$29,9 \pm 1,3$
пгт Стрижи	$62,8 \pm 3,9$	$16,9 \pm 1,1$	$30,0 \pm 1,3$	$22,6 \pm 1,0$
с. Чистополье	$48,2 \pm 3,0$	$14,4 \pm 0,9$	$39,7 \pm 1,7$	$37,3 \pm 1,6$
д. Подсобное	$61,9 \pm 3,9$	$16,1 \pm 1,0$	$29,6 \pm 1,3$	$26,6 \pm 1,1$

Установлено, что 70% спиртом, как из ягод, так и из листьев экстрагируется больше АО, чем 96% (табл.). Для вариантов с ягодами это отличие выражено в большей степени (в 2–5 раз больше экстрагируется в 70% спирт, чем в 96%), чем для листьев. Между значениями в содержании АО, экстрагируемыми из листьев спиртовыми растворами с разной концентрацией, в большинстве вариантов не наблюдается достоверных отличий. Данный факт указывает на наличие в ягодах существенной доли водорастворимых АО (напри-

мер, фенольные кислоты). Витамин С не берем во внимание, так как АО определены в вытяжках после 2-часового кипячения. В 70% спирт переходит больше АО из ягод, а в 96% – из листьев.

В литературе достаточно много данных о содержании АО в ягодах различных сортов облепихи. Содержание данной группы веществ может колебаться от десятков до тысяч мг/100 г [3]. Кроме того, в работах ряда авторов представлены иные методы анализа: спектрофотометрия, потенциометрия, хроматография и некоторые другие [1, 4]. В связи с этим данные сравнивать затруднительно. Можно сделать вывод о том, что облепиха, произрастающая на территории Кировской области, не уступает объектам анализа, указанным в литературе, а иногда превосходит.

Таким образом, экспериментальные данные подтверждают значительный потенциал облепихи, произрастающей в Кировской области, и обосновывают целесообразность ее дальнейшего изучения и использования в медицинских, фармацевтических и пищевых целях.

Библиографический список

1. Верховых Е. А., Блинникова О. М., Ильинский А. С. Биохимическая оценка различных сортов облепихи как ценнейшего источника биологически активных веществ. DOI: 10.24412/2311-6447-2024-1-30-35 // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2024. № 1. С. 30–35.
2. МУК 4.1.1501-03. Инверсионно-вольтамперометрическое измерение концентрации цинка, кадмия, свинца и меди в пищевых продуктах и продовольственном сырье. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003.
3. Нилова Л. П., Малютенкова С. М. Антиоксидантные комплексы облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) Северо-Запада России // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 108–114.
4. Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) – источник биоактивных веществ / А. Б. Хасенова, А. Н. Аралбаева, Р. С. Утегалиева и др. // Вестник Алматинского технологического университета. 2020. № 1. С. 82–88.

ОЦЕНКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАЗИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ЭФИРНОЕ МАСЛО ЧУБУШНИКА ОБЫКНОВЕННОГО

А. С. Ефремова, Т. А. Адамович

*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, aruinaefremova3235@yandex.ru*

В статье приведены результаты экспериментального изучения физико-химических показателей мази, содержащей эфирное масло, полученное из цветов чубушника обыкновенного методом гидродистилляции. Определены физико-химические константы мази: интегральная токсичность, рН, перекисное и кислотное числа. Сделан вывод о стабильности и эффективности применения мази при борьбе с заболеваниями, требующими для лечения анти-микробного эффекта.

Ключевые слова: мазь, эфирное масло, цветки, чубушник обыкновенный, токсичность, перекисное число, кислотное число.

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к возврату к природным источникам лекарственных средств. Однако, как справедливо отмечается в авторитетных источниках, тот факт, что вещество имеет природное происхождение, не означает автоматически его безопасность и эффективность. Следовательно, для использования растительных компонентов в медицине необходимо расширять и углублять существующие знания о них, проводя тщательные исследования их показателей [1]. Выбор объекта исследования – чубушника обыкновенного (*Philadelphus coronarius* L.) – является особенно актуальным. Несмотря на то, что это растение имеет давнюю историю применения в народной медицине, его научное изучение находится на начальном этапе. Выраженное влияние фитосоединений на физиологические процессы в сочетании с доступностью и возобновляемостью природных ресурсов позволяет рассматривать растения в качестве перспективной основы для создания безопасных и эффективных лекарственных средств [2].

Мази являются одной из наиболее распространенных мягких лекарственных форм благодаря простоте применения и возможности как местного, так и системного воздействия. Государственная фармакопея РФ определяет мази как лекарственные формы для нанесения на кожу, раны и слизистые оболочки.

Ключевым направлением современной фармацевтической разработки является биофармация, исходящая из того, что терапевтическая активность препарата зависит от совокупности свойств действующего вещества и характеристик вспомогательных компонентов [3].

Масло ши – твердый растительный жир, содержащий триглицериды и неомыляемые липиды (фитостеролы, токоферолы); обладает регенерирующими и противовоспалительными свойствами, способствует восстановлению барьерной функции кожи [4]. Масло жожоба – жидкий воскообразный эфир, по составу близкий к кожному себуму [5]; характеризуется высокой проникающей способностью и улучшает трансдермальную доставку активных веществ [6]. Воск рисовых отрубей – натуральный воск, содержащий сложные эфиры высших жирных кислот, фитостеролы и феруловую кислоту [7]; обеспечивает пластичность и гомогенность мази, усиливает барьерные свойства основы. Композиция твердых (масло ши, воск рисовых отрубей) и жидкого (масло жожоба) компонентов позволяет получить пластичную, стабильную лекарственную форму с оптимальными органолептическими свойствами. Все три компонента обладают собственными биологически активными свойствами, что создает синергический эффект с действующим веществом, а их натуральное происхождение и гипоаллергенность соответствуют требованиям безопасности для наружных лекарственных средств.

Целью работы является изучение физико-химических показателей мази с добавлением эфирного масла чубушника обыкновенного в качестве

действующего вещества и оценка качества полученного лекарственного препарата.

Заготовку сырья проводили в конце июня 2025 г. в Слободском районе Кировской области. Выбор данного периода обусловлен наступлением фазы цветения исследуемого растения в условиях данной географической широты.

Эфирное масло чубушника обыкновенного было получено методом гидродистилляции – метода паровой дистилляции, используемого для извлечения эфирных масел и других летучих соединений из растительного сырья. Основная особенность данного метода – непосредственный контакт растительного сырья с кипящей водой. Высвобождение эфирного масла происходит при нагревании, что разрушает клеточную стенку растений. Эфирное масло конденсируется совместно с водой и отделяется от нее путем декантации.

Метод определения интегральной токсичности основан на регистрации изменения интенсивности биолюминесценции бактерий в анализируемой пробе по сравнению с контрольным образцом. В качестве тест-объекта использовали биолюминесцентные штаммы *Escherichia coli*. Степень снижения биолюминесцентного сигнала коррелирует с величиной токсического эффекта, обусловленного присутствием химических веществ в пробе. Суть метода заключается в титриметрическом определении перекисных соединений, образующихся при окислении жиров и масел. Перекисное число соответствует количеству иода, выделившегося из иодида калия под действием перекисей, и выражается в миллимолях активного кислорода на килограмм вещества [8]. Метод определения кислотного числа основан на титровании свободных кислот, содержащихся в навеске эфирного масла, спиртовым раствором гидроксида калия в присутствии индикатора фенолфталеина [9].

Результаты исследований приведены в таблице.

Таблица

**Физико-химические показатели мази, содержащей эфирное масло
из цветков чубушника обыкновенного**

Интегральная токсичность (по отношению к <i>Escherichia coli</i>), %	pH	Перекисное число, ммоль/кг	Кислотное число, мг KOH/г
94,4±1,2	5,5–6,0	0,41	3,81

Показатель ингибирования роста *Escherichia coli* составил 94,4±1,2%, что свидетельствует о высокой антибактериальной активности исследуемого образца. Столь выраженное подавление жизнедеятельности тест-штамма позволяет рассматривать разработанную мазь как перспективное средство для наружного применения в терапии поражений кожи, вызванных грамотрицательными микроорганизмами.

Перекисное число измеряет количество первичных продуктов окисления, таких как перекиси и гидроперекиси, которые образуются при прогоркании жиров. Перекисное число составило 0,41 ммоль/кг, что является низким показателем и свидетельствует о высокой стабильности и правильных усло-

виях хранения мази. Также отмечается, что мазь не будет оказывать дополнительного раздражающего действия за счет небольшого количества в ней продуктов окисления жиров.

Кислотное число показывает, что для нейтрализации свободных жирных кислот, содержащихся в 1 г мази, потребовалось 3,81 мг гидроксида калия. По данным Государственной фармакопеи РФ кислотное число для мазей не должно превышать 10–15 мг КОН/г [9]. Следовательно, полученный показатель является низким, что свидетельствует о том, что процесс гидролиза либо не начался, либо находится в начальной стадии. Наличие кислот, особенно в таком небольшом количестве, не влияет на лечебные (антимикробные) свойства, если таковые имеются в мази. Таким образом, кислотное число указало на то, что мазь стабильна и хранилась в допустимых условиях, а процессы окисления находятся в пределах допустимой нормы.

В результате проведенных исследований был определен комплекс физико-химических констант мази, содержащей эфирное масло из цветков чубушника обыкновенного: интегральная токсичность, рН, перекисное и кислотное числа. Полученные данные позволяют заключить, что разработанная мазь обладает высокой антимикробной активностью, стабильна при хранении и безопасна для наружного применения.

Библиографический список

1. Topical dosage formulation of lyophilized *Philadelphus coronaries* L. leaf and flower: antimicrobial, antioxidant and anti-inflammatory assessment of the plant / A. Pallag, T. Jurca, E. Marian, et al. DOI: 10.3390/molecules27092652 // Molecules. 2022. Vol. 27. No. 9. Article No. 2652.
2. Наркевич И. А., Лужанин В. Г., Карташова Н. С. Фитофармацевтическая платформа как основа для поиска и разработки новых фармацевтических субстанций // III Гаммермановские чтения : сб. науч. трудов науч.-методической конф. (г. Санкт-Петербург, 31 января – 03 февраля 2017 г.) СПб. : ФГБОУ ВПО СПбГФХА Минздрава РФ, 2017. С. 7–9.
3. ОФС.1.4.1.0008. Мягкие лекарственные формы [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-4/1-4-1-lekarstvennyye-formy/myagkie-lekarstvennyye-formy/?ysclid=mpxnn72ooq776212350> (дата обращения: 15.04.2026).
4. Anti-inflammatory and chemopreventive effects of triterpene cinnamates and acetates from shea fat / T. Akihisa, N. Kojima, N. Katoh, et al. DOI: 10.5650/jos.59.273 // J. Oleo Sci. 2010. Vol. 59. No. 6. P. 273–280.
5. Wisniak J. The chemistry and technology of jojoba oil. Champaign : AOCS Press, 1987. 272 p.
6. Passive enhancement of retinol skin penetration by jojoba oil measured using the Skin-PAMPA: a pilot study / J. V. Gruber, N. Terpak, S. Massard, et al. DOI: 10.2147/CCID.S391667 // Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology. 2023. Vol. 16. P. 317–324.
7. A process for the preparation of food-grade rice bran wax and the determination of its composition / S. R. Vali, Y. H. Ju, T. N. B. Kaimal, Y. T. Chern. DOI: 10.1007/s11746-005-1043-z // J. Am. Oil Chem. Soc. 2005. Vol. 82. No. 1. P. 57–64.
8. ОФС.1.2.3.0007. Пероксидное число [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-2/1-2-3-metody->

kolichestvennogo-opredeleniya/peroksidnoe-chislo/?ysclid=mpxoa521m8840756117 (дата обращения: 15.04.2026).

9. ОФС.1.2.3.0004. Кислотное число [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-2/1-2-3-metody-kolichestvennogo-opredeleniya/kislotnoe-chislo/?ysclid=mpxocgtvlh965895889> (дата обращения: 15.04.2026).

ВЛИЯНИЕ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ НА СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПЛОДАХ ЖИМОЛОСТИ ГОЛУБОЙ

К. С. Зубкова, Д. В. Петухов
*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, zubkova-ksyu@inbox.ru*

В работе исследовано влияние длительной криогенной обработки на содержание дубильных веществ, флавоноидов, антоцианов и гидроксикоричных кислот в плодах двух сортов жимолости съедобной – «Союз» и «Голубое веретено». Показано, что максимальные концентрации всех изученных групп биологически активных веществ (БАВ) сосредоточены в кожуре плодов. Установлено, что криогенная обработка приводит к незначительному снижению содержания фенольных соединений, при этом наиболее стабильными оказались флавоноиды, а наименее – антоцианы и гидроксикоричные кислоты. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности использования криоконсервации для сохранения биологической ценности ягод жимолости.

Ключевые слова: *Lonicera caerulea* L., жимолость голубая, криогенная обработка, дубильные вещества, флавоноиды, антоцианы, гидроксикоричные кислоты.

В современных условиях развития пищевой и фармацевтической промышленности особую актуальность приобретает разработка методов сохранения и повышения биологической ценности растительного сырья, при этом криогенная обработка является одним из перспективных направлений в этой области [1].

Жимолость голубая (*Lonicera caerulea* L.) представляет собой ценный источник природных антиоксидантов, витаминов и других биологически активных соединений [2]. Ее плоды содержат значительное количество фенольных соединений, включая флавоноиды и антоцианы, которые определяют их антиоксидантные свойства [3]. Антоцианы выступают ключевыми пигментами, обеспечивающими характерную окраску плодов, и обладают выраженной антиоксидантной активностью [4].

Цель работы – определить содержание биологически активных компонентов в прошедших длительную заморозку плодах жимолости сортов «Союз» и «Голубое веретено».

Объектом исследования являются ягоды жимолости голубой сортов «Союз» и «Голубое веретено». Место произрастания объекта – теплицы Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (Российская Федерация, Кировская область, г. Киров). Сбор урожая производился летом 2025 г. Тогда же плоды были промыты, поверхностно высушены, заморожены при температуре -18°C . Первый раз плоды проанализированы в ноябре 2025 года (спустя 5 мес. хранения), далее – в марте 2026 г. Анализу подвергали целые ягоды, а также отдельно кожуру и мякоть.

Содержание дубильных веществ определяли методом перманганатометрии (в пересчете на танин) согласно [5]; содержание флавоноидов – спектрофотометрическим методом с хлоридом алюминия при 410 нм (в пересчете на рутин) согласно [6]. Содержание антоцианов определяли спектрофотометрическим методом при 510 нм (в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид) согласно [7]. Содержание гидроксикоричных кислот определяли УФ-спектрофотометрией при 328 нм (в пересчете на хлорогеновую кислоту) [8]. Влажность определяли (сушка при $100\text{--}105^{\circ}\text{C}$) согласно [9].

Установлено, что для всех изученных групп БАВ характерно неравномерное распределение: максимальные концентрации зафиксированы в кожуре, минимальные – в мякоти (табл. 1). Данная закономерность согласуется с современными представлениями о распределении вторичных метаболитов в мясистых плодах, согласно которым максимальные концентрации полифенолов часто наблюдаются в кожуре плода, выполняющей защитную функцию от УФ-излучения и патогенов [10].

Таблица 1

**Содержание БАВ в плодах жимолости (ноябрь 2025 г.),
% на абсолютно сухое сырье**

Сорт, часть плода	Дубильные вещества	Флавоноиды	Антоцианы	Гидроксикоричные кислоты
«Голубое веретено»:				
цельная ягода	$5,383 \pm 0,133$	$1,117 \pm 0,015$	$2,580 \pm 0,020$	$0,978 \pm 0,010$
кожура	$7,043 \pm 0,120$	$2,257 \pm 0,015$	$4,727 \pm 0,032$	$1,238 \pm 0,008$
мякоть	$4,430 \pm 0,139$	$0,483 \pm 0,015$	$0,943 \pm 0,015$	$0,808 \pm 0,010$
«Союз»:				
цельная ягода	$2,898 \pm 0,141$	$1,003 \pm 0,021$	$1,220 \pm 0,017$	$0,837 \pm 0,012$
кожура	$4,590 \pm 0,139$	$1,950 \pm 0,036$	$4,237 \pm 0,015$	$1,353 \pm 0,015$
мякоть	$2,457 \pm 0,136$	$0,325 \pm 0,002$	$0,673 \pm 0,031$	$0,683 \pm 0,006$

Содержание дубильных веществ в кожуре сорта «Голубое веретено» в 1,6 раза выше, чем в мякоти; флавоноидов – в 4,7 раза; антоцианов – в 5,0 раз. Сорт «Голубое веретено» по всем показателям превосходит сорт «Союз», особенно по содержанию дубильных веществ (в 1,85 раза в целой ягоде) и антоцианов (в 2,1 раза), что соответствует литературным данным о значительной вариабельности химического состава в зависимости от сорта [11].

После 4 мес. хранения в замороженном состоянии отмечено снижение содержания всех групп БАВ, однако степень потерь варьирует (табл. 2).

Таблица 2

**Изменение содержания БАВ после криохранения (март 2026 г.),
% от исходного уровня**

Сорт	Дубильные вещества	Флавоноиды	Антоцианы	Гидроксикоричные кислоты
«Голубое веретено» (цельная ягода)	92,9	96,1	94,3	87,6
«Союз» (цельная ягода)	93,9	97,7	97,3	93,8

Наиболее стабильными оказались флавоноиды (сохранность 96–98%), что объясняется образованием стабильных комплексов с другими фенольными соединениями [12]. Дубильные вещества и антоцианы сохранились на 93–97%. Наибольшие потери зафиксированы для гидроксикоричных кислот – до 12,4% у сорта «Голубое веретено», что, вероятно, связано с их строением и способностью к цис-транс-изомеризации [13].

Сравнительный анализ с данными по другим ягодным культурам показывает, что степень сохранения антоцианов в жимолости сопоставима с таковой для черной смородины при длительном замораживании [14]. Как отмечено в исследованиях на плодах черешни, сохранность качественных показателей зависит от сорта и способа замораживания [15].

В плодах жимолости голубой сортов «Союз» и «Голубое веретено» основные группы БАВ (дубильные вещества, флавоноиды, антоцианы, гидроксикоричные кислоты) распределены неравномерно: максимум – в кожуре, минимум – в мякоти, что соответствует защитной функции наружных тканей плода [10].

Сорт «Голубое веретено» характеризуется более высоким содержанием всех изученных БАВ по сравнению с сортом «Союз», что делает его предпочтительным для криоконсервации с целью получения функциональных ингредиентов.

Длительная криогенная обработка (5 мес. при –18 °С) приводит к частичным, но приемлемым потерям БАВ (3–12%). Наиболее устойчивы флавоноиды, наименее – гидроксикоричные кислоты.

Криоконсервация может быть рекомендована как щадящий метод хранения ягод жимолости, обеспечивающий сохранность до 90–95% исходного содержания антиоксидантных соединений, что согласуется с данными о влиянии замораживания на растительное сырье [16].

Библиографический список

1. Берестова А. В., Зинюхин Г. Б., Манеева Э. Ш. Особенности криообработки растительного сырья // Вестник ОГУ. 2015. № 9 (184). С. 34–38.
2. Исследование антиоксидантных свойств жимолости / Н. В. Макарова, Э. В. Мусифуллина, А. Н. Дмитриева и др. // Пищевая промышленность. 2012. № 12. С. 56–58.

3. Phenolic compounds, vitamins C and E and antioxidant activity of edible honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* L. var. *kamtschatica* Pojark) in relation to their origin / J. Orsavová, I. Sytařová, J. Mlček, L. Mišurcová. DOI: 10.3390/antiox11020433 // Antioxidants (Basel). 2022. Vol. 11. No. 2. Article No. 433.
4. Network pharmacology approach for medicinal plants: review and assessment / F. Noor, M. Tahir ul Qamar, U. A. Ashfaq, et al. DOI: 10.3390/ph15050572 // Pharmaceuticals. 2022. Vol. 15. Article No. 572.
5. ОФС.1.5.3.0008. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных средствах растительного происхождения [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=mpxpko2nkm109735948 (дата обращения: 15.04.2026).
6. ФС.2.5.0064.18. Шиповника плоды [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia-projects/izdanie-15/opredelenie-aktivnosti-eritropoetinov/?vers=6153> (дата обращения: 18.04.2026).
7. ФС.2.5.0050.15. Черники обыкновенной плоды [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-5/2-5-5/2-5-5-5-3/2-5-5-5-3-7/opredelenie-plody-vaccinii-myrtillifructus/> (дата обращения: 18.04.2026).
8. Разработка методов идентификации и количественного определения гидроксикоричных кислот в плодах *Vaccinium oxycoccus* L. и *Vaccinium macrocarpon* Ait. / В. Ю. Ермакова, О. В. Нестерова, С. В. Кондрашев, В. Н. Матвеев // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2021. Т. 62. № 1. С. 49–53.
9. ОФС.1.5.3.0007.15. Определение влажности лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-13/1/1-5/1-5-3/1-5-3-7/opredelenie-vlazhnosti-lekarstvennogo-rastitelnogo-syrya-i-lekarstvennykh-rastitelnykh-preparatov/> (дата обращения: 18.04.2026).
10. Chromatic symphony of fleshy fruits: functions, biosynthesis and metabolic engineering of bioactive compounds / H. Hu, N. Pradhan, J. Xiao, et al. // Mol. Hortic. 2025. Vol. 5. Article No. 19.
11. Antioxidant and health-related effects of tannins: from agri-food by-products to human and animal health / L. Camarda, R. Budriesi, I. Corazza, et al. DOI: 10.1021/jf503819t // Antioxidants (Basel). 2026. Vol. 15. No. 1. Article No. 104.
12. Panche A. N., Diwan A. D., Chandra S. R. Flavonoids: an overview. DOI: 10.1017/jns.2016.41 // J. Nutr. Sci. 2016. Vol. 5. Article No. e47.
13. Systematic review and comprehensive evaluation of human intervention studies to unravel the bioavailability of hydroxycinnamic acids / G. Pede, P. Mena, L. Bresciani, et al. DOI: 10.1089/ars.2023.0254 // Antioxidants & Redox Signaling. 2023. Vol. 40. P. 510–541.
14. Содержание антоцианов в свежих и длительно замороженных плодах смородины черной (*Ribes nigrum* L.) сортов селекции ФГБНУ ФНЦ садоводства / А. Гузеева, И. А. Капитова, К. В. Павлов и др. // Аграрная наука. 2024. № 11. С. 99–103.
15. Гусейнова Б. М. Изменение показателей качества черешни из Дагестана в зависимости от способов её замораживания, сроков хранения и сортовой принадлежности // Хранение и переработка сельхозсырья. 2024. № 3. С. 42–57.
16. Алехина Н. Н. Влияние способов замораживания на качество зернового хлеба // Хлебопродукты. 2022. № 11. С. 32–36.

ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ МЕТОДОМ ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

С. С. Козачок, А. И. Фокина, А. В. Сазанов
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, dojja@mail.ru

В статье приведен опыт разработки и внедрения методики определения антиоксидантной активности в различном лекарственном сырье методом инверсионной вольтамперометрии (ИВА) на ртутно-пленочном электроде. В качестве модели активных форм кислорода применяли реакцию электровосстановления пероксида водорода. Методика валидирована по характеристикам: линейность, повторяемость, правильность. Рассчитаны предел определения и предел обнаружения.

Ключевые слова: инверсионная вольтамперометрия, антиоксиданты, активные формы кислорода, методические подходы.

Окислительный стресс, обусловленный избыточным накоплением активных форм кислорода (АФК), играет огромную роль в развитии широкого спектра заболеваний, включая сердечно-сосудистые, нейродегенеративные, сахарный диабет и онкологические процессы. Природные антиоксиданты, содержащиеся в различных лекарственных растениях, способны нейтрализовать АФК, что делает их ценными объектами для фармацевтической области. Однако оценка антиоксидантной активности сложных многокомпонентных экстрактов до сих пор остается непростой задачей [1].

Традиционные спектрофотометрические методы (DPPH, ABTS, FRAP) требуют предварительной очистки образцов и чувствительны к окрашенным соединениям. Хемилюминесцентные методы обладают высокой чувствительностью, но часто предполагают использование нестабильных реагентов. Электрохимические методы, в частности вольтамперометрия, позволяют проводить анализ непосредственно в мутных и окрашенных средах, отличаются высокой чувствительностью и воспроизводимостью [2–5].

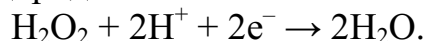
Перспективным подходом является использование реакции электровосстановления пероксида водорода как модели АФК. Добавление исследуемого экстракта, обладающего антиоксидантными свойствами, приводит к снижению тока восстановления H_2O_2 и пропорциональному уменьшению площади пика на вольтамперограмме.

Таким образом, цель работы заключалась в оптимизации методических приемов для определения антиоксидантной активности экстрактов методом инверсионной вольтамперометрии.

Вольтамперометрические измерения проводили на анализаторе «Эко-тест-ВА» (г. Москва, РФ), соединенном с персональным компьютером и управляемым специализированным программным обеспечением.

Использовали стандартную трехэлектродную систему. В качестве рабочего электрода использовали ртутно-пленочный электрод. Пленку ртути накапливали из концентрированного фонового раствора. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод (Ag/AgCl , KCl насыщенный).

На поверхности ртутно-пленочного электрода в фосфатном буфере ($\text{pH} = 6,8$) пероксид водорода восстанавливается по реакции:



Фосфатная система обладает высокой буферной емкостью в интервале pH 5,8–7,8. Выбранный pH (6,8) соответствует среде тонкого кишечника человека (в тощей и подвздошной кишке pH обычно 6,5–7,0). Многие антиоксиданты проявляют разную активность в желудочном ($\text{pH} \sim 1\text{--}2$), кишечном ($\text{pH} \sim 6\text{--}8$) и кровяном (pH 7,4) русле. Использование буфера с pH 6,8 позволяет моделировать взаимодействие антиоксидантов с активными формами кислорода именно в том отделе желудочно-кишечного тракта, где происходит основное всасывание.

На вольтамперограмме возникает характерный катодный пик, площадь которого пропорциональна концентрации H_2O_2 в растворе.

Гидроперит при растворении в воде высвобождает пероксид водорода, который выступает источником АФК. В фосфатном буфере H_2O_2 частично разлагается с образованием гидроксильных радикалов ($\bullet\text{OH}$) и других короткоживущих форм, однако основная его часть остается в молекулярном виде и участвует в электродной реакции.

При добавлении растительного экстракта, содержащиеся в нем антиоксиданты (чаще всего представленные флавоноидами, фенольными кислотами, аскорбиновой кислотой и др.) вступают в конкуренцию за пероксид водорода и/или за промежуточные активные формы кислорода. В результате эффективная концентрация H_2O_2 у поверхности электрода снижается, и площадь катодного пика уменьшается тем сильнее, чем выше антиоксидантная активность экстракта.

В работе использовали этанольные экстракты ежевика гребенчатого (*Hericum erinaceus*), хвойных растений, лишайников, экстракты плодов и листьев облепихи. Сумму антиоксидантов в экстракте рассчитывали в пересчете на стандартные растворы антиоксидантов.

Экспериментально установлены оптимальные условия проведения анализа: фоновый электролит – фосфатный буферный раствор с $\text{pH} = 6,8$ (обеспечивает физиологическую релевантность и стабильность электрохимического сигнала); потенциал накопления ртути – $-1,2$ В (относительно хлорсеребряного электрода сравнения). В качестве стандартов зарекомендовали себя рутины, аскорбиновая и галловая кислоты, абиетиновая кислота и кверцетин. Для всех исследуемых объектов получены удовлетворительные результаты валидации по параметрам линейность, повторяемость и правильность. Расчет пределов определения и обнаружения проводили в соответствии с ОФС.1.1.0012 «Валидация аналитических методик». Предел обнаружения

антиоксидантов составил 0,12 мг/мл, предел количественного определения – 0,36 мг/мл. Полученные значения предела количественного определения свидетельствуют о высокой чувствительности разработанной вольтамперометрической методики.

В работе изучено влияние концентрации ионов Hg^{2+} в диапазоне от $1 \cdot 10^{-8}$ до $2,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л на аналитический сигнал пероксида водорода. Установлено, что снижение концентрации ртути с традиционно используемой $2,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л до $1,3 \cdot 10^{-5}$ моль/л не приводит к статистически значимому изменению работоспособности системы. Воспроизводимость измерений (относительное стандартное отклонение, RSD) при этом остается на уровне, не превышающем 12%. Данный результат позволяет существенно (почти в 20 раз) уменьшить расход токсичной ртути, что повышает экологичность и безопасность методики.

В ходе выполнения работы проведена оптимизация и последующая валидация вольтамперометрической методики количественной оценки антиоксидантной активности растительных экстрактов. В качестве индикаторной реакции выступает катодное восстановление H_2O_2 , подавление которого антиоксидантами экстракта прямо пропорционально их суммарной активности. Данная методика может быть рекомендована для изучения широкого спектра объектов: от экстрактов растений до экстрактов лекарственных форм и самих форм, если они жидкие и водорастворимые.

Библиографический список

1. Шлапакова Т. И., Костин Р. К., Тягунова Е. Е. Активные формы кислорода: участие в клеточных процессах и развитии патологии // Биоорганическая химия. 2020. Т. 46. № 5. С. 466–485.
2. Тринеева О. В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. № 4. С. 180–197.
3. Munteanu I. G., Apetrei C. Analytical methods used in determining antioxidant activity: a review. DOI: 10.3390/ijms22073380 // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22. No. 7. Article No. 3380.
4. Lugonja N., Stanković D. Eco-friendly voltammetric techniques for assessing antioxidant properties in dietary supplements. DOI: 10.3390/compounds5040051 // Compounds. 2025. Vol. 5. No. 4. Article No. 51.
5. Электрохимические методы и приборы для определения антиоксидантов / Д. М. Аронбаев, С. А. Мусаева, С. Д. Аронбаев, А. А. Шертаева. // Молодой ученый. 2017. № 3 (137). С. 16–24.

СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ В ПЛОДАХ ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ф. Д. Круглов, А. И. Фокина, А. Ю. Гаврюшева
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, fe-kruglov@mail.ru

Облепиха имеет в своем составе большое разнообразие биологически значимых веществ, в том числе соединения меди. Медь – жизненно важный микроэлемент. На территории Кировской области облепиха встречается весьма часто, однако данные о содержании меди в плодах облепихи крушиновидной отсутствуют. Поэтому целью исследования было определить содержание меди в образцах ягод облепихи крушиновидной, отобранных из различных районов Кировской области. Установлено, что содержание металла в облепихе колеблется от 2 до 25 мг/кг и не зависит от содержания металла в почве.

Ключевые слова: медь, облепиха крушиновидная, плоды, почва, организм.

Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) – растение семейства лоховых; кустарник или небольшое деревце высотой 1,5–2 метра. Произрастает в умеренных климатических зонах Европы и Азии. Применение плодов облепихи крушиновидной разнообразно: в качестве сырья для фармацевтической отрасли, употребления в пищу в свежем, сухом и консервированном виде и т. д. В ягодах содержится значительное количество пигментов и каротина. Кроме того, в плодах растения найдены витамины групп Е, В и Р, а также эссенциальные кислоты, дубильные вещества, кумарины, флавоноиды, эфирные масла, микроэлементы [1]. Облепиха крушиновидная – источник меди, а медь – важный для здоровья человека микроэлемент. Вместе с железом она участвует в образовании гемоглобина (белка, который доставляет кислород от легких к тканям и органам), поддерживает иммунную и нервную систему, защищает клетки от разрушения свободными радикалами, способствует синтезу коллагена – вещества, необходимого для кожи, суставов и сосудов. В организм медь поступает с пищей. Она всасывается в тонком кишечнике, затем поступает в кровь и переносится в печень. Этот орган выступает как распределительный центр – направляет медь к различным тканям и органам [2].

Однако данные по содержанию меди в плодах облепихи крушиновидной, произрастающей на территории Кировской области, отсутствуют, при том, что актуален контроль уровня этого элемента для обеспечения безопасности и оценки ценности для здоровья человека. Поэтому целью работы являлось определение содержания меди в плодах облепихи крушиновидной, а также в образцах почвы, на которой произрастает исследуемая облепиха.

Плоды облепихи крушиновидной собраны в конце августа – начале сентября 2025 года из нескольких мест на территории Кировской области:

г. Слободской, пгт Оричи, пос. Ганино (вблизи г. Кирова), пгт Стрижи (Оричевский р-н), д. Подсобное (Слободской р-н), пос. Захарищевы (вблизи г. Кирова), с. Чистополье (Котельничский р-н) и г. Вятские Поляны. Образцы ягод отобраны с кустарников, которые растут на участках, не подвергающихся агротехнологическому воздействию. Высушены при температуре 50 ± 5 °С в термостате и измельчены в лабораторном измельчителе. Содержание меди в ягодах определено методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе «Экотест-ВА» (Россия) [3], валовое содержание меди в образцах почвы – методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе марки «Спектр-5» (Россия) [4], pH образцов почвы – методом потенциометрии [5]. Значения количеств меди в исследуемых пробах представлены в таблице.

Таблица

Содержание меди в ягодах облепихи крушиновидной и образцах почвы, отобранных с мест произрастания растений

Место пробоотбора	Cu в ягодах, мг/кг	Почва	
		Cu, мг/кг ПДК(валовое) = 55 мг/кг	pH _{KCl}
г. Слободской	13±5	22±5	6,2±0,1
пгт Оричи	25±8	18±4	5,7±0,1
пос. Ганино (вблизи г. Кирова)	2±1	30±7	6,3±0,1
пгт Стрижи (Оричевский р-н)	4±1	13±3	6,8±0,1
д. Подсобное (Слободской р-н)	5±1	16±4	6,8±0,1
пос. Захарищевы (вблизи г. Кирова)	19±6	27±6	5,6±0,1
с. Чистополье (Котельничский р-н)	21±7	16±4	6,2±0,1
г. Вятские Поляны	9±3	41±12	6,9±0,1

Наибольшее содержание меди обнаружено в пробах плодов облепихи крушиновидной, отобранных на территории пгт Оричи, – 25 ± 8 мг/кг, а наименьшее – в ягодах из пос. Ганино – 2 ± 1 мг/кг. При сравнении этих величин со значениями порога токсичности для человека (200 мг/сутки) и верхнего уровня потребления (5 мг/сутки) [6] получается, что при употреблении облепихи в количестве 100 г взрослый человек получит 0,2–2,5 мг меди. Это составит примерно 10–150% от суточной нормы потребления [6].

В пробах почвы из г. Вятские Поляны установлена максимальная величина содержания меди – 41 ± 12 мг/кг, меньшая – в пробах из пгт Стрижи – 13 ± 3 мг/кг. Данные значения не превышают ПДК. Не установлено зависимости между содержанием меди в почве и плодах облепихи. Влияния кислотности почвы на количество меди в плодах облепихи также не прослеживается.

Библиографический список

1. Соколов С. Я., Замотаев И. П. Справочник по лекарственным растениям. М. : Медицина, 1985. 464 с.
2. Скларевский Л. Я., Губанов И. А. Лекарственные растения в быту. М. : Россельхозиздат, 1986. 272 с.

3. МУК 4.1.1501-03. Инверсионно-вольтамперометрическое измерение концентрации цинка, кадмия, свинца и меди в пищевых продуктах и продовольственном сырье. М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003.
4. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М. : ЦИНАО, 1992. 62 с.
5. ГОСТ Р 58594-2019. Почвы. Метод определения обменной кислотности. М. : Стандартинформ, 2019. 9 с.
6. Нарушения обмена меди (болезнь Вильсона). Клинические рекомендации РФ. 2024 [Электронный ресурс]. – URL: <https://diseases.medelement.com/disease/нарушения-обмена-меди-болезнь-вильсона-кр-рф-2024/18150#attachments> (дата обращения: 06.04.2026).

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ КВЕРЦЕТИНА В ПРИСУТСТВИИ САХАРОЗЫ И КСИЛИТА

*А. А. Крылова, М. П. Шайфлер, А. П. Нилова, А. И. Фокина
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, stud204192@vyatsu.ru*

В статье представлены результаты изучения влияния сахарозы и ксилита на антиоксидантные свойства кверцетина. Ксилит и сахароза усиливают антиоксидантные свойства кверцетина по отношению к пероксиду водорода, но увеличение их концентрации в растворе приводит к уменьшению фармацевтической доступности полифенола.

Ключевые слова: кверцетин, сахароза, ксилит, антиоксиданты, потенциометрия, полифенолы.

В настоящее время все большей популярностью пользуются разнообразные биологически активные добавки, проявляющие антиоксидантные свойства. Действующими компонентами таких препаратов могут быть полифенолы, в частности кверцетин. Кверцетин – одно из наиболее распространенных в растительных объектах биологически активных веществ, обладающее широким спектром полезных свойств, включая антиоксидантную, противовоспалительную, антиканцерогенную и кардиопротекторную активности [1].

Известно, что одним из перспективных подходов к модификации свойств кверцетина является его гликозилирование – присоединение сахарных остатков [2]. Введение углеводного фрагмента в молекулу полифенола способно кардинально изменить его физико-химические характеристики: повысить гидрофильность, стабильность и, как следствие, биологическую доступность.

Таким образом, можно предположить, что такие вспомогательные в лекарственных препаратах, пищевых продуктах, биологически активных добавках вещества, как сахара, влияют на проявление свойств кверцетина, в том числе, антиоксидантных.

Сахароза – это органическое соединение из группы углеводов, относящееся к дисахаридам. Молекула ее состоит из остатков двух моносахаридов: α -глюкозы и β -фруктозы, соединенных гликозидной связью. В природе сахароза широко распространена. Содержится во фруктах, плодах, ягодах, листьях многих растений. Особенно высокое содержание сахарозы наблюдается в сахарной свекле (16–21%) и сахарном тростнике (14–19%). На данный момент сахароза является главным источником сахаров в рационе человека. Сахароза быстро усваивается организмом, что приводит к резкому повышению уровня глюкозы в крови и последующему выбросу инсулина. Это может способствовать развитию инсулинорезистентности и диабета второго типа. Кроме того, избыток сахарозы в рационе может приводить к ожирению, повышению риска сердечно-сосудистых заболеваний. Также сахароза является основной причиной развития кариеса зубов, поскольку бактерии во рту расщепляют ее на кислоты, разрушающие зубную эмаль [3].

Из-за наличия отрицательных свойств сахарозы все большее внимание уделяется ее замене, например, ксилитом.

Ксилит – это многоатомный спирт (полиол), продукт восстановления ксилозы, который в небольших количествах содержится во фруктах и овощах. По органолептическим свойствам он слаще других полиолов, но имеет низкую калорийность (2,5 ккал/г против 4 ккал/г у сахарозы) и низкий гликемический индекс, что делает его безопасным для пациентов с сахарным диабетом [4]. Огромный потенциал ксилита в борьбе с кариесом был впервые обнаружен в 1970-х годах в Финляндии. В настоящее время ксилит рекомендован для профилактики кариеса многими официальными учреждениями. Также проводятся исследования, где ксилит выступает в качестве природного сахарозаменителя в обогащенных полифенолами соках для людей, болеющих сахарным диабетом. Было доказано, что концентрация ксилита в соке облепихи, равная 88–100 г/дм³, повышает активность полифенолов [5].

Однако в литературе недостаточно сведений о влиянии различных сахаров и ксилита, используемых в фармацевтической и пищевой промышленности, на антиоксидантные свойства кверцетина.

Поэтому целью работы стало изучение влияния сахарозы и сахарозаменителя ксилита на антиоксидантные свойства композиций с кверцетином.

Объектами исследования являлись водные растворы ксилита и сахарозы с концентрациями 0,45, 4,50 и 45,00%, которые содержали кверцетин с концентрацией 0,2 мг/мл. Для оценки антиоксидантной активности кверцетина в присутствии ксилита и сахарозы использовали адаптированный потенциометрический метод, основанный на взаимодействии антиоксиданта с медиаторной системой $K_3[Fe(CN)_6]$ / $K_4[Fe(CN)_6]$ (0,00005 / 0,001 н.) в присутствии активных форм кислорода (пероксид водорода) [6]. Потенциал (mV) измеряли до введения в медиаторную систему исследуемого раствора и после введения. Объемы аликвот, используемые в работе: 50 мл раствора медиаторной системы, 1 мл раствора, содержащего кверцетин, 2 мл раствора пероксида водорода (в ячейке концентрация пероксида 0,004 мг/мл).

Методом Кривчинского изучено влияние вспомогательных веществ на диффузию кверцетина из растворов с сахарозой и ксилитом через целлофановую мембрану. Растворы подвергались диализу в течение 90 минут при температуре 22 °С в 50% раствор этилового спирта через целлюлозную мембрану, площадь поверхности которой составляла 7,1 см². Для определения концентрации полифенолов использовали метод спектрофотометрии с реактивом Фолина–Чокальтеу [7].

Результаты потенциометрических измерений показали, что с увеличением концентрации сахарозы и ксилита наблюдается закономерное снижение величины скачка ЭДС, вызванного пероксидом водорода. Поскольку меньшая величина скачка ЭДС свидетельствует о более выраженном антиоксидантном действии, можно заключить, что вещества усиливают антиоксидантную активность кверцетина, причем этот эффект носит концентрационно-зависимый характер: чем выше содержание в системе, тем сильнее снижается окислительный потенциал пероксида водорода (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние состава растворов на скачок ЭДС (мВ),
обусловленный пероксидом водорода**

Вариант	Вспомогательное вещество, %	Кверцетин, мг/мл	Раствор с ксилитом	Раствор с сахарозой
1	0,45	0,2	26,0±0,1	22,9±1,4
2	4,50		23,25±0,15	18,4±2,6
3	45,00		21,05±0,05	13,5±1,5
Н ₂ О ₂			Кверцетин: 10,6±0,1	

Концентрация кверцетина в диализате без добавления вспомогательных веществ составила 1,8±0,5 мг/л. Изучаемые вспомогательные вещества снижают фармацевтическую доступность кверцетина (табл. 2).

По данным, полученным в ходе эксперимента, прослеживается обратно пропорциональная зависимость между концентрациями выделившихся полифенолов и концентрациями сахарозы и ксилита в растворе, что может говорить о наличии в исследуемых пробах кверцетина с веществами молекул гликированного кверцетина, что увеличивает молекулярную массу и, как следствие, размер молекулы и снижает способность проходить через мембрану. Также причиной может быть увеличение вязкости, затрудняющей диффузию. В присутствии сахарозы диффундирует большее количество кверцетина по сравнению с аналогичными вариантами с ксилитом.

Таблица 2

Концентрация выделившихся полифенолов в результате диализа, мг/л

Массовая доля сахарозы, %			Массовая доля ксилита, %		
0,45	4,50	45,00	0,45	4,50	45,00
1,61±0,40	0,92±0,23	0,43±0,11	1,00±0,25	0,47±0,12	0,40±0,10

Таким образом, благодаря результатам проведенных исследований, можно говорить о подтверждении теории об усилении антиоксидантных

свойств кверцетина. При этом результаты определения фармацевтической доступности биофлавоноида в присутствии изучаемых веществ методом Кривчинского указывают на снижение величины показателя, что требует установления причины данного явления. Полученные данные подтверждают перспективность использования сахара и ксилита для усиления антиоксидантных свойств кверцетина, но требуют дальнейшего изучения механизмов взаимодействия и оптимизации концентраций для достижения баланса между усилением антиоксидантной активности и сохранением биодоступности.

Библиографический список

1. Чиряпкин А. С., Золотых Д. С., Поздняков Д. И. Обзор биологической активности флавоноидов: кверцетина и кемпферола. DOI: 10.32415/jscientia_2023_9_2_5-20 // *Juvenis Scientia*. 2023. Т. 9. № 2. С. 5–20.
2. Slámová K., Kapešová J., Valentová K. Sweet flavonoids: glycosidase-catalyzed modifications. DOI: 10.3390/ijms201819072126 // *Int. J. Mol. Sci.* 2018. Vol. 19. No. 07. Article No. 2126.
3. Вожжова К. Е., Линник А. И. Влияние сахаров на организм человека // *Интеграция теории и практики в медицине: достижения и перспективы* : сб. науч. статей. Кемерово : КемГМУ, 2024. С. 116–122.
4. Ксилит: производство, метаболизм и безопасность применения (обзор литературы). Ф. С. Соколов, К. Г. Гуревич, Н. И. Крихели и др. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-1-77-81 // *Гигиена и санитария*. 2023. Т. 102. № 1. С. 77–81.
5. Напитки на основе облепихового сока с повышенной полифенольной активностью / Ю. А. Кошелев, Н. И. Кулешова, Е. С. Баташов, А. В. Карлюк // *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международ. участием*. Бийск : Бийский технологический институт, 2013. С. 472–475.
6. Методические подходы к потенциометрическому определению содержания антиоксидантов / А. И. Фокина, А. Б. Нилова, Е. Г. Фоминых, А. В. Сазанов. DOI: 10.25750/1995-4301-2025-2-054-062 // *Теоретическая и прикладная экология*. 2025. № 2. С. 54–62.
7. ГОСТ Р 55488-2013. Прополис. Метод определения полифенолов. М. : Стандартинформ, 2020. 6 с.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММЫ КИСЛОТ, ВЫСВОБОЖДАЮЩИХСЯ ИЗ СОСТАВА ЛЕКАРСТВЕННОГО КАРАНДАША

М. Ю. Кухно, А. И. Фокина
*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, marik-22042006@mail.ru*

Описан опыт разработки и валидации методики определения количества веществ кислотного характера, высвобождающихся из твердой лекарственной формы (лекарственный карандаш), основанной на непосредственной диффузии кислот из композиции лекарственного средства в 50% водно-

спиртовый раствор с последующим их спектрофотометрическим определением по количеству в растворе одной из форм кислотно-основного индикатора.

Ключевые слова: диффузия, кислотно-основные индикаторы, спектрофотометрия, лекарственный карандаш, смола ели.

Смола ели (живица, терпентин) – бесцветное вязкое вещество с характерным хвойным запахом, обладающее бактерицидными и дезинфицирующими свойствами за счет монотерпеновых углеводов, дитерпеноидов и, главным образом, дитерпеновых (смоляных) кислот [1]. Смоляные кислоты, содержащиеся в лекарственном сырье, определяют специфику воздействия лекарственного средства, а также обуславливают его кислотность, которая важна в том числе с точки зрения безопасности лекарственного средства [2]. Метод, установленный государственным стандартом для оценки кислотности и смежных показателей, основан на экстракции кислот из всего объема материала в достаточно жестких условиях [3] и во многих случаях не обладает должной чувствительностью. По результатам исследований, основанных на экстракции кислот из всего объема материала, невозможно судить об особенностях высвобождения кислот с его поверхности, вступающей в контакт с кожей. В связи с этим целесообразно разрабатывать методики, позволяющие определять низкие концентрации высвобождающихся веществ. Высокой чувствительностью обладают спектрофотометрические методы. При изменении кислотности раствора кислотно-основные индикаторы переходят из одной формы в другую. Каждая из двух форм обладает индивидуальным спектром поглощения. При существовании в растворе и кислотной, и основной форм индикатора количество каждой из них находится в линейной зависимости от концентрации кислоты в растворе. Создание на этой основе методик, позволяющих изучить особенности диффузии кислот или оснований из различных лекарственных форм, является перспективным.

Таким образом, целью работы была разработка методики, основанной на непосредственной диффузии кислот из композиции лекарственного средства в жидкость с последующим спектрофотометрическим анализом при добавлении индикатора.

В качестве объекта анализа был использован лекарственный карандаш, содержащий 15% смолы ели обыкновенной, разработанный на базе кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии Института химии и экологии Вятского государственного университета [4]. В качестве индикатора был выбран 0,04% раствор бромтимолового синего (переход окраски раствора от желтой к синей в интервале pH 6–7,6) [5]. Принимающей средой был 50 % раствор этанола, поскольку лекарственное средство содержит как гидрофильные, так и липофильные кислоты [6].

Точную массу расплавленной композиции помещали на дно цилиндра, затем остужали до комнатной температуры, далее вносили в цилиндр точный объем принимающей среды и термостатировали 30 мин при температуре,

близкой к температуре человеческого тела, после чего вносили точный объем раствора индикатора и снимали спектрограмму полученного раствора в диапазоне длин волн 550–650 нм с помощью спектрофотометра марки СФ-103. При расчетах учитывали значение максимума оптической плотности, входящего в диапазон поглощения световых волн основной формой индикатора (615 нм). Молярную концентрацию эквивалентов диссоциировавших кислот в растворе находили по градуировочному графику; в качестве стандарта использовали соляную кислоту. Математическая обработка экспериментальных данных была выполнена с использованием программного обеспечения *Microsoft Office Excel 2016*. Далее была найдена масса кислот, высвобождающихся в раствор из единицы площади зоны соприкосновения композиции лекарственного средства с принимающей средой за 30 минут, в пересчете на одну из смоляных кислот (например, абиетиновую), по следующей формуле:

$$m = \frac{[H^+] \cdot (K_{д1} + [H^+]) \cdot V_{п.с.} \cdot M_{к-ты}}{K_{д1} \cdot \pi \cdot R^2},$$

где m – масса кислот, высвобождающихся в раствор с единицы площади зоны соприкосновения композиции лекарственного средства с принимающей средой за 30 минут, в пересчете на одну из смоляных кислот, мг/см²; $[H^+]$ – молярная концентрация эквивалентов диссоциировавших кислот в растворе, моль/л; $V_{п.с.}$ – объем принимающей среды, л; $M_{к-ты}$ – молярная масса кислоты, на которую пересчитывают массу кислот, г/моль; $K_{д1}$ – константа диссоциации кислоты, на которую пересчитывают массу кислот, по первой ступени; R – внутренний радиус цилиндра, см.

Проведена валидация методики по таким показателям, как линейность ($R = -0,99$), повторяемость ($RSD = 0,68 \%$) и правильность (методом добавок).

Библиографический список

1. Хохрякова Л. В., Киреева А. Р. Хвоя и смола ели как ценная основа для создания фармацевтических субстанций // Молодая фармация – потенциал будущего : сб. материалов XV Всерос. науч. конф. с междунар. участием. СПб. : Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, 2025. С. 584–586.
2. Валуев Д. С. Водородный показатель и остаточная кислотность (щелочность) в токсикологической оценке химической продукции: проблемы и решения. DOI: 10.25514/CHS.2024.2.27008 // Химическая безопасность. 2024. Т. 8. № 2. С. 220–234.
3. ГОСТ 17823.1-72. Продукты лесохимические. Метод определения кислотного числа. М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. 4 с.
4. Свойства жировосковых композиций со смолой ели как основы для лекарственных карандашей / А. И. Фокина, А. Р. Киреева, С. А. Харина и др. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Киров, 23–24 апреля 2025 года). Киров : Вятский государственный университет, 2025. С. 285–287.
5. ОФС.1.3.0001. Реактивы. Индикаторы [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/1/1-3/reaktivy-indikatory/?ysclid=mpxq965vcj535732397> (дата обращения: 01.04.2026)
6. The study of the complexation of calix[4]arene and calix[4]resorcinarene with resin acids by the RP HPL C method. Binding constants determination / O. I. Kalchenko,

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ПЛОДАХ ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ

О. С. Маслова, Ю. В. Бочихина, Т. А. Адамович
*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, maslovaolha@yandex.ru*

В статье представлены результаты исследования содержания аскорбиновой кислоты в плодах облепихи крушиновидной, произрастающей на территории Кировской области. Для анализа были отобраны 6 образцов, собранных в разных районах региона. Установлено, что максимальная концентрация аскорбиновой кислоты наблюдается в образцах, собранных в Оричевском районе (пгт Стрижи), п. Ганино и Котельническом районе (с. Чистополье). Полученные данные позволяют рекомендовать указанные районы как перспективные для заготовки сырья с высокой биологической ценностью.

Ключевые слова: облепиха крушиновидная, аскорбиновая кислота, плоды, витамин С.

Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) является одним из наиболее ценных природных источников аскорбиновой кислоты, необходимой для поддержания здоровья человека. Содержание витамина С в плодах может существенно изменяться в зависимости от условий произрастания, поэтому изучение образцов из разных ареалов имеет практическое значение [1]. Исследование облепихи, произрастающей на территории Кировской области, позволяет выявить места произрастания этих растений, наиболее богатых аскорбиновой кислотой. Полученные результаты могут быть использованы при заготовке качественного растительного сырья для пищевой и лечебно-профилактической продукции.

Цель работы: определить и сравнить содержание аскорбиновой кислоты в плодах облепихи, произрастающей в различных ареалах Кировской области, и выявить образцы с наибольшим ее содержанием.

Исследования проводили в лабораториях Института химии и экологии ВятГУ.

Определение содержания аскорбиновой кислоты в плодах проводили методом кулонометрии. Для исследования были отобраны образцы плодов из шести мест произрастания облепихи в Кировской области: с. Чистополье (Котельничский район), п. Ганино, г. Слободской, пгт Стрижи (Оричевский район), г. Вятские Поляны и пгт Оричи. Образцы, взятые для исследования, были собраны в начале сентября, в период биологической зрелости плодов. Собранное сырье высушивали в лабораторных условиях, после чего измель-

чали до однородного состояния. Из измельченного сырья готовили водно-спиртовые экстракты, которые подвергали кулонометрическому анализу [2]. Все измерения проводились в двух повторностях, что позволило минимизировать погрешность и повысить достоверность полученных данных (табл.).

Таблица

Содержание аскорбиновой кислоты в плодах облепихи

№ образца	Место взятия образца	Содержание аскорбиновой кислоты, мг/100 г
1	Кировская обл., г. Вятские Поляны	174±28
2	Кировская обл., п. Ганино	250±40
3	Кировская обл., с. Чистополье	238±38
4	Кировская обл., г. Слободской	168±26
5	Кировская обл., пгт Оричи	87±14
6	Кировская обл., пгт Стрижи	407±65

Анализ полученных данных показал, что содержание аскорбиновой кислоты в плодах облепихи обыкновенной существенно зависит от места произрастания и варьирует в диапазоне от 87±14 мг/100 г до 407±65 мг/100 г. Значительная разница в содержании аскорбиновой кислоты в плодах обусловлена комплексным влиянием природных и биологических факторов: освещенность, температура, особенность почвенного состава, генетические характеристики растения.

Наибольшая концентрация витамина С выявлена в образце 6, собранном в Оричевском районе (пгт Стрижи), – 407±65 мг/100 г сырья. Высокие показатели также продемонстрировали образцы из п. Ганино (образец 2 – 250±40 мг/100 г) и села Чистополье Котельничского района (образец 3 – 238±38 мг/100 г).

В ходе исследования содержания витамина С в плодах облепихи, произрастающей в разных районах Кировской области, были выделены образцы с высоким содержанием аскорбиновой кислоты: образец 2 (п. Ганино), образец 3 (с. Чистополье Котельничский район), образец 6 (Оричевский район, пгт Стрижи). Данные образцы могут стать сырьевой базой для производства качественной пищевой и лечебно-профилактической продукции.

Библиографический список

1. Фармакологическая активность облепихи крушиновидной листьев: in silico и in vivo / Н. А. Ковалева, О. В. Тринеева, А. В. Бузлама, А. Ю. Кузнецов. DOI: 10.33380/2305-2066-2023-12-3-174-188 // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2023. Т. 12. № 3. С. 174–188.
2. 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 // Методология и методы исследований. 2022. № 3. С. 34–40.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛОДОВ СЛИВЫ КОЛЮЧЕЙ (ТЕРНА) КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С. Р. Наговицына¹, М. Л. Сазанова²

¹ Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия,

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар, Россия, ecolab2@gmail.com

В статье представлены результаты исследования химического состава замороженных и высушенных плодов сливы колючей (*Prunus spinosa*), выращенной в условиях Кировской области. Полученные данные доказывают высокую пищевую и фармакологическую ценность плодов *P. spinosa*. Высушивание является предпочтительным методом для максимального сохранения флавоноидов и катехинов, в то время как замораживание обеспечивает лучшую сохранность антоцианов

Ключевые слова: слива колючая, терн, *Prunus spinosa*, антоцианы, флавоноиды, катехины.

Расширение номенклатуры лекарственного растительного сырья и разработка стандартов его качества позволяет обеспечить российскую фармацевтическую промышленность новыми источниками биологически активных веществ (БАВ) для создания на их основе эффективных лекарственных препаратов [1]. Одним из перспективных, но недостаточно изученных видов сырья являются плоды терновника. Их традиционное использование в кулинарии, виноделии и медицине известно с глубокой древности. Так, например, они применялись для лечения заболеваний мочевыводящих путей, диабета, бронхита, диареи, а также воспалительных процессах в полости рта и глотки [2]. В последнее десятилетие они привлекают все больше внимания как функциональный продукт питания, нутрицевтик, натуральный краситель и консервант для пищевой промышленности [2].

Слива колючая (*Prunus spinosa* L.), или терн обыкновенный, – листопадный кустарник семейства Шиповниковые (Rosaceae). Экологические особенности: мезофит, мезотроф, гелиофит, кальцефил [3]. *P. spinosa* – самый холодостойкий вид из рода *Prunus*. Произрастает в степных и лесостепных районах европейской части России, в горах Крыма и Кавказа, в лесах Западной Европы, в Северной Африке и Малой Азии, но в северных точках ареала встречается редко. Плод – шаровидная или округло-конусовидная, сочная, односемянная костянка, фиолетово-синяя с разной степенью воскового налета; на вкус кисло-сладкая, терпкая, мякоть плода зеленоватая. Плоды обладают вяжущим, антисептическим, мочегонным, закрепляющим свойствами, по-

вышают аппетит, применяются при неспецифических колитах, дизентерии, пищевых отравлениях, при кандидозах, лямблиозе [4]. Известно, что плоды *P. spinosa* содержат флавоноиды, полифенолы (фенольные кислоты, флавоноиды, антоцианы, кумарины и проантоцианы), витамины, микроэлементы, органические кислоты, которые обладают выраженными антиоксидантными, антибактериальными и противовоспалительными свойствами [2–5]. Считается, что многие полезные для здоровья свойства плодов *P. spinosa* обусловлены полифенолами, которые в совокупности с флавоноидами, благодаря их синергетическому и аддитивному действию, оказывают более сильное или сопоставимое с антоцианами воздействие на организм [2].

Выбор оптимального способа заготовки сырья является важной задачей, так как от этого зависит стабильность содержания в плодах БАВ, являющихся основным компонентом фармацевтических субстанций [7]. По данным [8], сублимационная сушка является наиболее предпочтительным методом консервации по сравнению с конвективной сушкой и заморозкой. Однако, несмотря на то, что в высушенных плодах *P. spinosa* содержится гораздо меньше БАВ, чем в свежих, они обладают значительным противовоспалительным и антиоксидантным потенциалом [9].

Целью работы было определение содержания суммы антоцианов, флавоноидов и катехинов в спиртовых экстрактах из замороженных и сухих плодов терна обыкновенного.

Объектом исследования служили плоды *P. spinosa*, выращенного в условиях личного подсобного хозяйства на территории пгт Фаленки Кировской области. Плоды были собраны в начале сентября 2025 года в период полного созревания, высушены при температуре не более 40 °С или заморожены при температуре -18 °С [10]. Пробоподготовка была проведена в соответствии с методикой дальнейшего анализа. Экстрагирование антоцианов проводилось 60% этанолом, флавоноидов и катехинов – 70% этанолом; время экстракции 45 мин. Суммарное содержание флавоноидов определяли спектрофотометрически в пересчете на рутин, сумму антоцианов – спектрофотометрически в пересчете на цианидин-3-О-глюкозид, сумму катехинов – методом спектрофотометрии в пересчёте на катехин. Результаты представлены в виде среднего значения трех определений с указанием стандартного отклонения.

Результаты количественного содержания в плодах исследуемых показателей в пересчёте на абсолютно сухое сырьё с учётом влажности представлены в таблице (среднее арифметическое ± ошибка среднего).

Таблица

**Суммарное содержание различных классов веществ
в плодах *P. spinosa*, %**

Показатель	Высушенные плоды	Замороженные плоды	Литературные данные
Флавоноиды	3,95±0,01	1,64±0,01*	2,4–20,0 [11, 12]
Антоцианы	1,58±0,02	2,08±0,01*	0,78–3,7 [12, 13]
Катехины	1,114±0,133	0,996±0,005	0,18 [14]

Примечание: * – различия с показателями для высушенных плодов достоверны ($p < 0,05$).

Анализ полученных количественных показателей демонстрирует, что плоды *P. spinosa* являются богатыми источниками полифенольных соединений. Основными флавоноидами терна являются кемпферол [5, 12], кверцитин, неохлорогеновые, кофейные и кумариновые производные, в том числе эскулетин, умбеллиферон, скополетин, антоцианы (цианидин 3-О-глюкозид, цианидин 3-О-рутинозид и пеонидин 3-О-глюкозид) и проантоцианидины [12]. Согласно исследованию [11], содержание флавоноидов в свежесобранных плодах терна составило 4,82%. Более низкое содержание флавоноидов в наших исследованиях, вероятно, связано с их разрушением при заморозке или высушивании. В частности, по данным [13, 14], при замораживании отмечается снижение содержания флавоноидов в среднем на 10%. В исследовании [5] установлено, что концентрация экстрагента, температура экстракции и время обработки существенно влияют на эффективность процесса: наилучшие условия – 50% этанол, $t=60$ °C, $\tau=30$ мин; при повышении температуры флавоноиды разрушаются. Ещё одной причиной может быть различие в генотипах *P. spinosa* [12].

Катехины в изученных нами образцах содержались в значительном количестве (1,114% и 0,996%). В исследовании [14] содержание катехинов в кожице плодов *P. spinosa* составило 0,18%, вероятно, это связано с тем, что в нашей работе анализировались цельные плоды, а не только кожица. Также это может быть связано с видовыми различиями и особенностями методов анализа.

Наблюдаемые различия в количественном содержании БАВ между высушенными и замороженными плодами находят убедительное объяснение в свете современных представлений о стабильности этих соединений. Значительное снижение концентрации флавоноидов и катехинов при замораживании может быть обусловлено тем, что данный метод не обеспечивает полной инактивации ферментных систем. Как показано в работе М. Б. Ильиной и соавт. [7], при замораживании плодов брусники содержание флавоноидов снижалось на 26%, что связано с продолжающимися окислительными процессами. Авторы объясняют это эффектом концентрирования за счет потери влаги, а также с инактивацией ферментов (полифенолоксидазы), разрушающих танины. В нашей работе содержание флавоноидов в замороженных плодах *P. spinosa* было на 58,5% ниже, чем в высушенных.

Противоположный результат получился при сравнении результатов содержания антоцианов. В замороженных плодах антоцианов почти на 30% больше, чем в сухих. Причиной может быть относительно высокая термостабильность антоцианов: в форме рутинозида и глюкозида они более термостабильны, чем в форме самбубиозида и диглюкозида [15]. Однако длительное воздействие тепла (выше 75 °C) запускает реакции окисления и гидролиза, что приводит к количественной потере антоцианов, особенно в ягодах аронии и жимолости [15].

Таким образом, полученные нами экспериментальные данные доказывают высокую пищевую и фармакологическую ценность плодов *P. spinosa*.

Высокое содержание полифенолов и катехинов способно оказывать антиоксидантное и противовоспалительное действие. Высушивание является предпочтительным методом для максимального сохранения флавоноидов и катехинов, в то время как замораживание обеспечивает лучшую сохранность антоцианов.

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. Евдокимова О. В., Алексеева А. С. Новые виды лекарственного растительного сырья в российской фармакопее: номенклатура и требования к качеству (обзор). DOI: 10.30895/1991-2919-2025-15-3-357-364 // Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. 2025. № 3. С. 357–364.
2. Phenolic composition, antioxidant, anti-enzymatic, antimicrobial and prebiotic properties of *Prunus spinosa* L. fruits / M. Marčetić, S. Samardžić, T. Ilić, et al. DOI: 10.3390/foods11203289 // Foods. 2022. Vol. 11. No. 20. Article No. 3289.
3. Слива колючая [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/30444.html> (дата обращения: 15.03.2026).
4. Вдовенко-Мартынова Н. Н., Кобыльченко Н. В., Блинова Т. И. Тёрн (*Prunus spinosa* L.): химическое и фармакогностическое исследование, применение в медицинских и пищевых целях // Вопросы. Гипотезы. Ответы: наука XXI века. Кн. 5. Краснодар : ИП Н. С. Акелян, 2013. С. 211–234.
5. Effects of extraction process factors on the composition and antioxidant activity of blackthorn (*Prunus spinosa* L.) fruit extracts / A. M. Drăghici-Popa, A. C. Boscornea, A. M. Brezoiu, et al. DOI: 10.3390/antiox12101897 // Antioxidants. 2023. Vol. 12. No. 10. Article No. 1897.
6. Blackthorn – A valuable source of phenolic antioxidants with potential health benefits / O. R. Negrean, A. C. Farcas, O. L. Pop, S. A. Socaci. DOI: 10.3390/molecules28083456 // Molecules. 2023. Vol. 28. No. 8. Article No. 3456.
7. Ильина М. Б., Сергунова Е. В., Самылина И. А. Современные способы консервации лекарственного растительного сырья: вариабельность содержания и стабильность биологически активных веществ. DOI: 10/29296/25419218-2022-02-03 // Фармация. 2022. Т. 71. № 2. С. 17–21.
8. Olesínska K., Sugier D., Sęczyk Ł. The influence of selected preservation methods and storage time on the content of antioxidants in blackthorn (*Prunus spinosa* L.) fruits. DOI: 10.24326/as.2019.1.5 // Agron. Sci. 2019. Vol. 74. P. 53–62.
9. Polyphenols and Maillard reaction products in dried *Prunus spinosa* fruits: Quality aspects and contribution to anti-inflammatory and antioxidant activity in human immune cells *ex vivo* / A. Magiera, M. E. Czerwińska, A. Owczarek, et al. DOI: 10.3390/molecules27103302 // Molecules. 2022. Vol. 27. Article No. 3302.
10. ГОСТ Р 59425–2021. Продукция органическая из дикорастущего сырья. Правила сбора, заготовки, переработки, хранения, транспортирования и маркировки : действ. с 01.06.2021. М. : Стандартинформ, 2021. 16 с.
11. Кох Ж. А., Кох Д. А. Плоды *Prunus spinosa* Красноярского края – перспективный источник для получения биологически активных веществ // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 1 (41). С. 57–61.

12. Technologically driven approaches for the integrative use of wild blackthorn (*Prunus spinosa* L.) fruits in foods and nutraceuticals / O. V. Nistor, Ș. A. Milea, B. Păcularu-Burada, et al. DOI: 10.3390/antiox12081637 // Antioxidants. 2023. Vol. 12. No. 8. Article No. 1637.

13. Polyphenolic compounds analysis and antioxidant activity in fruits of *Prunus spinosa* L. / E. Varga, E. Domokos, E. Fogarasi, et al. DOI: 10.33176/AACB-19-00024 // Acta Pharm. Hung. 2017. Vol. 87. No. 1. P. 19–25 (in Hungarian).

14. Аббасова Т. Ю. Динамика изменения биологически активных веществ в плодах разных видов боярышника *Crataegus* L. в зависимости от условий хранения // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9. № 4. С. 38–43.

15. Effect of drying temperature on berry press residue anthocyanin stability and profile / T. Gricenko, A. Zommere, J. Kviesis, L. Klavins. DOI: 10.3389/fsufs.2025.1733151 // Front. Sustain. Food Syst. 2026. Vol. 9. Article No. 1733151.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ФОТОСЕНСИБИЛИЗИРУЮЩЕГО РАСТВОРА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЕГО ПРИМЕНЕНИЮ В ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

А. Б. Нилова, А. В. Сазанов

*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, nilovaalisa634@gmail.com*

В работе представлены результаты разработки рецептуры раствора фотосенсибилизатора на основе метиленового синего, рекомендуемого для применения в фотодинамической терапии.

Ключевые слова: фотодинамическая терапия, фотосенсибилизатор, метиленовый синий, активные формы кислорода.

На сегодняшний день способ лечения с помощью фотодинамической терапии (ФДТ) активно применяется как в зарубежных клиниках, так и на территории России. Данный метод представляет собой облучение светом пораженной ткани (эпидермиса или ногтевой пластины), на которую предварительно нанесен раствор фотосенсибилизатора (ФС). Преимуществом фотодинамической терапии является неинвазивность, минимальный риск развития резистентности, низкая токсичность.

Основной механизм действия ФТД можно описать следующим образом: ФС поглощает энергию излучения, изменяет свое энергетическое состояние и вступает в реакцию с молекулами кислорода воздуха с образованием активных форм кислорода (АФК), которые разрушают клетки патогенов как снаружи (нарушение целостности клеточной стенки), так и изнутри (повреждение ДНК и митохондрий, ингибирование ферментативных систем) [1].

Важно отметить, что эффективность действия фотосенсибилизирующего компонента напрямую зависит от того, насколько глубоко молекулы красителя могут проникнуть в клетки поврежденной ткани.

В качестве вспомогательных компонентов растворов фотосенсибилизаторов могут применяться такие соединения как пропиленгликоль, гиалуроно-

вая кислота и альгинат натрия, поскольку они способствуют более глубокому проникновению действующего компонента в кожу и увеличивают эффективность фотодинамической терапии [2–4].

Метиленовый синий – ароматический и гетероциклический краситель, имеющий максимальную длину волны поглощения 664 нм. Под действием красного лазерного излучения метиленовый синий подвергается фотодеградации, предположительно из-за образования высокоактивных кислородсодержащих радикалов, которые атакуют молекулы красителя, разрушая центры окраски. Помимо оптимального строения и оптических свойств, метиленовый синий также отвечает всем требованиям, предъявляемым к биологическим фотосенсибилизаторам: он нетоксичен, глубоко проникает в кожу и ногтевую пластину, активно поглощает фотоны и позволяет образовывать большое число активных форм кислорода [5].

Цель работы – разработка рецептуры фотосенсибилизирующего раствора на основе метиленового синего, рекомендуемого к применению для фотодинамической терапии с облучением.

Объект исследования – фотосенсибилизирующий раствор, рекомендуемый для фотодинамической терапии, на основе 1%-го раствора метиленового синего.

Предмет исследования – разработка рецептуры фотосенсибилизирующего раствора на основе метиленового синего с оптимальным водородным показателем (pH), проявляющего антимикробную активность и обладающего наибольшей фармацевтической доступностью.

Научная новизна: получены данные о влиянии соотношения вспомогательных веществ раствора фотосенсибилизатора на его pH, антимикотическую активность и фармацевтическую доступность.

В данной работе рассматривались свойства растворов, приготовленных по четырем рецептурам (табл. 1):

Таблица 1

**Содержание действующего и вспомогательных веществ
в растворах фотосенсибилизаторов**

№ раствора	Массовая доля МС, %	Массовая доля пропиленгликоля, %	Масса гиалуроновой кислоты, г	Масса альгината натрия, г
1	1,00	1,00	1,3000	–
2	1,00	1,00	–	1,3000
3	1,00	3,00	1,3000	–
4	1,00	3,00	–	1,3000

Примечание: МС – метиленовый синий.

У всех растворов провели определение водородного показателя (pH), оценку антимикотической активности *in vitro*, оценку фармацевтической доступности методом Кривчинского.

Определение антимикотической активности проводили на культуре *Saccharomyces cerevisiae*. Культуру засеивали в двухкратной повторности на

стандартную среду Сабуро с инкубацией при температуре 30 °С [6]. Результаты определения антимикотической активности растворов фотосенсибилизаторов представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты определения антимикотической активности
растворов фотосенсибилизаторов (ФС)**

Название раствора	Время экспозиции, мин	Рост колонии	Рост колонии (контрольный образец без облучения)
Раствор № 1	15	+	+
	30	—	
Раствор № 2	15	+	+
	30	—	
Раствор № 3	15	+	+
	30	—	
Раствор № 4	15	+	+
	30	—	
Контроль (без раствора ФС)	15	+	+
	30	+	

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что растворы с различным содержанием метиленового синего (1% и 2%) проявляют одинаковую антибактериальную активность, ввиду чего рациональнее продолжать изучение раствором с меньшим содержанием метиленового синего (1%). Также установлено, что период экспозиции (облучения) раствора должен составлять не менее 30 минут, поскольку при меньшей выдержке раствор не проявляет требуемой антимикотической активности.

Водородный показатель растворов определяли методом ионометрии. Результаты определения водородного показателя (pH) у приготовленных растворов фотосенсибилизаторов представлены на рисунке 1.

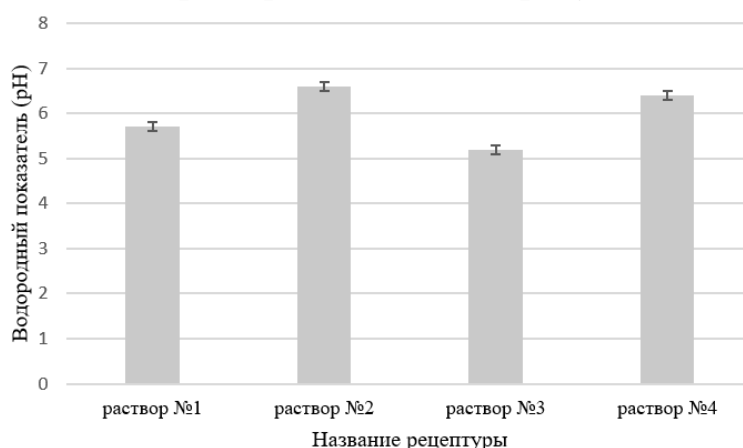


Рис. 1. Результаты определения pH растворов фотосенсибилизаторов

Отмечено, что растворы, содержащие в качестве гелеобразующего компонента гиалуроновую кислоту, имеют более низкую величину водородного показателя, чем растворы, содержащие альгинат натрия. Можно предполо-

жить, что это связано со строением обоих компонентов: гиалуроновая кислота имеет непротонированную карбоксильную группу и проявляет кислотные свойства, образуя в воде растворимые соли с щелочными металлами. Альгинат натрия является солью альгиновой кислоты, которая также имеет непротонированные карбоксильные группы, но поскольку эти группы могут связываться с ионами кальция, содержащимися в воде, данное соединение имеет менее кислую среду, по сравнению с гиалуроновой кислотой, которая подобных связей не образует. Приготовленные растворы соответствуют нормам, указанным в ГОСТ 31679-2012 [7].

Для определения скорости высвобождения действующего вещества (метиленового синего) из растворов был использован метод Кривчинского [8], диализной средой служил 0,9% раствор хлорида натрия. Концентрацию метиленового синего в диализной среде определяли на спектрофотометре при длине волны 664 нм, по закону Бугера – Ламберта – Бэра. Измеряли концентрации в диализной камере через 15, 30, 60, 80, 110 и 120 мин. Данные, полученные для растворов с добавлением гиалуроновой кислоты, сравнили с данными, полученными для растворов с добавлением альгината натрия. Анализ был проведен с использованием целлофановой пленки. Результаты представлены на рисунке 2.

Установлено, что растворы, содержащие в своем составе гиалуроновую кислоту, проявили более высокую скорость высвобождения метиленового синего, чем растворы с альгинатом натрия. Можно предположить, что это связано с тем, что растворы с добавлением альгината натрия имеют более высокую вязкость, чем растворы с гиалуроновой кислотой.

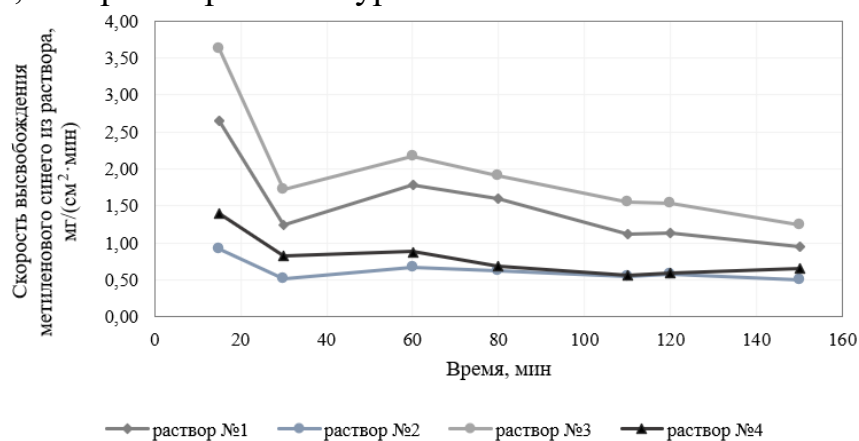


Рис. 2. График зависимости скорости высвобождения метиленового синего из растворов от времени

Методику определения фармацевтической доступности методом Кривчинского валидировали по следующим характеристикам: линейность (пять уровней концентрации, $n = 3$, $P = 0,95$), повторяемость (пять уровней концентрации, $n = 3$, $P = 0,95$) [9].

В качестве раствора, используемого для проведения валидации, был выбран раствор № 3 ввиду его наибольшей фармацевтической доступности.

Эксперименты по валидации методики определения фармацевтической доступности методом Кривчинского по параметру линейность показали, что уравнение зависимости оптической плотности от концентрации диализата выглядит следующим образом: $y = 0,387x + 0,191$, r при этом составил – 0,998 (рис. 3); повторяемость – RSD не превысила 2%.

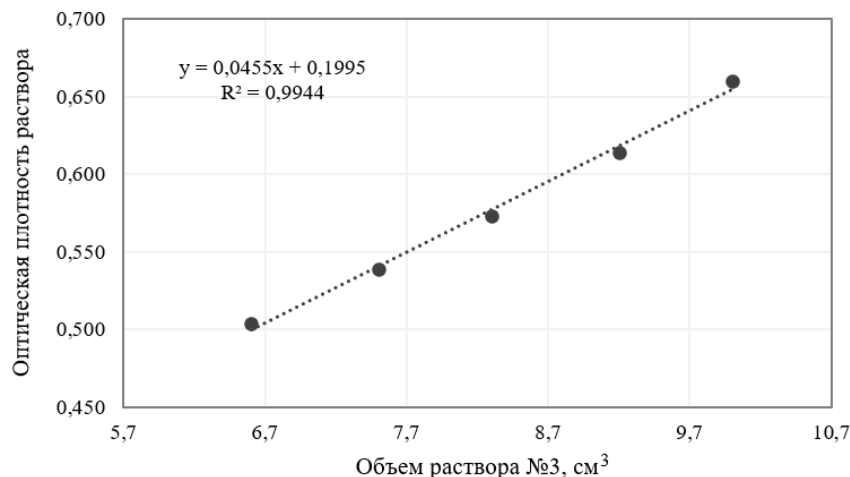


Рис. 3. График зависимости оптической плотности раствора № 3 от объема раствора

По результатам оценки водородного показателя, антимикробной активности и фармацевтической доступности, раствор № 3 можно рекомендовать для применения в фотодинамической терапии со следующими дополнениями: раствор рекомендуется наносить на поврежденные ткани за 60 минут до проведения облучения (для максимального накопления МС в тканях) и проводить последующее облучение в течение 30 минут (для достижения максимального антимикотического эффекта).

Таким образом, в ходе работы были разработаны 4 состава растворов фотосенсибилизатора на основе метиленового синего с добавлением пропиленгликоля, гиалуроновой кислоты и альгината натрия. Определен водородный показатель растворов, оценена их антимикотическая активность и фармацевтическая доступность. Методика определения фармацевтической доступности была валидирована по таким валидационным характеристикам как линейность и повторяемость. Полученные данные были сравнены с требованиями ГОСТ 31679-2012. Выбрана рецептура раствора с оптимальными характеристиками и сформулированы рекомендации для применения его в фотодинамической терапии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (№ 19502ГУ/2025).

Библиографический список

1. Aebisher D., Szpara J., Bartusik-Aebisher D. Advances in medicine: photodynamic therapy. DOI: 10.3390/ijms25158258 // Int. J. Mol. Sci. 2024. No. 25. Article No. 8258.

2. Куцурадис, А. Ф., Гладышева О. В. Влияние косметических средств на здоровье человека // Молодежный инновационный вестник. 2019. Т. 8. № 2. С. 366–367.
3. Effect of hyaluronic acid on the activity of methylene blue in photogeneration of $^1\text{O}_2$ / V. V. Kardumyan, A. S. Kuryanova, A. V. Chernyak, et al. DOI: 10.3390/molecules29225336 // Molecules. 2024. Vol. 29. No. 22. Article No. 5336.
4. Альгинат натрия – уникальный природный полисахарид и его применение / М. М. Никитина, Н. В. Лакиза, Т. В. Терзиян // XXXII Зимняя школа по химии твердого тела : материалы (Екатеринбург, 7–10 февраля 2023 г.). Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2023. С. 64–65.
5. Рассеко Д. С., Пугачевский М. А., Жакин А. И. Исследование фотодеградациии тиазинового красителя метиленового синего при воздействии лазерным источником для фотодинамической терапии // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13. № 4. С. 109–122.
6. Possibilities of methylene blue in photodynamic inactivation of bacteria *in vitro* experiment / A. A. Sabirmatov, A. A. Tursumetov, I. M. Mukhamedov, et al. // New Day in Medicine. 2021. Vol. 1. No. 33. P. 404–411.
7. ГОСТ 31679-2012. Продукция косметическая жидкая. Общие технические условия : действ. с 01.07.2013 [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52892/> (дата обращения: 11.04.2026).
8. Сушинская О. А., Голяк Н. С., Царенков В. М. Методы исследования высвобождения лекарственных веществ из наружных лекарственных форм // Вестник фармации. 2019. Т. 4. № 86. С. 86–96.
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: 18.03.2026).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ С САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ

К. А. Орефкова, Е. С. Соловьёва
*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, orefkovak@gmail.com*

В статье экспериментально изучено влияние четырех вспомогательных веществ (сахарозы, крахмала картофельного, лактозы моногидрата, глицерина) на физико-химические свойства салициловой кислоты. Методом ИК-спектроскопии оценена совместимость компонентов в модельных смесях. Определена степень высвобождения салициловой кислоты из композиций методом диализа и установлена растворимость таблетированных форм в фосфатном буферном растворе с рН 7,0. Сделан вывод о наиболее подходящем вспомогательном веществе для разработки лекарственных форм на основе салициловой кислоты.

Ключевые слова: салициловая кислота, вспомогательные вещества, совместимость, высвобождение, растворимость таблеток.

Вспомогательные вещества составляют до 90% массы твердых лекарственных форм и выполняют не только технологические, но и биофармацев-

тические функции. Они обеспечивают точность дозирования, механическую прочность таблеток, регулируют скорость высвобождения действующего вещества и влияют на его биодоступность. Традиционно вспомогательные вещества рассматривались как инертный компонент, однако исследования последних лет показали, что они способны вступать в межмолекулярные взаимодействия с лекарственными веществами. Такие взаимодействия могут изменять химическую стабильность субстанций, скорость их высвобождения и фармакологическую активность [1]. Следовательно, изучение совместимости действующих и вспомогательных веществ является необходимым этапом фармацевтической разработки.

Салициловая кислота – ароматическая гидроксикислота, широко применяемая в дерматологии [2]. При наружном применении она проявляет кератолитическое, антисептическое и противовоспалительное действие [3].

Выбор салициловой кислоты в качестве модельного лекарственного вещества обусловлен тем, что она содержит реакционноспособные функциональные группы – карбоксильную и фенольную, что делает ее чувствительной к взаимодействию с вспомогательными веществами и позволяет использовать как модель для изучения физико-химических взаимодействий в лекарственных формах.

В качестве вспомогательных веществ выбраны сахароза, крахмал картофельный, лактоза моногидрат и глицерин. Сахароза применяется как наполнитель, связующее вещество и корригент вкуса [4]. Крахмал картофельный используется в качестве наполнителя, связующего и дезинтегранта [5]. Лактоза моногидрат – один из наиболее распространенных наполнителей для твердых лекарственных форм [6]. Глицерин применяют как увлажнитель, пластификатор и связующий компонент [7]. Все эти вещества содержат гидроксильные группы и потенциально способны образовывать водородные связи с салициловой кислотой.

Целью работы является изучение влияния сахарозы, крахмала картофельного, лактозы моногидрата и глицерина на физико-химические свойства салициловой кислоты с использованием методов ИК-спектроскопии (инфракрасная спектроскопия), диализа и теста «растворения» таблетированных лекарственных форм.

Были приготовлены бинарные смеси салициловой кислоты с вспомогательными веществами. Для смесей с сахарозой, крахмалом и лактозой использовали массовое соотношение 1:5 (лекарственное вещество : вспомогательное вещество). Навеску салициловой кислоты смешивали с вспомогательным веществом в ступке методом геометрического разбавления до получения однородной массы. Для смеси с глицерином использовали обратное соотношение 5:1, поскольку при соотношении 1:5 образовывалась жидкая масса, непригодная для сравнительного анализа. Из полученных смесей прессовали таблетки массой 1,00 г на таблеточном прессе при постоянном усилии. Контрольный образец – чистая салициловая кислота.

ИК-спектры регистрировали на Фурье-ИК спектрофотометре Shimadzu FTIR-8400S в диапазоне $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ в режиме пропускания. Анализировали индивидуальную салициловую кислоту, индивидуальные вспомогательные вещества и бинарные смеси. Оценивали положение характеристических полос: C=O карбоксильной группы ($\sim 1690\text{ см}^{-1}$), C=C ароматического кольца ($\sim 1497\text{ см}^{-1}$) и O–H ($\sim 2862\text{ см}^{-1}$). Сдвиг полос более чем на $\pm 8\text{ см}^{-1}$ рассматривали как признак межмолекулярного взаимодействия [8].

Степень высвобождения салициловой кислоты определяли методом диализа по Кривчинскому [9]. Использовали коллагеновую мембрану, закрепленную на диализной трубке. Навеску смеси переводили в гелеобразное состояние и наносили на внутреннюю поверхность мембраны. Трубку погружали в 50% раствор этилового спирта (диализная среда) на глубину не более 3 мм. Диализ проводили в течение 20 минут при комнатной температуре.

Испытание на растворение таблетированных форм проводили на установке типа «лопастная мешалка» в фосфатном буферном растворе при pH 7,0, температуре $37,0 \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости вращения перемешивающего устройства 100 об/мин. Анализ проводили в течение 45 минут. Результат считался приемлемым, если в раствор перешло более 75% лекарственного вещества [10].

В спектре индивидуальной салициловой кислоты зафиксированы характеристические полосы (рис. 1): C=O – $1689,5\text{ см}^{-1}$, C=C – $1496,7\text{ см}^{-1}$, O–H – $2862,2\text{ см}^{-1}$.

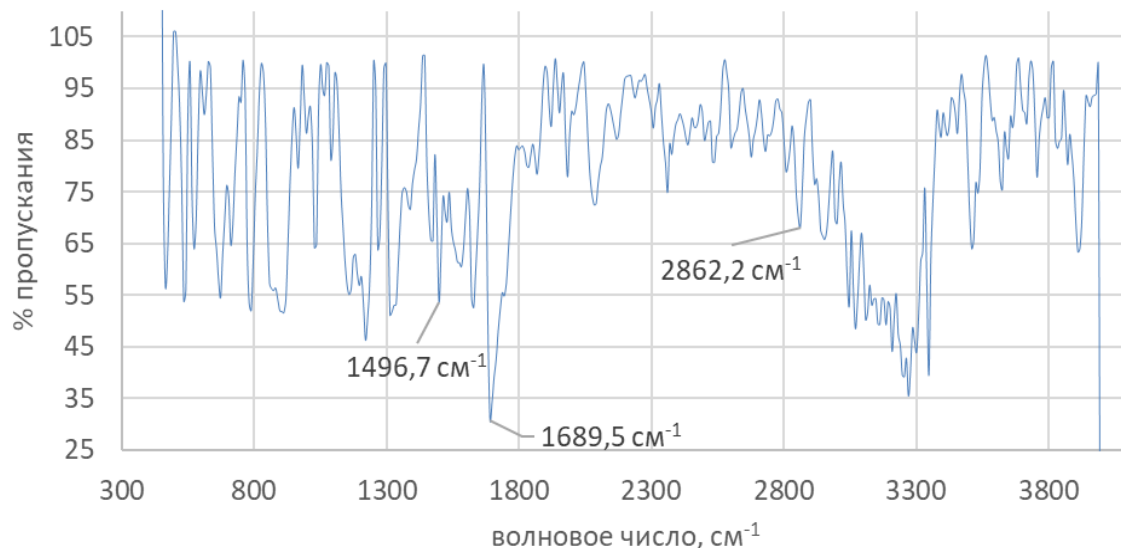


Рис. 1. ИК-спектры салициловой кислоты

В смеси «салициловая кислота – сахароза» полоса C=O смещается до $1697,2\text{ см}^{-1}$ ($\Delta = +7,7\text{ см}^{-1}$), O–H – до $2831,3\text{ см}^{-1}$ ($\Delta = -30,9\text{ см}^{-1}$), C=C – до $1458,1\text{ см}^{-1}$ ($\Delta = -38,6\text{ см}^{-1}$). Существенные сдвиги полос гидроксильной группы и ароматического кольца свидетельствуют об образовании межмолекулярных водородных связей между салициловой кислотой и сахарозой (рис. 2).

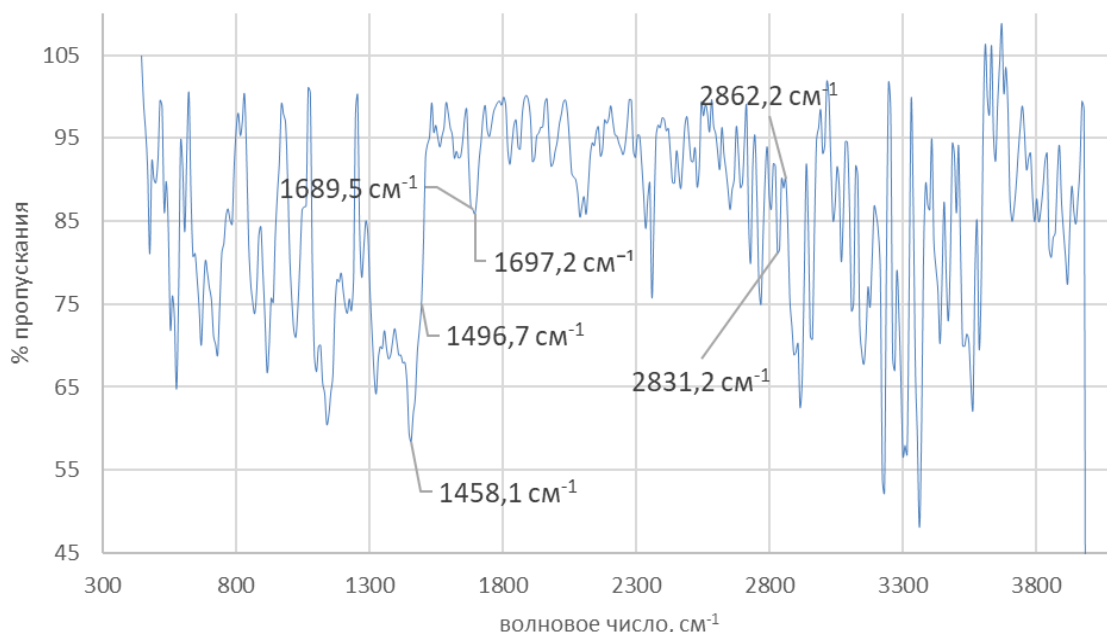


Рис. 2. ИК-спектры смеси салициловой кислоты с сахарозой

В смеси «салициловая кислота – крахмал» полоса C=O смещается до $1681,8 \text{ см}^{-1}$ ($\Delta = -7,7 \text{ см}^{-1}$), O–H – до $2846,7 \text{ см}^{-1}$ ($\Delta = -15,4 \text{ см}^{-1}$), C=C – до $1458,1 \text{ см}^{-1}$ ($\Delta = -38,6 \text{ см}^{-1}$). Значительный сдвиг полосы ароматического кольца и умеренный сдвиг гидроксильной группы указывают на взаимодействие с образованием водородных связей (рис. 3).

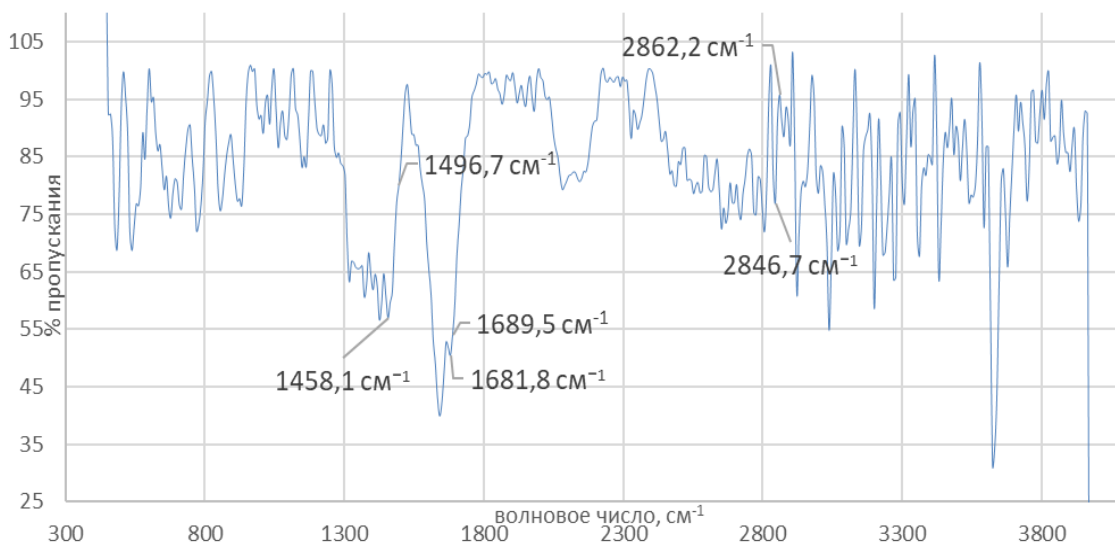


Рис. 3. ИК-спектры смеси салициловой кислоты с крахмалом

В смеси «салициловая кислота – лактоза» полоса C=O остается на $1689,5 \text{ см}^{-1}$ ($\Delta = 0,0 \text{ см}^{-1}$), O–H смещается до $2823,6 \text{ см}^{-1}$ ($\Delta = -38,6 \text{ см}^{-1}$), C=C – до $1465,8 \text{ см}^{-1}$ ($\Delta = -30,9 \text{ см}^{-1}$). Карбонильная группа не затронута, однако гидроксильная группа и ароматическое кольцо подвергаются значительному сдвигу, что свидетельствует об образовании водородных связей (рис. 4).

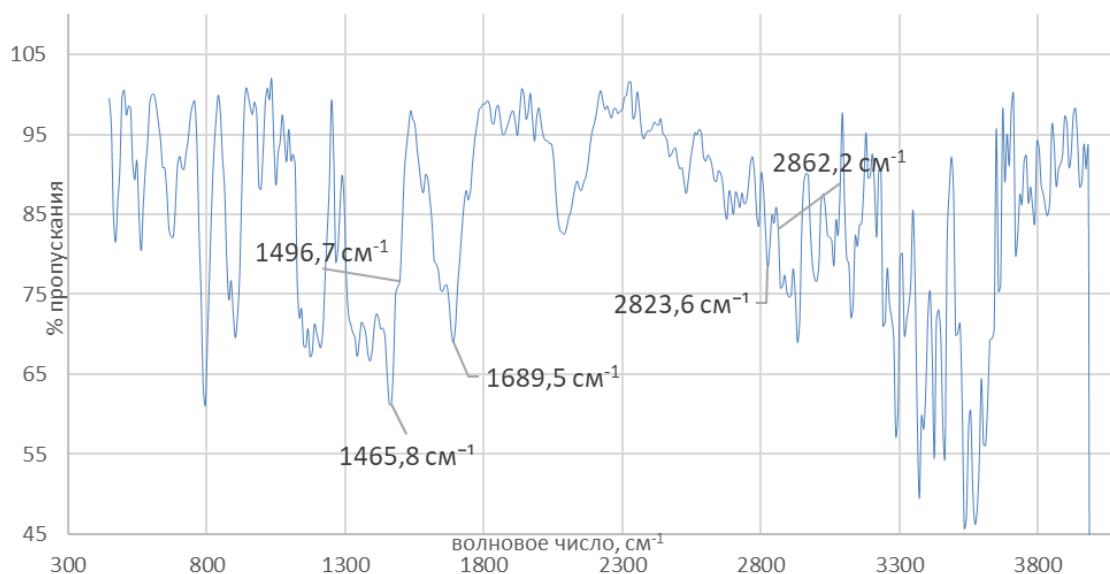


Рис. 4. ИК-спектры смеси салициловой кислоты с лактозой

В смеси «салициловая кислота – глицерин» полоса $\text{C}=\text{O}$ смещается до $1697,2 \text{ см}^{-1}$ ($\Delta = +7,7 \text{ см}^{-1}$), $\text{O}-\text{H}$ – до $2854,5 \text{ см}^{-1}$ ($\Delta = -7,7 \text{ см}^{-1}$), $\text{C}=\text{C}$ остается на $1496,7 \text{ см}^{-1}$ ($\Delta = 0,0 \text{ см}^{-1}$). Все сдвиги находятся в пределах инструментальной погрешности ($\pm 8 \text{ см}^{-1}$), следовательно, существенного химического взаимодействия между салициловой кислотой и глицерином нет (рис. 5).

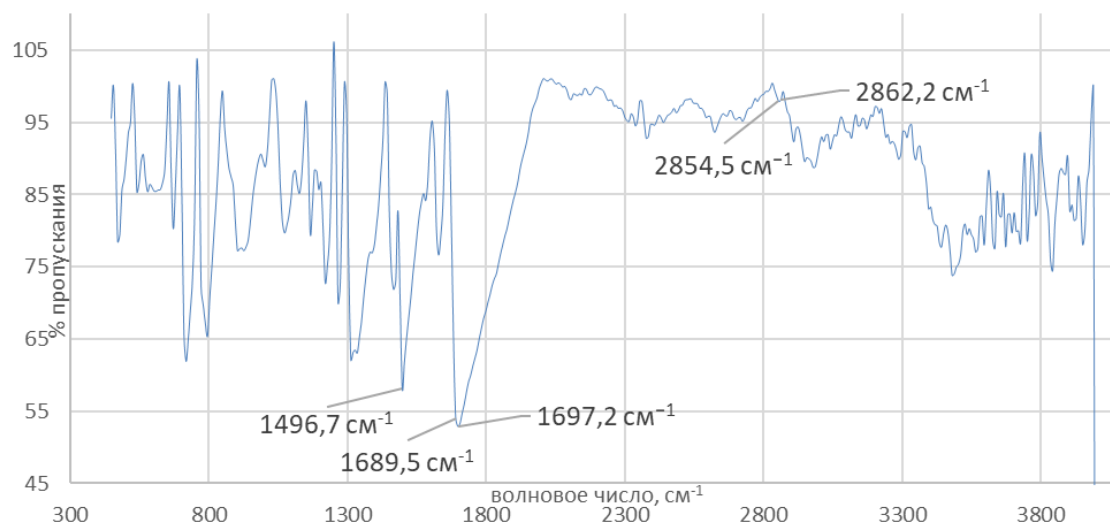


Рис. 5. ИК-спектры смеси салициловой кислоты с глицерином

Результаты определения степени высвобождения салициловой кислоты (СК) и изучения растворимости таблетированных форм с СК представлены в таблице.

Таблица 1

**Результаты исследования взаимодействия вспомогательных веществ
с салициловой кислотой (СК)**

СК	СК + сахароза	СК + крахмал	СК + лактоза	СК + глицерин
Степень высвобождения СК из модельных композиций, мг/(см ² ·мин)				
0,056±0,006	0,052±0,008	0,049±0,006	0,053±0,006	0,054±0,013
Растворение таблетированных форм с СК, %				
89,3±5,1	82,3±4,2	79,5±4,6	83,7±4,8	86,4±5,6

Наибольшую скорость высвобождения показывает индивидуальная салициловая кислота. Среди композиций лучший результат наблюдается с глицерином, затем следуют лактоза, сахароза. Наименьшее значение получено с крахмалом. Уменьшение скорости высвобождения связано с повышением вязкости системы (сахароза, лактоза, глицерин) и образованием гелевой матрицы (крахмал), что создает физический барьер для диффузии.

Все таблетированные формы соответствуют требованию растворения – не менее 75% за 45 мин. Чистая салициловая кислота достигла наивысшего показателя. Среди композиций лучший результат зафиксирован с глицерином, что согласуется с данными ИК-спектроскопии и диализа. Крахмал демонстрирует наименьшую степень растворения, поскольку при контакте с водой набухает и формирует вязкую гелевую структуру, затрудняющую проникновение среды растворения.

Методом ИК-спектроскопии установлено, что салициловая кислота совместима с глицерином – сдвиги характеристических полос не превышают $\pm 7,7 \text{ см}^{-1}$. Смеси с сахарозой, крахмалом и лактозой демонстрируют сдвиги полос до $-38,6 \text{ см}^{-1}$, что указывает на межмолекулярное взаимодействие через водородные связи.

Наибольшую скорость высвобождения салициловой кислоты обеспечивает глицерин, наименьшую – крахмал. Все таблетированные формы соответствуют требованию растворения (не менее 75% за 45 мин). Наилучший результат показала композиция с глицерином, наихудший – с крахмалом.

Для салициловой кислоты оптимальным вспомогательным веществом является глицерин, обеспечивающий высокую скорость высвобождения и растворения без выраженного химического взаимодействия. Крахмал картофельный замедляет высвобождение лекарственного вещества, что может быть использовано для создания пролонгированных форм.

Библиографический список

1. Компанцев Д. В., Гутнова Т. С. Вспомогательные вещества для улучшения биодоступности таблетированных лекарственных форм // Общество. 2019. № 3 (14). С. 54–57.
2. Салициловая кислота [Электронный ресурс]. – URL: <https://bigenc.ru/c/salitsilovaia-kislota-1324a5/?v=8620620> (дата обращения: 21.03.2026).
3. Wills W. J. M., Rodriguez V. Keratolytic and anti-inflammatory action of salicylic acid in patients with seborrheic dermatitis associated with psoriasis // Med. Res. Chronicles. 2020. Vol. 7. No. 4. P. 170–176.

4. ОФС.1.4.1.0012. Сиропы [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-4/1-4-1-lekarstvennye-formy/siropy/> (дата обращения: 18.04.2026).
5. Физико-химические свойства картофельного крахмала / Д. Ш. Ягофаров, А. В. Канарский, Ю. Д. Сидоров, М. А. Поливанов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 12. С. 212–215.
6. ФС. 2.1.0119. Лактоза моногидрат [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/2/2-1/laktoza-monogidrat/> (дата обращения: 18.04.2026).
7. Влияние связующих веществ на технологические свойства таблеток / К. И. Кашапова, С. С. Камаева, А. Н. Анисимов и др. // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2013. Т. 8. № 2. С. 991–992.
8. A review: drug excipient incompatibility by fir spectroscopy / C. Singh, K. Rao, N. S. Yadav, et al. DOI: 10.2174/1573412919666230228102158 // Curr. Pharm. Anal. 2023. Vol. 19. No. 5. P. 280–290.
9. Сушинская О. А., Голяк Н. С., Царенков В. М. Методы исследования высвобождения лекарственных веществ из наружных лекарственных форм // Вестник фармации. 2019. № 4 (86). С. 86–96.
10. ОФС.1.4.2.0014. Растворение для твёрдых дозированных лекарственных форм [Электронный ресурс]. – URL <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-4/1-4-2/rastvorenie-dlya-tvyerdykh-dozirovannykh-lekarstvennykh-form/> (дата обращения: 18.04.2026).

СЕЗОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ И ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ХВОЕ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ

Т. В. Остаева, Т. А. Адамович
*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, tv-ost@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования содержания хлорофиллов, каротиноидов и флавоноидов в хвое пихты сибирской, собранной на территории Кировской области. Результаты исследования указывают на важность сезонности в оценке жизнеспособности лесных экосистем.

Ключевые слова: пихта сибирская, хвоя, хлорофилл, каротиноиды, флавоноиды.

Пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) является одной из основных пород хвойных деревьев в лесах Кировской области. Научные данные подтверждают наличие широкого спектра биологически активных соединений, присутствующих преимущественно в хвое данного растения. Хвоя – основной орган накопления биохимических метаболитов, необходимых для нормального роста и жизнедеятельности организма [1].

Хвоя пихты сибирской применяется для изготовления продуктов разного назначения, включающей масло пихты, натриевую соль хлорофиллина, концентрат провитамина, воск хвойных пород, сушеную хвою и компост [2]. Свежая хвоя пихты представляет собой источник аскорбиновой кислоты, концентрация которой достигает до 0,32%. Наряду с этим она обогащена хлорофиллом, флавоноидами, каротиноидами, фитонцидами, а также жизненно важными микро- и макроэлементами [1].

Хлорофилл обладает значительной биологической активностью, проявляя положительное влияние на сердечно-сосудистую деятельность, работу дыхательного центра и нервной системы, а также оказывая общее тонизирующее действие. Каротиноиды способствуют повышению устойчивости организма к воздействию мутагенных и канцерогенных агентов. Эти вещества участвуют в фотосинтезе, где хлорофилл выполняет функции поглощения, трансформации и транспортировки световой энергии, тогда как каротиноиды играют четыре ключевые роли: антиоксидантную, антенную, структурную и фотозащитную. Флавоноиды, присутствующие в большом количестве в лекарственном растительном сырье, определяют его широкое применение в фармацевтическом производстве для изготовления препаратов с желчегонным, противовоспалительным и спазмолитическим эффектом [3, 4].

Изменение температуры, света и влажности в течение года сильно влияют на обмен веществ в хвое, что, в свою очередь, меняет количество и тип важных биологически активных веществ [5]. В годичном цикле выделяют два основных этапа: уменьшение содержания хлорофиллов *a* и *b* (Хл *a* и Хл *b*) в осенне-зимний период и восстановление их пулов в начале активной вегетации весной и летом. Содержание каротиноидов в хвое отдельных видов ели, пихты и сосны обыкновенной возрастает зимой и уменьшается весной [6]. Сведения о влиянии различных факторов на содержание фенольных соединений в тканях древесных растений достаточно противоречивы, и этот вопрос остается малоизученным [7].

Пигментный состав хвои является ключевым показателем, характеризующим биологическую активность хвойных деревьев. Этот показатель играет важную роль в определении фотосинтетического режима, адаптивных способностей и продуктивности деревьев.

Цель работы: определение концентраций хлорофилла *a* и хлорофилла *b*, каротиноидов, флавоноидов в хвое пихты сибирской.

Объект исследования – хвоя пихты сибирской сентябрьского и декабрьского сборов.

Сырье пихты было отобрано на территории Вожгальского сельского поселения Куменского района Кировской области.

Предварительно хвою подвергали сушке в сушильном шкафу при температуре 50 °С. Для последующего лабораторного анализа количественного содержания нужных веществ, хвою измельчали с помощью лабораторного измельчителя и отсеивали частицы, проходящие сквозь сито с диаметром отверстий 2 мм.

Содержание Хл *a* и Хл *b*, каротиноидов и флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом. Количественный анализ содержания пигментов в хвое осуществлялся после их экстракции ацетоном из исходного растительного сырья. Измерения проводились на спектрофотометре [8].

Принцип количественного определения флавоноидов состоит в приготовлении экстракта, добавления к нему спиртового раствора хлорида алюминия с содержанием основного вещества 2%. Последующее измерение оптической плотности осуществляют при длине волны, соответствующей максимальному поглощению флавоноидов (410 нм), принимая за стандарт рутин [9].

Исследования проводились в лабораториях кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии Института химии и экологии Вятского государственного университета.

Установлено, что в осеннем образце хвои пихты содержание Хл *a* и Хл *b* составило, соответственно, 2,30 и 0,77 мг/г, каротиноидов – 1,28 мг/г. В хвое пихты зимнего образца обнаружено 1,49 и 0,80 мг/г Хл *a* и Хл *b* соответственно; количество каротиноидов составило 0,67 мг/г.

Содержание флавоноидов в хвое пихты осеннего образца – 10,0 мг/100 г; содержание флавоноидов в хвое пихты зимнего образца – 8,0 мг/ 100 г.

Результаты проведенных исследований подтверждают снижение содержания хлорофилла *a*, каротиноидов и флавоноидов в хвое пихты сибирской в связи с наступлением холодов. Содержание хлорофилла *b* незначительно повышается в связи с наступлением зимнего сезона. Эти изменения отражают адаптацию растения к условиям пониженного освещения и низких температур, позволяя минимизировать фотодеструкцию и поддерживать минимальный уровень фотосинтетической активности в зимний сезон.

Библиографический список

1. Скрининговые исследования химического состава, антибактериальной активности и острой токсичности масляной фракции пихты сибирской / Т. В. Котова, А. С. Вальнюкова, Ю. С. Федорова и др. DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-2-10 // Индустрия питания. 2023. Т. 8. № 2. С. 93–104.
2. Сорокина Г. А., Ботяновская Д. А., Непомнящая Е. А. Эффективность комплексной переработки пихты сибирской // Экологическое образование и природопользование в инновационном развитии региона : сб. статей по материалам межрегиональной науч.-практ. конф. школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 2016. С. 274–276.
3. Федосеева Л. М., Малолеткина Т. С. Изучение и сравнительная оценка липофильных веществ зеленых, красных и черных листьев бадана толстолистного, произрастающего на Алтае // Химия растительного сырья. 1999. № 2. С. 113–117.
4. Флавоноиды лекарственных растений: прогноз антиоксидантной активности / В. А. Куркин, В. В. Поройков, А. В. Куркина и др. // Научный журнал. 2015. № 2. С. 517.
5. Михальчук Я. П. Определение влияния температуры на хвойные деревья, произрастающие на территории туристско-экскурсионного района заповедника «Столбы» // Проспект Свободный-2015 : сб. материалов Междунар. конф. студентов, аспирантов и мо-

лодых ученых, посвященный 70-летию Великой Победы (г. Красноярск, 15–25 апреля 2015 г.). Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015.

6. Сезонные изменения содержания хлорофиллов и каротиноидов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зоне влияния теплового поля газового факела / С. А. Шавин, И. А. Юсупов, Н. В. Марина и др. // Физиология растений. 2021. Т. 68. № 3. С. 315–325.

7. Сезонная динамика фенольных соединений в лубе и хвое сосны обыкновенной и кедра сибирского в посадках различной густоты / И. В. Плаксина, Н. Е. Суслов, Л. И. Романова, И. Л. Мылотина // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 103–108.

8. Гиндулин И. К., Щеголев А. А. Методы исследования древесной зелени : учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. 76 с.

9. ФС.2.5.0106. Шиповника плоды *Rosae fructus* [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/2/2-3/shipovnika-plody-/?ysclid=mpxsh05r7291312294> (дата обращения: 02.04.2026).

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ЭКСТРАКТЕ АЛОЭ ВЕРА

М. А. Ростовцева, Д. В. Петухов

*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, mrostovceva987@gmail.com*

В статье представлен опыт применения химического метода исследования для оценки качества спиртового экстракта алоэ вера. Определено содержание аскорбиновой кислоты методом кулонометрического титрования в экстракте алоэ вера. Подтверждена возможность использования натуральных растительных экстрактов в фармакологии и косметической промышленности.

Ключевые слова: экстракт, алоэ вера, аскорбиновая кислота, кулонометрический метод, фармацевтическая промышленность.

В течение последнего десятилетия в косметологической отрасли фиксируется устойчивая тенденция к росту потребительского спроса на продукцию, содержащую ингредиенты природного происхождения. Данный тренд обусловлен стремлением к минимизации рисков нежелательных реакций и повышению физиологической совместимости средств ухода с тканями человека. В ряду наиболее востребованных фитокомпонентов особое место занимает *Aloe vera* (алоэ настоящее, или алоэ вера) – суккулентное растение, известное выраженным противовоспалительным, антиоксидантным и гидратирующим потенциалом [1, 2]. Широкое применение экстрактов алоэ вера в рецептурах косметических средств актуализирует задачу стандартизации сырья и количественного определения биологически активных веществ в его составе. Настоящее исследование сфокусировано на анализе содержания аскорбиновой кислоты в экстракте *Aloe vera*, что представляет собой важный критерий оценки качества и прогнозируемой эффективности конечной продукции. Выявление особенностей химического профиля сырья способно открыть дополнительные

перспективы для разработки инновационных косметических формул, отвечающих современным запросам потребительской аудитории.

Aloe vera – многолетнее суккулентное травянистое растение, морфологической особенностью которого является розеточное расположение утолщенных мечевидных листьев. Листовая пластинка достигает 30–40 см в длину и до 10 см в ширину у основания, характеризуется сочной зеленой окраской, иногда с наличием характерных кремовых или желтоватых пятен. Край листа, как правило, снабжен мелкими зубцами. Основную биомассу листа составляет прозрачная гидрофильная гелеобразная паренхима (пульпа), в которой локализован комплекс ценных метаболитов, определяющих медицинскую и косметическую ценность сырья [1, 2]. Фитопрепараты на основе данного растения демонстрируют способность к глубокой гидратации и трофике тканей, эффективной редукции воспалительных реакций и раздражений, а также к формированию барьерной функции против агрессивных факторов окружающей среды [3–5].

Среди компонентов, выделяемых из геля *Aloe vera*, значительную роль играют витамины – низкомолекулярные органические соединения, выступающие в роли кофакторов метаболических реакций и регуляторов клеточного гомеостаза. В частности, растение аккумулирует витамины А, Е и С, которые синергично формируют антиоксидантный защитный комплекс.

Особый научный и практический интерес представляет аскорбиновая кислота (витамин С). Являясь мощным антиоксидантом, она ингибирует процессы перекисного окисления липидов в дермальных структурах и выступает необходимым кофактором биосинтеза коллагена. Вследствие воздействия аскорбиновой кислоты наблюдаются повышение эластичности кожного покрова и выраженное снижение вероятности гиперпигментации, обусловленной избыточной продукцией меланина. Установлено, что витамин С способствует фотопротекции, нивелируя негативные последствия инсоляции и предупреждая формирование пигментных пятен [6]. Следовательно, количественная оценка содержания данного соединения в сырье служит прямым индикатором его биологической ценности.

Объектом данного исследования являлось растительное сырье *Aloe vera*, культивированное в условиях закрытого грунта (жилое помещение), расположенного в Первомайском районе г. Кирова. Сбор вегетативной массы осуществлен в октябре 2025 года. Процесс первичной подготовки сырья включал стадию дегидратации: листья высушивались в защищенном от света, вентилируемом помещении при умеренной температуре в течение 24 часов. Дальнейшее измельчение высушенного материала до состояния гомогенного порошка производилось механическим способом в лабораторных условиях с использованием фарфоровой ступки и пестика, что обеспечило необходимую степень дисперсности для последующего химического анализа.

Цель данной работы заключалась в определении содержания аскорбиновой кислоты в экстракте алоэ вера.

Аскорбиновую кислоту в исследуемых образцах определяли методом кулонометрического титрования [7]. Далее вычисляли массу (мг) аскорбиновой кислоты по формуле:

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M}{F \cdot z},$$

где m – масса определяемой кислоты, мг; M – молярная масса определяемой кислоты, г/моль; F – число Фарадея (96485 Кл/моль); I – ток электролиза, мА; t – измеренное время электролиза, с; z – число электронов, участвующих в электропревращении кислоты.

В результате проведенного эксперимента установлено, что в экстракте алоэ вера содержится 23 ± 4 мг/100 г аскорбиновой кислоты.

Таким образом, в ходе эксперимента было установлено содержание аскорбиновой кислоты в экстракте алоэ вера. Установлено высокое содержание вещества в исследуемом сырье. По полученным результатам можно сделать вывод о том, что алоэ вера можно рекомендовать к применению в медицине, пищевой и косметической промышленности.

Библиографический список

1. Морфолого-анатомическое исследование листа алоэ вера / С. Н. Глущенко, А. А. Шмыгарева, А. Н. Саньков // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2018. № 3. С. 205–210.
2. Кондратенко П. Т. Заготовка, выращивание и обработка лекарственных растений. М. : Медицина, 1965. 348 с.
3. Аннамередов А., Аннамурадова А., Жуманиязов Э. Алоэ: лечебные свойства и применение растения в медицине // Вестник науки. 2023. Т. 1. № 10. С. 405–408.
4. Патикина А. С., Думенко А. В. Роль экстракта алоэ вера в современной косметологии // Студенческая наука и медицина XXI века: традиции, инновации и приоритеты : сб. материалов V Всеросс. (79-й Итоговой) студенческой науч. конф. (г. Самара, 13 апреля 2011 г.). Самара : ООО «Офорт», 2011. С. 248–249.
5. Мемекова Э. Р. Растения, оказывающие влияние на состояние кожи // Студенческая наука: лучшие исследования и разработки : сб. статей X Междунар. научно-исследовательского конкурса. Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2025. С. 20.
6. Головкин Б. Н., Руденская Р. Н., Трофимова И. А. Биологически активные вещества растительного происхождения. М. : Наука, 2002. 216 с.
7. Фокина А. И., Адамович Т. А. Инструментальные методы анализа (лабораторный практикум) : учебно-методическое пособие. Киров : ВятГУ. 2023. 84 с.

СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КУЛЬТИВИРУЕМЫХ ЭФИРОМАСЛИЧНЫХ РАСТЕНИЯХ

Е. В. Товстик, В. П. Слобожанина
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, usr20174@vyatsu.ru

Проведена сравнительная оценка содержания свободной фракции фенольных соединений (ФС) в различных органах мяты круглолистной, лаванды узколистной, монарды гибридной, культивируемых на территории Кировской области. Установлено, что, независимо от таксона растения, листья, по сравнению с соцветиями и стеблем, являются наиболее перспективным сырьем для извлечения ФС. Среди исследованных видов мяты круглолистная выделилась как сырье с более высоким содержанием ФС в пересчете на галловую кислоту (листья – 56,1; соцветия – 25,3; стебель – 13,1 мг/г).

Ключевые слова: галловая кислота, мята круглолистная, лаванда узколистная, монарда гибридная, лист, соцветие, стебель.

Среди групп лекарственного растительного сырья (ЛРС), содержащих различные биологически активные вещества (БАВ), особое место занимают эфиромасличные растения. Высокая востребованность в них обусловлена широким спектром фармакологического действия [1]. Современный рынок монопрепаратов на основе эфиромасличных растений является достаточно наполненным, причем значительную долю продукции обеспечивают отечественные производители [2].

Растущий спрос на натуральные лекарственные средства диктует необходимость расширения посевных площадей эфиромасличных культур, углубленного изучения их химического состава, стандартизации показателей качества сырья [2]. Интерес при этом могут представлять, как растения, сырьё которых включено в Государственную фармакопею Российской Федерации (ГФ РФ), так и виды, имеющие потенциал для последующего включения.

Широко известное ЛРС из группы эфиромасличных растений, включенное в ГФ РФ – листья мяты перечной (*Mentha × piperita* L.), собранные в фазу цветения. Цельное сырьё на листья мяты перечной стандартизуется по двум ключевым показателям. Один из них – содержание эфирного масла (лимонен, 1,8-цинеол, ментон, ментофуран, изоментон, ментилацетат, ментол, пулегон, карвон), второй – сумма флавоноидов в пересчете на лютеолин [3]. Кроме флавоноидов (включающих рутин), в состав листьев мяты перечной входят и другие БАВ, в том числе фенольные кислоты. Среди них розмариновая и галловая [4]. В отличие от мяты перечной, основным летучим компонентом эфирного масла мяты круглолистной (*Mentha suaveolens* Ehrh.) выступает не ментол, а оксид пиперитенона [5]. В настоящее время экстракты, полученные из надземных частей этого вида, также рассматриваются как цен-

ный источник природных антиоксидантов и антибактериальных веществ с потенциальным применением в пищевой и фармацевтической промышленности [6].

На данный момент завершается разработка текста фармакопейной статьи на эфиромасличное ЛРС «Лаванды узколистной цветки (*Narrow-leaved lavender flowers*), основным действующим веществом которого являются эфирные масла (лимонен, 1,8-цинеол, линалоол, линалилацетат, α -терпинеол) [7]. Однако, по данным исследований лаванды узколистной (*Lavandula angustifolia* Mill.) её химический состав гораздо шире. В каллусной культуре этого вида растения обнаружена розмариновая кислота, выступающая в качестве мажорного соединения и являющаяся сильнейшим антиоксидантом среди фенольных кислот [8].

Активно изучаются виды, не включённые в ГФ РФ. Среди них монарда гибридная (*Monarda* $\times$ *hybrida*). Этот таксон также обладает ценными фармакологическими свойствами, включая антиоксидантные и противовоспалительные [9]. Фенольный профиль монарды гибридной отличается значительным разнообразием. В его состав входят лютеолин, нарингенин, лютеолин-7-гликозид, рутин, гиперозид, галловая и хлорогеновая кислота, катехин [10].

Цель работы – сравнительная оценка содержания фенольных соединений (ФС) в различных органах эфиромасличных растений, культивируемых на территории Кировской области.

Объектом исследования служили мята круглолистная (сорт Apple Mint), лаванда узколистная (сорт Hidcote Blue Strain), монарда гибридная (сорт Sugar buzz Pink Frosting). Растения были выращены на территории садового хозяйства вблизи г. Кирова (Кировская область, Кирово-Чепецкий район, д. Марковщина в составе Пасеговского сельского поселения). Заготовку растений осуществляли в конце сентября 2025 г., сушку производили в сухом проветриваемом помещении без доступа света.

Высушенные растения делили на листья, соцветия, стебли. Производили измельчение растительного сырья на лабораторной мельнице рожкового типа марки DEXP CG-0201 (Китай). Для исследования содержания ФС (свободная фракция) получали водно-спиртовые извлечения из растительного сырья. Экстракцию ФС производили 70% этанолом при температуре +5 °С в холодильнике в течение 16 ч. Для отделения экстрактов от растительных остатков использовали лабораторную центрифугу марки CM-12 с ротором РУ-08 марки TAGLER (Россия). Анализ содержания ФС в извлечениях осуществляли спектрофотометрическим методом с реактивом Фолина–Чокальтеу на спектрофотометре марки ПЭ 5300 ВИ (Россия). В качестве стандарта использовали галловую кислоту (содержание основного вещества не менее 98%; CDH, Индия).

Согласно полученным результатам, содержание ФС в различных структурных частях эфиромасличных растений, культивируемых на территории Кировской области, варьировало от 7,4 до 56,1 мг/г (рис.).

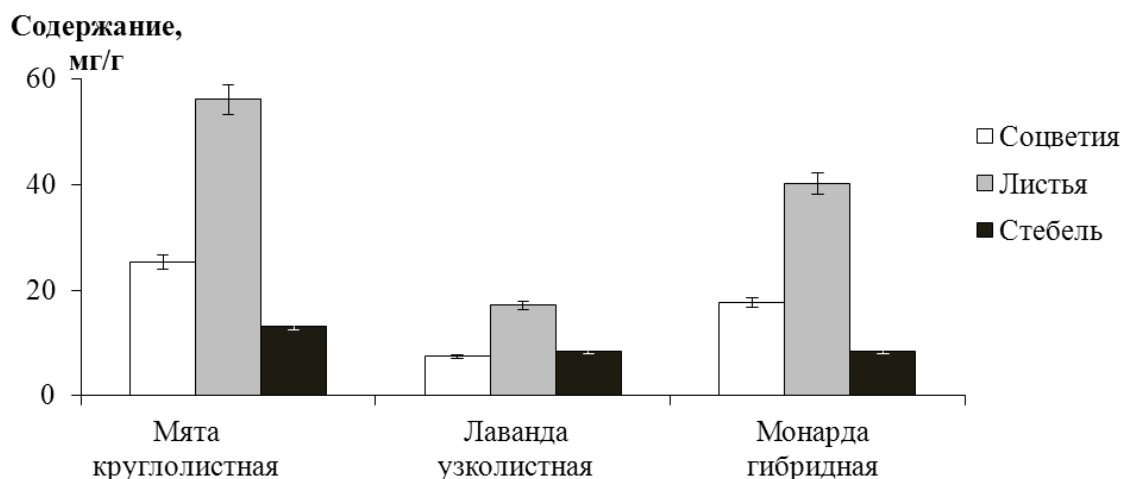


Рис. Содержание фенольных соединений в различных органах эфиромасличных растений, культивируемых в Кировской области

Не зависимо от таксона растений, наиболее богатым сырьём для извлечения ФС служили листья (от 17,1 до 56,1 мг/г). Разница в содержании по сравнению с соцветиями (от 7,4 до 25,3 мг/г) составила для исследуемых видов в 2,2–2,3 раза. Стебли, по сравнению с соцветиями и листьями, характеризовались самым низким содержанием ФС (от 8,3 до 13,1 мг/г). Исключение составила лаванда, у которой содержание ФС в соцветиях (7,4 мг/г) и стебле (8,3 мг/г) достоверно не различалось.

Среди исследованных видов мята круглолистная выделялась как сырьё с самым высоким содержанием ФС в листьях. Разница в содержании ФС по сравнению с аналогичными структурными частями монарды гибридной составила в 1,4; лаванды – в 3,3 раза.

Таким образом, проведена сравнительная оценка содержания ФС в различных органах мяты круглолистной, лаванды узколистной и монарды гибридной, культивируемых на территории Кировской области. Установлено, что, независимо от вида растения, листья, по сравнению с соцветиями и стеблем, являются наиболее перспективным сырьём для извлечения ФС. Среди исследованных таксонов мяты круглолистная выделилась как сырьё с самым высоким содержанием ФС в пересчете на галловую кислоту.

Библиографический список

1. Юсупова М. Р., Волкова Е. А. Лекарственные растения, содержащие моноциклические монотерпены // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2016. Т. 6. № 5. С. 896.
2. Жиркова М. А. Анализ российского рынка фитопрепаратов эфиромасличных растений // Вестник Башкирского государственного медицинского университета. 2022. № S9. С. 31–36.
3. ФС.2.5.0029.15. Мята перечной листья [Электронный ресурс]. – URL: https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-5/myaty-perechnoy-listyamenthae-piperitae-folia/?sphrase_id=1622624 (дата обращения: 29.03.2026).

4. Бекбулатова Е. В. Химический состав мяты перечной (*Mentha piperita* L.) и оптимизация параметров экстракции биологически активных веществ // *Universum: химия и биология*. 2025. № 11–2 (137). С. 32–35.
5. A haplotype-resolved gap-free genome assembly provides novel insight into monoterpenoid diversification in *Mentha suaveolens* ‘Variegata’ / H. Yang, C. Wang, G. Zhou, et al. DOI: 10.1093/hr/uhae022 // *Hortic. Res.* 2024. Vol. 11. No. 3. Article No. uhae022.
6. Phenolic compounds, antioxidant and antibacterial activities of extracts from aerial parts of *Thymus zygis* subsp. *gracilis*, *Mentha suaveolens* and *Sideritis incana* from Morocco / A. Bouymajane, F. R. Filali, M. Ouadiket, et al. DOI: 10.1002/cbdv.202101018 // *Chem. Biodivers.* 2022. Vol. 19. No. 3. Article No. e202101018.
7. Лаванды узколистной цветки [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia-projects/izdanie-15/lavandy-uzkolistnoy-tsvetki/?vers=6413> (дата обращения: 29.03.2026).
8. Особенности роста и накопления полифенольных соединений в каллусных культурах лаванды узколистной (*Lavandula angustifolia* Mill.) / П. А. Иванов, В. А. Хабаров, Д. А. Некрасова и др. DOI: 10.31857/S0015330324030061 // *Физиология растений*. 2024. Т. 71. № 3. С. 311–319.
9. Оценка фармакологической активности видов монарды, интродуцированной в Республике Башкортостан / Е. В. Красюк, Н. Н. Макарова, И. В. Петрова и др. // *Медицинский вестник Башкортостана*. 2015. Т. 10. № 5. С. 67–70.
10. Красюк Е. В., Пупыкина К. А., Анищенко И. Е. Характеристика фенольных соединений видов монарды, интродуцированных в Республике Башкортостан // *Башкирский химический журнал*. 2015. Т. 22. № 3. С. 79–83.

ВЛИЯНИЕ НАГРЕВАНИЯ И УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ КАРАНДАШАХ НА ОСНОВЕ СМОЛЫ ЕЛИ

С. А. Харина, В. В. Шишкина, А. Р. Киреева, А. И. Фокина
*Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, sf885@mail.ru*

В статье описан опыт изготовления лекарственных карандашей с включением смолы ели обыкновенной и результаты исследования содержания полифенолов, экстрагируемых 70% этиловым спиртом, до и после ультрафиолетового облучения и повторного плавления материала карандашей. Установлено, что УФ-облучение не влияет на содержание полифенолов, а после повторного плавления содержание исследуемых веществ снижается в два раза.

Ключевые слова: лекарственные карандаши, смола ели, полифенолы, УФ-облучение, нагревание.

Смола ели содержит сильнейшие природные антиоксиданты: салициловую и феруловую кислоты, стильбены (ресвератрол, изорапонтигенин), флавоноиды (катехин, кверцетин, кемпферол), смоляные кислоты. Проявляет антибактериальные, анальгетические и противовоспалительные свойства, что делает смолу ели перспективной заменой синтетическим аналогам. Широкое

распространение и доступность природного материала позволяют исследовать свойства данного объекта в составе различных лекарственных форм, например, в лекарственном карандаше. Карандаши лекарственные (ЛК) – твердая лекарственная форма в виде карандаша цилиндрической или конической формы с закругленным концом, предназначенная для наружного применения с целью оказания местного действия [1]. Во время контакта с кожными покровами человека происходит миграция биологически активных веществ, важных для оказания терапевтического эффекта. Для проявления всего спектра действия композиции лекарственных карандашей должны обладать достаточной биологической активностью, которая проявляется, в том числе, в количестве высвобождаемых полифенолов. Данные соединения обладают рядом важных свойств, обуславливающих их биологическую значимость: проявляют антиоксидантную активность, предотвращая фотостарение кожи; способствуют более эффективному заживлению ожоговых ран; защищают кожу от УФ-облучения. Основной функцией ЛК со смолой ели является оказание местного действия, связанного с заживлением ран и небольших ожогов, оказания бактерицидного и противовоспалительного эффектов. Также важно, чтобы материал ЛК сохранял свои свойства даже при воздействии различных факторов, например УФ-излучения и температуры, источники которых могут быть как природными, так и искусственными.

Цель исследования – оценка содержания полифенолов в вытяжках лекарственных карандашей до и после УФ-облучения и переплавки.

Изготавливали лекарственный карандаш с массовой долей смолы ели 15% методом выливания. Для изготовления использовали следующие компоненты: пчелиный воск (5,0 г), вазелин медицинский (11,0 г), масло подсолнечное рафинированное (9,0 г), смолу ели обыкновенной (6,0 г) и парафин (9,0 г).

Количество полифенолов определяли в вытяжках из материала карандашей, полученных 70% водно-спиртовым раствором. Вытяжки были изготовлены из материала карандашей, не подвергавшихся УФ-облучению, подвергавшихся УФ-облучению в течение 30 минут при длине волны 360 ± 30 нм, а также из материала карандашей, нагретого до полного расплавления ($t = 70$ °С) и последующего охлаждения до затвердевания. Концентрацию полифенолов в экстрактах определяли с реактивом Фолина–Чокальтеу при $\lambda = 765$ нм [2].

Результаты исследования представлены в таблице.

Таблица

Содержание полифенолов в вытяжках лекарственных карандашей до и после УФ-облучения и повторного плавления, мг/г карандаша

УФ-облучение		Плавление	
до УФ-облучения	после УФ-облучения	до плавления	после плавления
6,2±1,2	6,5±0,17	6,2±1,2	2,9±0,19

Содержание полифенолов в композиции лекарственного карандаша до воздействия физических факторов составило $6,2 \pm 1,2$ мг/г карандаша. После УФ-облучения наблюдается незначительное увеличение количества экстрагируемых полифенолов до $6,5 \pm 0,17$ мг/г карандаша, что свидетельствует о том, что УФ-излучение не воздействует на полифенольные соединения композиции. После повторного плавления содержание активных веществ снизилось в два раза ($2,9 \pm 0,19$ мг/г карандаша), что указывает на явный деградационный эффект лекарственной субстанции, вызванный воздействием высоких температур. Данный эффект можно объяснить разложением биологически активных соединений, входящих в состав лекарственной композиции (пчелиного воска и смолы ели). Поэтому не рекомендуется повторное плавление материала карандаша.

Библиографический список

1. ОФС.1.4.1.0028. Карандаши лекарственные [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-4/1-4-1-lekarstvennyye-formy/karandashi-lekarstvennyye/?ysclid=mpxzid7jsa440230343> (дата обращения: 29.03.2026).
2. ГОСТ Р 55488-2013. Прополис. Метод определения полифенолов: действ. с 01.01.2015 [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55142/> (дата обращения: 10.03.2026).

РОЛЬ ПОЛИМЕРНЫХ ДОБАВОК В МОДИФИКАЦИИ КОМПЛЕКСНЫХ СВОЙСТВ ЖЕЛАТИНОВЫХ ПЛЕНОК

М. С. Шабалина, М. К. Ренжина, Е. В. Товстик, Е. С. Широкова
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, usr20174@vyatsu.ru

В статье представлена оценка влияния различных концентраций альгината натрия, гидроксипропилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы натрия на растворимость, паропроницаемость и водопоглощение желатиновых пленок. Установлено, что варьирование типа и содержания исследуемых полимерных добавок в составе желатиновых пленок позволяет регулировать их паропроницаемость и водопоглощение.

Ключевые слова: желатин, пленка, альгинат натрия, гидроксипропилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза натрия, растворимость, паропроницаемость, водопоглощение.

К наиболее распространенным биополимерам, активно применяемым в современной медицине, относятся белки. Благодаря структурному сходству с естественными компонентами живых тканей они эффективно интегрируются в организм и характеризуются высокой биосовместимостью. Ограничивающим фактором их широкого внедрения выступает проблема иммуногенности. Одним из примеров успешного применения белков в медицине служит

желатин. Благодаря различной степени гидролиза и методам сшивки у материалов на основе желатина легко контролируется растворимость в воде и скорость биodeградации [1].

Согласно общей фармакопейной статье ОФС.1.4.1.0035 Государственной фармакопеи Российской Федерации XV издания, желатин выступает основой для производства лекарственных пленок. Эти пленки представляют собой твердую дозированную форму с модифицированным высвобождением, чаще всего – пролонгированным. К числу существенных преимуществ желатиновых пленок относится биodeградация *in situ*.

Разработка пленок на основе желатина по-прежнему актуальна, так как за счет варьирования состава и соотношения компонентов можно получать материалы с требуемыми свойствами, адаптированными под конкретные задачи. В частности, отдельные свойства желатиновых пленок оптимизируют с помощью вспомогательных веществ (пластификаторы, антимикробные консерванты, стабилизаторы, адгезивные вещества, корригенты вкуса и др.), а введение фармацевтической субстанции в них в виде раствора, эмульсии или суспензии позволяет обеспечить необходимое терапевтическое действие [2, 3].

Цель работы – оценка влияния альгината натрия, гидроксипропилацеллюлозы (ГЭЦ) и карбоксиметилцеллюлозы натрия (КМЦ-Na) на комплексные свойства желатиновых пленок.

Для изготовления пленок использовали пищевой желатин марки П-11 (ч., ООО «Реактив», Россия), представляющий собой гидролизованный коллаген с высоким содержанием гидроксипролина (85–88%), воды (10–16%) и золы (0,8–2,0%) (рис. 1).

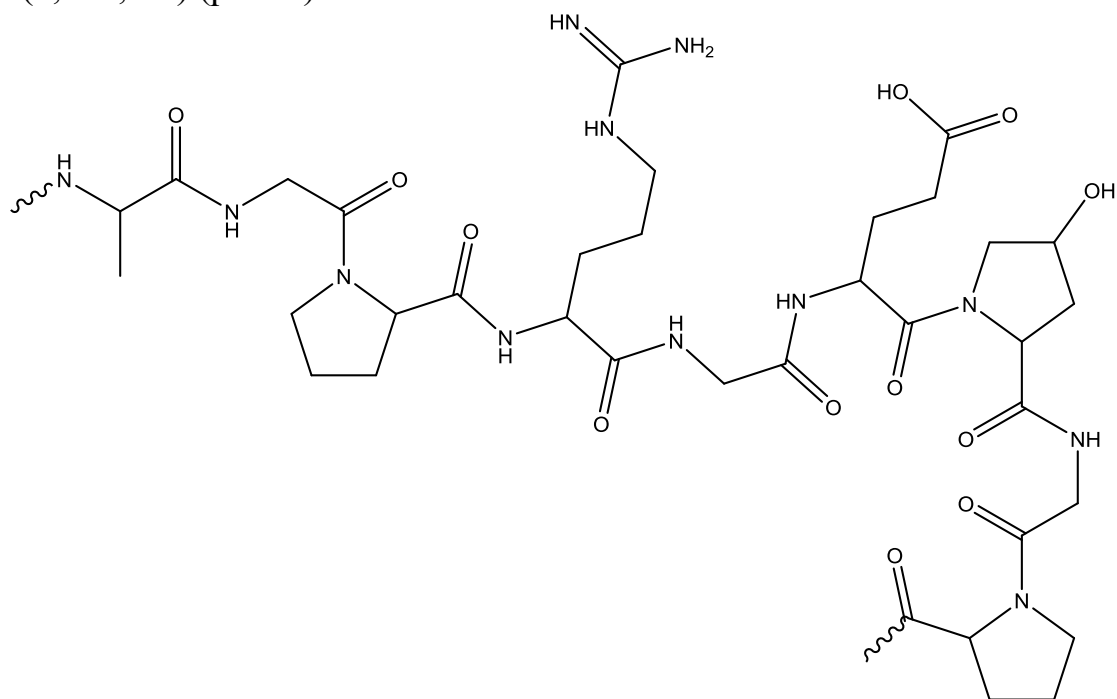


Рис. 1. Структурная формула желатина

Пластификатором служил глицерин (ч.д.а., «МСД Кемикалс», Россия). Для модификации свойств желатиновых пленок в состав вводили полимерные

добавки: альгинат натрия (99%, «Русхим», Россия) (рис. 2 а), ГЭЦ (Natrosol 250 ННR, «Русхим», Россия) (рис. 2 б), КМЦ-Na (DS = 1,2, Acros Organics, Бельгия) (рис. 2 в).

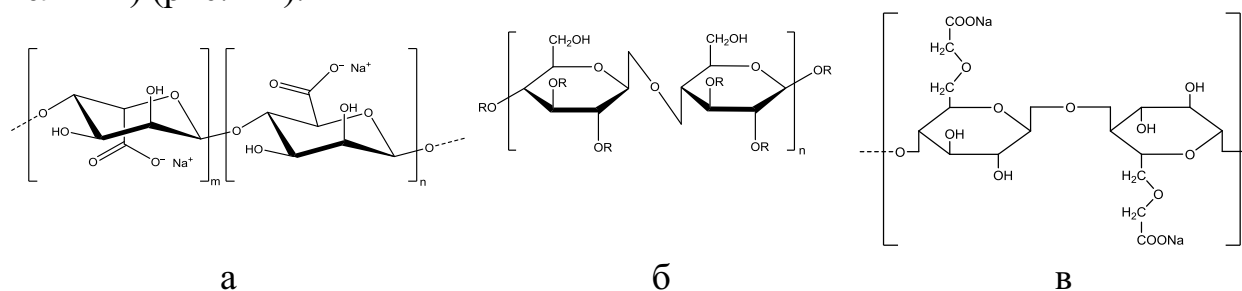


Рис. 2. Структурные формулы альгината натрия (а), гидроксиэтилцеллюлозы (б) и карбоксиметилцеллюлозы натрия (в)

Выбор альгината натрия в качестве добавки был обусловлен его способностью к образованию межмолекулярных водородных связей и ионному взаимодействию с молекулами желатина, благодаря которым может увеличиваться водопоглощаемость пленок [4]. Гидроксиэтилцеллюлоза за счет хорошей растворимости в воде биосовместима с различными полимерами. Большое количество функциональных групп (–ОН, –СООН) в ГЭЦ придает этому полимеру способность удерживать большое количество воды [5]. Карбоксиметилцеллюлоза натрия является частой добавкой к желатину с целью усиления межмолекулярных и внутримолекулярных связей, благодаря которым формируется прочная сетевая композитная пленка [6].

Готовили 25 г поливочного раствора на дистиллированной воде, содержащего 10% желатина, 5% глицерина, а также в зависимости от варианта опыта добавку 0,02; 0,04; 0,06; 0,08% альгината натрия (вариант 2–5), ГЭЦ (вариант 6–9) и КМЦ-Na (вариант 10–13). Контролем служила пленка на основе желатина, глицерина и дистиллированной воды (вариант 1).

Точные навески желатина и глицерина диспергировали в дистиллированной воде (контроль) при постоянном перемешивании на электрической плитке («Stegler HS», Китай) контролируя температуру (45 °С). После полного растворения желатина в раствор вводили в зависимости от варианта опыта альгинат натрия, ГЭЦ или КМЦ-Na. Далее вязкие растворы дегазировали. После полного удаления пузырьков газа поливочные растворы (5 мл) отливали в силиконовые формы размером 11,5×4,0 см и кондиционировали на воздухе 1 сут. при комнатной температуре (20±2) °С и относительной влажности воздуха (40±5)%. Перед испытанием полученные образцы желатиновых пленок выдерживали в эксикаторе над силикагелем в течение 72 ч. У полученных пленок оценивали растворимость [7], паропроницаемость [8] и водопоглощение [9]. Для испытаний использовали образцы пленок с ненарушенной структурой. Повторность опыта трехкратная.

Описанная технология позволила получить в лабораторных условиях желатиновые пленки. Образцы были гомогенными, прозрачными с глянцевой поверхностью, что указывало на равномерное распределение компонентов

в ней и полную дегазацию поливочного раствора. При температуре 37 °С (температура тела) образцы пленок полностью растворились в дистиллированной воде за 60 мин.

Паропроницаемость образцов за одни сутки составила 711 г/м² (контроль) и 398–1030 г/м² (с добавками) (рис. 3 а).

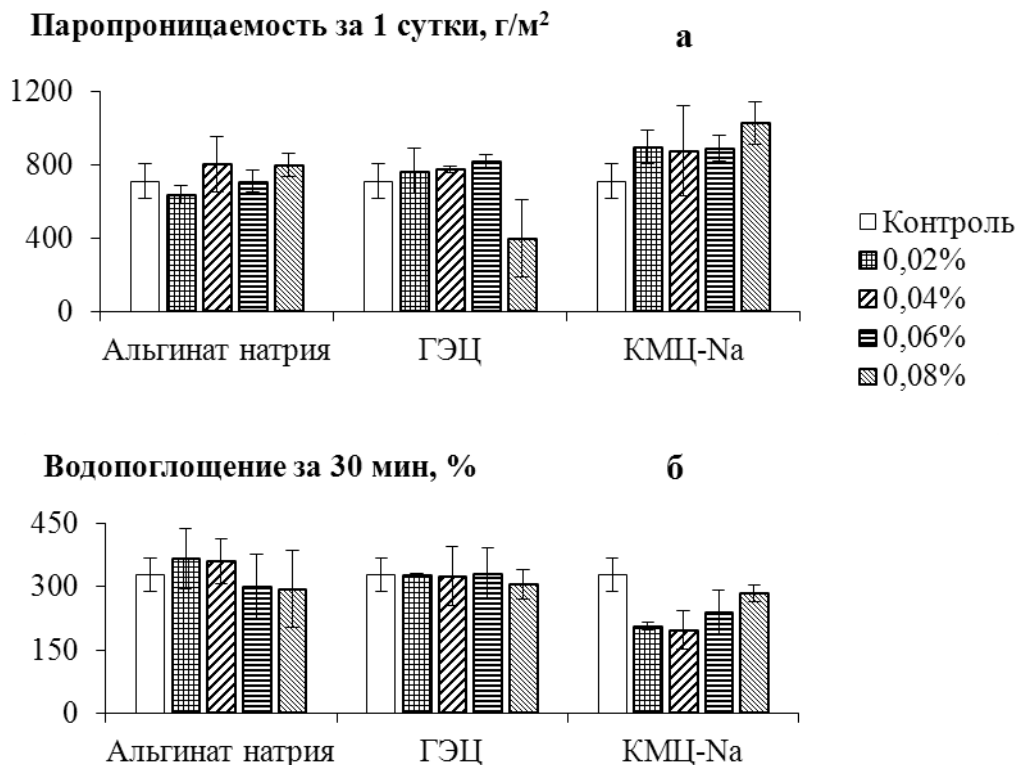


Рис. 3. Влияние полимерных добавок на паропроницаемость (а) и водопоглощение (б) желатиновых пленок

Согласно данным литературы скорость испарения воды с поверхности сухой здоровой кожи человека в спокойном состоянии составляет 144 г/м² в сутки. С раневой поверхности (ожоговой раны) человек теряет до 3400–5200 г/м² в сутки [10, 11]. Более существенное изменение паропроницаемости вызывала полимерная добавка при максимальном содержании 0,08%. Разница по сравнению с контролем в этом случае составила для альгината натрия 1,1; ГЭЦ – 0,6 (снижение); КМЦ-Na – 1,5 раза (повышение).

Различное содержание добавок в составе пленок оказывало неоднозначное влияние на водопоглощение желатиновых пленок, что подчеркивает специфику взаимодействия каждого полимера с желатиновой матрицей (рис. 3б). Например, введение добавок 0,02–0,08% альгината натрия и ГЭЦ в состав пленки практически не влияло на данный параметр. Незначительно снижало (206–285%) водопоглощение пленок введение в их состав КМЦ-Na по сравнению с контролем (330%). Влияние этой добавки в диапазоне исследуемых концентраций в составе следует учитывать при разработке лекарственных форм, так как снижение набухаемости образцов может замед-

лить скорость высвобождения действующего вещества из пленки или увеличить время ее биodeградации.

Таким образом, варьирование типа и содержания исследуемых полимерных добавок в составе желатиновых пленок позволяет регулировать их паропроницаемость и водопоглощение.

Библиографический список

1. Полимерные носители в биомедицине / И. А. Гуляев, М. Б. Сокол, М. Р. Моллаева и др. // Успехи биологической химии. 2025. Т. 65. С. 339–380.
2. ОФС 1.4.1.0035. Пленки [Электронный ресурс]. – URL: https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-4/1-4-1-lekarstvennye-formy/plyenki/?sphrase_id=1637353 (дата обращения: 30.03.2026).
3. Применение комплекса биологически активных веществ из *Aronia melanocarpa* в парафармацевтических фитоплёнках / В. А. Козвонин, Е. В. Товстик, В. К. Тупицын, С. А. Вотинцева. DOI 10.25750/1995-4301-2024-1-097-105 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 1. С. 97–105.
4. Blend films from sodium alginate and gelatin solutions / C. Xiao, H. Liu, Y. Lu, L. Zhang. DOI: 10.1081/MA-100103352 // J. Macromol. Sci. 2001. Vol. 38. No. 3. P. 317–328.
5. Demiral R. B., Kurtuluş O. Ç., Ondaral S. Characterization of hydroxyethylcellulose-gelatin based composites. DOI: 10.35812/cellulosechemtechnol.2025.59.21 // Cellulose Chem. Technol. 2024. Vol. 59. No. 3–4. P. 237–248.
6. Multifunctional packaging based on gelatin/hydroxyethyl cellulose and green synthetic carbon dots for simultaneous preservation and visual freshness monitoring of pork / Y. Chen, S. Qin, Z. Xi, et al. DOI: 10.1016/j.fbio.2025.107088 // Food Biosci. 2025. Vol. 71. Article No. 107088.
7. ГОСТ 21472-81. Материалы листовые. Гравиметрический метод определения паропроницаемости : действ. с 01.08.1981 [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/13585/?ysclid=mnrorvmwqm250464766> (дата обращения: 05.04.2026).
8. ГОСТ 20869-75. Пластмассы ячеистые жесткие. Метод определения водопоглощения : действ. с 01.07.1976 [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/35261/?ysclid=mnrowqu0ot617303323> (дата обращения: 06.04.2026).
9. Основные подходы к стандартизации пленок лекарственных / А. Л. Голованенко, М. М. Смирнова, И. В. Алексеева, О. А. Блинова // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 420.
10. Андреев Д. Ю., Парамонов Б. А., Мухтарова А. М. Современные раневые покрытия. Часть I // Вестник хирургии им. И. И. Грекова. 2009. Т. 168. № 3. С. 98–102.
11. Acute and chronic wounds: nursing management / Eds. R. Bryant, T. H. Burford, T. B. Ferguson. St. Louis: Mosby Year Book Inc., 1992. 350 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛОДОВ, ЛИСТЬЕВ И КОРЫ КАЛИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

С. В. Шулаев, Д. В. Петухов

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

В статье представлен опыт определения фитохимического состава плодов и коры калины обыкновенной. Проведено определение содержания аскорбиновой кислоты в коре, листьях и плодах калины обыкновенной методом кулонометрического титрования. Кроме этого, установлено содержание дубильных веществ титриметрическим методом.

Ключевые слова: калина обыкновенная, аскорбиновая кислота, дубильные вещества, кулонометрический метод, титрование.

Калина обыкновенная активно используется в народной медицине как лекарственное растительное сырье. По данным литературы [1] в коре калины обыкновенной содержатся дубильные вещества, соли органических кислот, флавоноиды, высшие жирные кислоты [2]; в ягодах – углеводы, пектиновые вещества, тритерпеноиды, стероиды, минеральные вещества [3]. Понимание химического состава этих растений может способствовать разработке новых лекарственных препаратов, фармацевтической продукции, а также поддержанию здоровья людей с использованием природных ресурсов.

Современные исследования фитохимического состава [4] плодов и коры калины обыкновенной включают изучение содержания биологически активных веществ, макро- и микроэлементов [5], а также разработку методик анализа. Эти исследования [6] связаны с применением калины в медицине, пищевой и косметической промышленности, и результаты исследований используются для стандартизации лекарственных средств на основе растения.

Цель работы заключается в изучении фитохимического состава плодов, листьев и коры калины обыкновенной.

Кора, листья и плоды калины обыкновенной отбирались в п. Захарищево Ленинского района г. Кирова Кировской области, расположенного в 20 км от г. Кирова по Победиловскому тракту. Пробы растительного сырья отбирали в сентябре 2025 г. Пробоподготовка заключалась в высушивании проб растительного сырья в темном месте на воздухе и ее измельчении до размера частиц диаметром 1 мм.

Аскорбиновую кислоту в исследуемых образцах определяли методом кулонометрического титрования [7, 8]. Дубильные вещества определяли титриметрическим методом, в качестве титранта использовали перманганат калия [9, 10].

Далее вычисляли массу (мг) аскорбиновой кислоты, которая находилась в аликвоте исследуемого экстракта, по формуле:

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M}{F \cdot z}, \quad (1)$$

где m – масса определяемой кислоты, мг; M – молярная масса определяемой кислоты, г/моль; F – число Фарадея (96485 Кл/моль); I – ток электролиза, мА (5 или 50 мА); t – измеренное время электролиза, с; z – число электронов, участвующих в электропревращении кислоты.

В результате проведенного эксперимента установлено, что содержание аскорбиновой кислоты в листьях, коре и плодах калины составляет, соответственно, 317 ± 51 , 100 ± 16 и 82 ± 13 мг/100 г.

Содержание суммы дубильных веществ в пересчете на танин в абсолютно сухом сырье в процентах (X) вычисляли по формуле:

$$X = \frac{(V - V_1) \cdot 0,004157 \cdot 250 \cdot 100 \cdot 100}{a \cdot 25 \cdot (100 - W)}, \quad (2)$$

где V – объем 0,02 М раствора перманганата калия, израсходованного на титрование водного извлечения, мл; V_1 – объем 0,02 М раствора перманганата калия, израсходованного на титрование в контрольном опыте, мл; 0,004157 – количество дубильных веществ, соответствующее 1 мл 0,02 М раствора перманганата калия (в пересчете на танин), г; a – навеска лекарственного растительного сырья или лекарственного растительного препарата, г; W – влажность лекарственного растительного сырья или лекарственного растительного препарата, %; 250 – общий объем водного извлечения, мл; 25 – объем водного извлечения, взятого для титрования, мл.

Содержание дубильных веществ в пересчете на танин в плодах, листьях и коре калины обыкновенной составило 4,6, 7,3 и 4,8%, соответственно.

Таким образом, в ходе эксперимента было установлено содержание аскорбиновой кислоты, содержание дубильных веществ в плодах, листьях и коре калины обыкновенной. Установлено высокое содержание данных веществ в исследуемом сырье. По полученным результатам можно сделать вывод о том, что плоды, листья и кору калины обыкновенной можно рекомендовать к применению в медицине, пищевой и косметической промышленности.

Библиографический список

1. Биологически активные вещества плодов калины обыкновенной / И. Б. Перова, А. А. Жогова, А. В. Черкашин и др. // Химико-фармацевтический журнал. 2014. Т. 48. № 5. С. 32–39.
2. Антиоксидантная активность коры калины обыкновенной (*Viburnum opulus* L.) / Т. И. Андреева, Е. Н. Комарова, М. С. Юсубов, Е. И. Короткова // Химико-фармацевтический журнал. 2004. Т. 38. № 10. С. 26–28.
3. Попова Е. И., Хромов Н. В. Ценность ягод и листовой массы калины в витаминном плане // Основные, малораспространенные и нетрадиционные виды растений – от изучения к внедрению (сельскохозяйственные и биологические науки) : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (в рамках V науч. форума «Неделя науки в Крутах-

2020»). (с. Круты, Украина, 12 марта 2020 г.). Т. 2. Круты, Украина : Опытная станция «Маяк» 2020. С. 155–160.

4. Хохрякова Л. А. Калина // Программа работ селекцентра НИИ садоводства Сибири имени М. А. Лисавенко до 2030 г. (г. Новосибирск, 06 июня 2010 г.). Вып. 3. Новосибирск : ГНУ НИИСС Россельхозакадемии, 2011. С. 163–168.

5. Бердиев Э. Т., Хомидов М. Х., Эгамбердиев Ш. Биозкологические и биохимические особенности калины обыкновенной (*Viburnum opulus* L.), интродуцированной в Узбекистане // Proceedings of international conference on modern science and scientific studies. 2023. Vol. 2. No. 3. P. 96–103.

6. Асабаев Т. С. Лекарственные растения Сибири, применяемые при воспалительных заболеваниях в ветеринарной гинекологии // World science: problems and innovations : сб. статей XXI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 30 мая 2018 г.). Ч. 1. Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение». 2018. С. 280–284.

7. Пат. 2 464 558 С2. РФ, МПК G01N 33/02 (2006.01), G01N 27/44 (2006.01). Способ кулонометрического определения содержания аскорбиновой кислоты в растительном сырье и препаратах из растительного сырья ; № 2010137455/15 : заявл. 08.09.2010 ; опубл. 20.10.2012 / Абдуллина С. Г., Агапова Н. М., Хазиев Р. Ш. 6 с.

8. Фокина А. И., Адамович Т. А. Инструментальные методы анализа (лабораторный практикум) : учебно-методическое пособие. Киров : ВятГУ, 2023. 84 с.

9. Рыжкова М. С. Фармакогностический анализ сырья лекарственных растений, содержащего дубильные вещества // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2015. Т. 5. № 5. С. 812.

10. ОФС.1.5.3.0008. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных средствах растительного происхождения [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=mpy5ga2vcz519875842 (дата обращения: 14.03.2026).

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИНАРНЫХ СИСТЕМ ЭКСТРАГЕНТОВ

Д. В. Шутова, Е. С. Соловьёва
Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, shutov4daria@yandex.ru

В статье представлены результаты экспериментального изучения эффективности применения бинарных систем экстрагентов для одновременного извлечения биологически активных веществ разной полярности – β -каротина и витамина С – из различного растительного сырья, а именно корнеплодов моркови и плодов шиповника. Установлено, что наибольшая эффективность одновременного извлечения целевых соединений достигается при использовании системы «гексан / 30% спирт».

Ключевые слова: экстракция, бинарные системы экстрагентов, β -каротин, витамин С.

Современная фармацевтическая технология сталкивается с задачей эффективного извлечения максимально полного спектра биологически активных веществ (БАВ) из растительного сырья [1]. Одним из самых распростра-

ненных методов извлечения БАВ является экстракция. Традиционные методы экстракции, как правило, ориентированы на использование одного экстрагента, что ограничивает извлечение соединений с разной полярностью [2]. Перспективным решением является применение бинарных систем экстрагентов, позволяющих в одну стадию получать экстракты, обогащенные как гидрофильными, так и липофильными компонентами [3]. Особый интерес для изучения среди биологически активных соединений представляют антиоксиданты, в частности витамин С и β -каротин, которые защищают клетки от окислительного стресса. Научно значимым является их синергетическое действие, усиливающее противовоспалительные и иммуномодулирующие эффекты [4]. Цель настоящей работы – оценить эффективность различных бинарных систем экстрагентов для одновременного извлечения β -каротина и витамина С из корнеплодов моркови и плодов шиповника и выявить оптимальную систему.

Растительное сырье, богатое этими соединениями, выступает объектом для исследований. К их числу относятся корнеплоды моркови (*Daucus carota* subsp. *sativus*), содержащие 8,3 мг β -каротина и 5 мг витамина С на 100 г продукта, и плоды шиповника (*Rosae fructus*), которые содержат 2,6 мг β -каротина и 650 мг витамина С на 100 г сырья [5, 6].

Бинарные системы экстрагентов представляют собой смесь двух несмешивающихся между собой жидкостей разной полярности [7]. В качестве полярной фазы используют водные растворы органических растворителей различной концентрации – этанол, глицерин, диметилсульфоксид, пропиленгликоль. В качестве неполярной фазы применяют масла (подсолнечное, пальмовое, персиковое и др.) и липофильные основы [8]. В работе в качестве полярной фазы использовали пропиленгликоль и раствор спирта с концентрацией 30%. В качестве неполярной фазы выступали рафинированное дезодорированное растительное масло и гексан. На основе выбранных растворителей составили четыре бинарные системы: масло/спирт, масло/пропиленгликоль, гексан/спирт, гексан/пропиленгликоль.

Процесс экстракции проводили методом мацерации с применением перемешивания и нагревания в термостате до 40 °С в течение 30 минут. Сырье перед проведением экстракции подготавливали следующим образом. Высушивали при температуре не выше 30 °С, измельчали до размера частиц 5 мм. Брали навеску подготовленного сырья массой 10 г, помещали в стакан, добавляли экстрагент. Соотношение сырье : экстрагент составляло 1 : 10, соотношение полярной и неполярной фаз в бинарных системах – 1 : 1. По окончании процесса экстрагирования извлечения фильтровали, разделяли на делительной воронке на полярную и неполярную фазы.

Количественное определение β -каротина проводили методом спектрофотометрии при длине волны 450 нм [9] в неполярной и полярной фазах, в качестве растворов сравнения использовали те же фазы, что и в бинарных системах. Количественное определение витамина С выполняли методом потенциометрического титрования раствором 2,6-дихлорфенолиндофенолята

натрия только в полярной фазе [10]. Результаты определения содержания целевых биологически активных веществ представлены в таблице.

Таблица

Содержание β -каротина и витамина С в экстрактах

Экстрагент	Сырье	Содержание β -каротина, мкг/мл	Содержание витамина С, мг/мл
Масло/спирт	Морковь	5,5±0,8	1,6±0,5
	Шиповник	4,0±0,6	1,9±0,9
Масло/пропиленгликоль	Морковь	4,9±0,7	0,8±0,5
	Шиповник	1,6±0,2	1,8±0,9
Гексан/спирт	Морковь	6,5±0,9	5,9±1,9
	Шиповник	7,4±1,1	9,0±5,0
Гексан/пропиленгликоль	Морковь	6,2±0,9	1,3±0,5
	Шиповник	1,0±0,2	2,5±0,5

Примечание: жирным шрифтом выделены самые высокие показатели.

По данным можно сделать вывод о том, что все экстракты из корнеплодов моркови, полученные с использованием бинарных систем, содержат значительное количество β -каротина. Наибольшее его содержание обнаружено в экстракте гексан/спирт – 6,5±0,9 мкг/мл, наименьшее (4,9±0,7 мкг/мл) – в экстракте масло/пропиленгликоль.

Наибольшее содержание витамина С в экстрактах корнеплодов моркови обнаружено в том, который получали, используя смесь гексан/спирт – 5,9±1,9 мг/мл. Остальные бинарные системы извлекали витамин С из корнеплодов моркови не так эффективно, как данная система.

В экстрактах плодов шиповника наблюдается такая же тенденция. Наибольшее содержание как β -каротина, так и витамина С обнаружено в экстракте, полученном бинарной системой гексан/спирт: β -каротина – 7,4±1,3 мкг/мл, витамина С – 9,0±5,0 мг/мл.

Прослеживается закономерность, что экстракты обоих видов сырья, полученные с использованием бинарной системы гексан/спирт содержат наибольшее количество как β -каротина, так и витамина С. Можно сделать вывод, что она является самой эффективной для их совместного извлечения.

Таким образом, на примере получения экстрактов из корнеплодов моркови и плодов шиповника продемонстрирована целесообразность использования бинарных систем экстрагентов, позволяющих за один технологический цикл получать вытяжки, обогащенные как липофильными, так и гидрофильными соединениями. Показано, что система гексан/30% спирт является наиболее эффективной для совместного извлечения β -каротина и витамина С.

Библиографический список

1. Сравнение экстракционной эффективности органических растворителей и бинарных систем для получения биологически активных комплексов арктических бурых водорослей / А. Э. Паршина, Х. Б. Маматмуродов, К. Г. Боголицын и др. DOI: 10.14258/jcrpm.20230412553 // Химия растительного сырья. 2023. № 4. С. 165–174.

2. Modern methods of pre-treatment of plant material for the extraction of bioactive compounds / A. Krakowska-Sieprawska, A. Kiełbasa, K. Rafińska, et al. DOI: 10.3390/molecules27030730 // *Molecules*. 2022. Vol. 27. No. 3. Article No. 730.
3. Aqueous two-phase systems as a robust platform for green extraction of bioactives in plant-based products / X. H. Zhang, S. Y. Li, M. X. Li, et al. DOI: 10.1080/15422119.2025.2493849 // *Sep. Purif. Rev.* 2026. Vol. 55. No. 2. P. 188–208.
4. Oral antioxidant and lutein/zeaxanthin supplements slow geographic atrophy progression to the fovea in age-related macular degeneration / T. D. L. Keenan, E. Agrón, P. A. Keane, et al. DOI: 10.1016/j.optha.2024.07.014 // *Ophthalmology*. 2025. Vol. 132. No. 1. P. 14–29.
5. Морковь сырая – химический состав и пищевая ценность [Электронный ресурс]. – URL: <https://fitaudit.ru/food/120821> (дата обращения: 05.04.2026).
6. Шиповник. Химический состав и пищевая ценность [Электронный ресурс]. – URL: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/442.php (дата обращения: 05.04.2026).
7. Вайнштейн В. А., Каухова И. Е. Двухфазная экстракция в получении лекарственных и косметических средств. СПб. : Проспект Науки, 2024. 104 с.
8. Чучалин В. С., Келус Н. В. Технология получения экстракционных фитопрепаратов : учебное пособие. Томск : Изд-во СибГМУ, 2019. 198 с.
9. Johnson E. J. The role of carotinoids in humen health. DOI: 10.1046/j.1523-5408.2002.00004.x // *Nutr Clin Care*. 2022. Vol. 5. P. 56–65.
10. ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С : действ. с 01.01.1990. [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294829/4294829760.pdf> (дата обращения: 07.04.2026).

СЕКЦИЯ 9 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

DEVELOPMENT OF A SUSTAINABLE FORMULATION FOR MOSS CONTROL ON HISTORICAL MONUMENTS

S. K. Daftari, S. Sharma, S. Patidar

*Dr. C. V. Raman University, Khandwa, India
sandeshdaftari@cvrump.ac.in*

Moss growth on historical monuments accelerates deterioration and moisture retention. A sustainable formulation using vinegar, salt, and water was developed for eco-friendly moss control. A sequential method was proposed to avoid neutralization and enhance cleaning efficiency. The formulation is simple, cost-effective, and suitable for heritage conservation.

Keywords: moss control, eco-friendly formulation, heritage conservation, acetic acid, sustainable cleaning

Historical monuments are continuously exposed to environmental conditions that promote biological growth such as moss, algae, and lichens. Among these, moss significantly contributes to moisture retention and gradual deterioration of stone surfaces. This leads to structural weakening, discoloration, and long-term damage. Therefore, effective and safe removal of moss is essential for the preservation of cultural heritage structures.

Conventional chemical cleaning methods often involve harsh substances that may damage the substrate and pose environmental risks. These methods can cause surface erosion and alter the natural composition of stone materials. In recent years, sustainable and eco-friendly approaches have gained importance in conservation practices [1–4].

The present work focuses on the development of a simple, cost-effective, and environmentally friendly formulation for moss control using readily available materials. The formulation is designed to ensure ease of preparation and application without requiring specialized equipment.

The formulation was prepared in a 100 ml batch using vinegar (acetic acid) 30 ml, rock/sea salt 1.5 g, and distilled water 60 ml. Baking soda (3 g) was not directly mixed in the formulation but used separately during application to enhance cleaning efficiency. The exclusion of oils from the formulation improves surface penetration and avoids formation of hydrophobic layers that may reduce effectiveness.

The preparation process involved taking 60 ml of distilled water in a clean beaker, followed by the addition of 30 ml vinegar with continuous stirring to form the base solution. After proper mixing, 1.5 g of rock salt was added and dissolved completely to obtain a uniform solution. The prepared formulation was then transferred into a spray bottle and stored in a cool and dry place.

It is important to consider the chemical interaction between vinegar (acetic acid) and baking soda (sodium bicarbonate). When mixed together, they undergo a neutralization reaction producing carbon dioxide, water, and sodium acetate, which reduces the cleaning effectiveness. To overcome this limitation, a sequential application method is proposed. In this method, the vinegar-based solution is first applied to degrade the moss through acidic action, followed by application of baking soda to provide mild abrasion and assist in removal of residual biomass.

The mechanism of action of the formulation is based on combined physico-chemical effects. The acidic nature of vinegar lowers the pH and disrupts the cellular structure of moss. Salt contributes to osmotic dehydration, leading to damage of moss cells. The subsequent application of baking soda enhances mechanical cleaning and supports removal of degraded material.

The functional roles of the ingredients used in the formulation are summarized in Table 1.

Table 1

Functional role of ingredients in moss control formulation

Ingredient	Quantity	Function
Vinegar (Acetic acid)	30 ml	Acidic degradation of moss
Water	60 ml	Solvent/base medium
Rock salt	1.5 g	Osmotic dehydration
Baking soda*	3 g	Mild abrasive (used separately)

*Note: * baking soda is applied separately to avoid neutralization with vinegar.*

The developed formulation is eco-friendly, biodegradable, and suitable for small-scale application on heritage surfaces. The spray method ensures uniform application and controlled usage. The formulation is particularly useful in humid regions where moss growth is prevalent.

However, further studies are required to evaluate parameters such as moss removal efficiency, compatibility with different stone surfaces, and long-term effects. Comparative analysis with conventional cleaning agents may provide additional insights into its effectiveness.

The developed approach provides a sustainable alternative for conservation practices and supports environmentally responsible maintenance of historical monuments.

Conclusion. The study presents the development of a sustainable and eco-friendly formulation for moss control. The formulation is simple, economical, and effective when applied using a sequential method. It offers a promising alternative to conventional chemical treatments and supports the preservation of historical monuments. Further experimental validation is recommended for large-scale application.

References

1. Effect of NaCl road salt on the ionic composition of soils and *Aesculus hippocastanum* L. foliage and leaf damage intensity / K. Łuczak, I. Czerniawska-Kusza, C. Rosik-Dulewska, G. Kusza. DOI: 10.1038/s41598-021-84541-x // Sci. Rep. 2021. Vol. 11. No. 1. Article No. 5309.
2. Biological colonization on stone monuments: a new low impact cleaning method / G. Torenó, D. Isola, P. Meloni. DOI: 10.1016/j.culher.2017.09.004 // J. Cult. Heritage. 2017. Vol. 47. P. 197–207.
3. Ranalli G., Zanardini E. Biocleaning on cultural heritage: new frontiers of microbial biotechnologies. DOI: 10.1111/jam.14993 // J. Appl. Microbiol. 2021. Vol. 131. No. 2. P. 583–603.
4. Methods of monument protection from damage and their performance / D. Y. Vlasov, V. A. Parfenov, M. S. Zelenskaya, et al. DOI: 10.1007/978-3-319-79072-5_7 // The effect of the environment on Saint Petersburg's cultural heritage. Geoheritage, geoparks and geotourism / Eds. O. Frank-Kamenetskaya, D. Vlasov, V. Rytikova. Cham: Springer, 2019. P. 161–178.

HOME GARDENING: AN INDIGENOUS STRATEGY FOR BIODIVERSITY CONSERVATION AND FOOD SECURITY

Prof. (Dr.) F. G. Lyndem, Dr. S. Banerjee, Prof. (Dr.) S. Bhowmick
William Carey University, Meghalaya, Shillong, India,
febreenalyndem@gmail.com

Significant enhancement of household food security is made possible by home gardening of which kitchen gardening is a conspicuous part. Home gardening is a safe and secure source of fresh, nutritious, and diverse food that significantly reduces the dependence on markets. With the availability of smaller plots of farm land integrated farming can also bring to the dinner plate a variety of food while reducing reliance on market supply chains. Home gardening, particularly in low-income settings, help the members of the households to have harvests of herbs, shrubs, vegetables, fruits and essential vitamins and minerals. During the COVID Pandemic smaller family settings, home gardening has fostered the capacity to cope with food shortages and also ameliorate household well-being. Home gardening functions as a life-sustaining factor. Besides providing food security, it is also a critical factor for sheltering, restoring, and sustaining the ecosystems for the future. Home gardening provides an opportunity for experiential learning and furthers familial and community bond.

Key words: home garden, biodiversity conservation, ecology, food security, COVID pandemic.

Ecology is a Greek word derived from the word oikos meaning house, home or place to live Ecology explore the integrated relationship and interactions between organisms and their environment. This field of the day is relatively young but focuses on the study of plant and animal community and their interconnectedness and their interdependence on each other. It provides the understanding of the relationship between plants and animals and its surroundings. It also pro-

vides information about ecosystems and how useful the earth resources are and its importance for a healthy environment for future generations.

There are many specialities in ecology such as vegetation, aquatic, statistical that give us a better understanding of the environment around us. This information can help us to understand improve and manage our resources and also protect human health. Ecological knowledge has positive influence in our lives. One such knowledge is the knowledge that is part of the indigenous knowledge wherein we see the preservation conservation of different plant and animal species in home gardens.

Home gardens are the cultivation of vegetable, fruits, herbs and flowers around a residential dwelling for personal consumption, decoration or recreational purpose. It also acts as a sustainable food source that provides fresh produce, reduces carbon footprints and also offers therapeutic physical and psychological benefits. Home gardens are defined as lands surrounding a house where a mixture of annual and perennial plants sometimes alongside animal is cultivated and managed by household members for personal use or commercial purpose they serve as a source of edible medicinal and useful plants contributing to food security and biodiversity conservation. It has been seen that in home gardens these plants and animals provide the family with a variety of production services throughout the year such as wood poles fruits shades for livestock wood, fibre, medicines, soil conservation etc.

Home gardens also called as kitchen or house gardens are a good example of traditional agroforestry system. The output of home gardens are diverse and production provides farmers with extra income. Home gardens represent an essential land-use system in the region, and highlights the diversity of food resources and the multiple benefits provided by home gardens [1]. Home gardens offer cultural appropriate foods that locals enjoy provide domestic requirements and ensure income stability [1].

Home gardens play an important role in both biodiversity conservation and food security. Plants such as vegetables, fruits, medicinal herbs and local varieties are commonly found in home gardens. Home gardens have conserved these rare traditional and indigenous plants species of an area. The species found in home garden may have resistant genomes to resist diseases and climate change. Presence of such species enrich the genetic resources of a local variety that maybe helpful towards combating pest and climate change challenges [2].

The presence of variety of species among the plants also provide food and shelter for pollinators such as butterfly, birds and other beneficial insects which are important to maintain the ecological balance of the area.

Home gardens also have ecological services such as they can reduce soil erosion conserve water and improve air quality. The trees and shrubs absorb the carbon dioxide and release oxygen which in turn reduces the heat in an around the housing complexes.

Home gardens are also very important in protecting the traditional farming practices, medicinal plants that are used by the local community which also helps in conserving the indigenous knowledge of the area.

Home gardens play crucial role a steady supply of food items like vegetables, spices, herbs of daily consumption leading to a regular supply of nutritious food. During the pandemic the home gardens provided a regular supply of a variety of dietary supplements particularly vitamins and minerals in places where the supply of food was disturbed due to disruption of transport. The common local foods and vegetables provided respite to the people that helped the people during the pandemic by maintaining a steady food supply. Therefore, home gardens are very helpful during emergencies, economic crisis, natural disasters as backup for food and help to maintain the food security in both rural or urban setup.

The aim of this study is to assess the significance of home garden in species conservation, food security, transmitting indigenous knowledge, and mitigating climate change.

The current study adopts a qualitative and descriptive research design based on secondary data analysis. A comprehensive systematic review of existing research article, reports have been carried out. Articles were accessed through academic databases such as Google Scholar, Scopus, Web of Science, JSTOR, and Research Gate. The articles published in peer reviewed journal within a time frame have been given priority. A critical analysis of existing research articles has been conducted to synthesize knowledge relevant to the research objectives.

Most of the study on home gardens conducted report on food security, nutritional potential and biodiversity conservation. Early studies were conducted to inventories the types of species found in home gardens [3]. The significance of home gardens in conservation of endemic plant species, which leads to the food security is also focused on various studies. Majority of the homegardens are distributed in in East & West of Africa, South and Southeast Asia, Pacific Island and meso-America. The studies also revealed that a lot of work has been conducted to look at the food security and biodiversity conservation aspects of home gardens uses.

Home garden and Agroforestry. Homegardens are a traditional form of Agroforestry. It also represents one of the oldest and sustainable form of agroforestry. Vikas Tiwari [4], in his study showed the importance of tropical home garden agroforestry system and also showcased that home gardens represent intimate multi story combinations of various perennial and annual crops sometimes in association with domestic animals around the house which served as a permanent or temporary supply of food. Home gardens are also traditional resource management adaptations of agro forestry systems that have direct potential provisions for improvement in livelihood through simultaneous food production such a fruits, vegetables, root crops and indirectly improving socio cultural and ecological benefits for nutritional security along with improving soil conditions and mitigate climate change and nutritional security. C. Duffy et al. [5] documented in the review of literature the benefits of agroforestry and its relation to food security, food access, dietary diversity, nutritional security and income.

Tefera Mekonen et al. [6] recorded 113 plants species belonging to 46 families of which 45 we have 34 were trees 26 and 8 were climbers. The cash crops *Catha edulis*, *Rhamnus prinoides* and *Ruta chalepensis* were common and the

abundant tree species were *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus camaldulensis* and *Faidherbia albida*. Thus, concluding that home gardens significantly contribute to the agrobiodiversity of Oromia Region of Ethiopia.

Dilrukshi Hashini Galhena et al. [7] state that home gardens enhance household food security as home gardens are an important component of family farming that include kitchen or backyard gardens which provide local food systems of local vegetables, fruits, spices, herbs, medicinal plants, etc., which are fresh supply of nutritious food on a continuous basis. Home gardens also ensure food to under privileged and resource poor households.

Rasmita Sharma et al. [8], in their study report that home gardens provide food security nutritional needs health and wellness and preservation of agro biodiversity and ensuring sustainability which full fill the SDG goals category 1 (1 to 5 – poverty dimensions).

H. Mohri et al. [9], report traditional home gardens maintain high ecosystem diversity and provide ecosystems services especially in rural areas.

Mekonnen Amberber et al. [10], in Holeta Town, Oromia National Regional State, Ethiopia identified 112 plants species of which 49 % were herbs, 32% were tree species, 28% shrubs species and 3% were climbers. Home gardens flora is composed of both food and nonfood varieties of which 41.07% were food species and 58.93% were nonfood species. The food species include 17% fruit trees, 13% vegetables and 6% pulses and cereals and the nonfood crops included medicinal plants of 13% and building and construction plans 12% and miscellaneous making 5% concluding that home gardens is worth for institute conservation of plant biodiversity.

A. A. Semu [11] reported that the plants belonged to 35 families which consist of food plants that provide diversity of fresh food with nutrition at lowcost.

Together the combination of home garden and agroforestry can contribute in biodiversity conservation, mitigation of climate change and adaptation, soil fertility and ecosystem resilience, household nutrition and food security.

Home Garden and Indigenous knowledge. Home gardens reflect indigenous knowledge through cultural values, religious ethos and social customs. Indigenous knowledge plays a significant role in selection of species, spatial arrangement, seasonal variations, harvesting practices, knowledge of soil, agricultural components (bio fertilizer, pest management). In many indigenous and rural communities through home gardens the traditional knowledge transfers across generations strengthening cultural identity while promoting ecological sustainability. The plant selection also incorporates the knowledge about folk herbal remedy. Plants used for indigenous healing methods are given priority for home garden.

L. N. Trinh et al. [12] in their study show that home gardens consist of a diverse species composition consisting of food, spices, stimulants, medicine, beverages, fodder and shelter. The home gardens also have species that play an important role in cultural festivals or daily religious rituals. There are species of commercial value that can generate income. The common species documented where *Annona squamosa* (custard apple) grown for commercial as well as used in folk treatment

for fever. Species like Hue lily (*Polianthes tuberosa*) and Hibiscus (*Abelmoschus moschatus* ssp. *tuberosus*) grown in open spaces or line a side walk and also used for religious purpose. The home gardens have a number of species which are of cultural and religious importance. These include banana (*Musa* sp.), orange (*Citrofortunella microcarpa*), pomelo (*Citrus maxima*), pears (*Pyrus pyrifolia*). *Pherynium paraviflorum* Roxb. is used as a wrapping of material for food items.

B. M. Kumar and P. K. R. Nair [13] state that home gardens are the oldest form of agroforestry system, and contribute to sustainability and ecosystem services such as efficient nutrient cycling and conservation of biodiversity.

Metsehet Yinebeb et al. [14] in the study have reported a total of 238 culturally important plants species from 81 families of which 59% where utilize for environmental use 35% for food crops and 35% medicinal species.

S. Akhter et al. [15] in their study looked at the role of women in homegardens, and found that women play important role in home garden management from selecting land to deciding which crops grow and its harvest. In this study it was found that traditionally Chile paper is grown on commercial scale and now horticultural crops for commercial purpose are also cultivated along with fruit bearing Timber trees spices and vegetables as well as medicinal plants are also grown. Some of the medical species are *Embilica officinal* used for treating blood dysentery, vomiting, loss of appetite; *Terminalia arjuna* used for bur, dysentery, hypertension; *Adhatoda vasica* for cough, asthma; *Aegle marmelos* for gastric, flatulence; *Oscimum sanctum* for cough, cold.

Hua Shao et al. [16] report that home gardens serve as insitu conservation for traditional vegetables. In their study they found 52 vegetable species consisting of 16 family and 41 genera from 60 homegardens in Southwestern Yunnan, China. Also there were 55 traditional vegetable varieties which are unique to the Wa community and serve as in situ conservation of traditional vegetables. 36 hybrids were also recorded.

Veronica Caballero-Serrano et al. [17] highlight that ethnic group cultivate diverse plant species. This diverse community of plants provide varied ecosystem services along with biodiversity conservation in Amazonian homegardens of Ecuador.

A. Peyre et al. [18] has studied on the dynamics of home garden structure and functions in Kerala India and found in the 30 home gardens study 50% of the home gardens displayed traditional features and 33% incorporated modern practices. The modernization has led to gradual increase in cash crops species and ornamental species.

Home garden: A special emphasize on North East India. The northeastern tribes of India have the tradition to cultivate diverse plants of vegetables fruits medicinal and ornamentals in their home gardens. The home gardens are characterized by different vegetation strata composed of trees shrubs and herbs in association with annual and perennial agriculture crops and small livestock within the house compound. Review of literature show that studies in Meghalaya have been con-

ducted on tree diversity in home gardens [19], plant species composition and product utility pattern of Garo home gardens [1].

Bshar Samir Bdoor [19] reported 32 families consisting of shrubs, climbers, epiphytes and herbaceous species in the homegardens of Mawsmal village in Meghalaya.

S. Tangjang and A. Arunachalam [20] have reported species for building purposes such as *Livistona jenkinsiana*, *Pinus wallicichiana*, *Bambusa* sp., *Mesua ferrea*; edible plant such as *Areca catechu*, *Musa* sp., *Artocarpus heterophyllus*; medicinal species such as *Curcuma longa*, *Oscimum sanctum*. In the above work 46 families that have traditional value particularly in terms of traditional medicinal plants, meet the economic production, and food security were enumerated.

The dominant plants species found in the different home gardens across northeast India was seen to have bamboo grooves, betel groves, banana groves, jackfruits, mango, papaya and coconuts along with vegetable gardens.

The significance of home garden in Barrack valley, Assam, was reported in [3]. It is found from the study that the average size of home gardens falls within the range of 0.02–1.20 ha with an average of 0.30 ha with fruits as the dominant species. They also mentioned that home gardens consist of both wild and domesticated variety of plants, according to the uses of the households. This makes the home gardens a complex system of plant diversity.

R. Sharma et al. [21] reported the diversity of home gardens along different socio economic zone of Brahmaputra valley of Assam. This study showcased the combination of livestock (Poultry) with tree species indicating a high species level of agrobiodiversity concentration. The agrobiodiversity distribution also varies along with the ecological zones. While the tree composition remains same for both the Mishing and the Bodo tribe.

Plant diversity in the indigenous home gardens in the Eastern Himalayan region of Mizoram was studied [2]. This study focused that the home gardens plays a sustainable role in sustaining the livelihood of local inhabitants and also acts as a reservoir of Plant Genetic Resources. They reported a total of 333 plant species (133 trees, 92 shrubs, and 108 herbs) belonging to 128 plant families with an average of 78 species per home garden. The average size of home gardens ranged between 0.10 and 0.60 ha.

L. Jeecelee et al. [22] conducted another study on the significance of home gardens in Mizoram. This study focuses home gardens as a solution to the practice of shifting cultivation. In north East India the practice of shifting cultivation prevails from age old times. Home gardens can maintain the biodiversity pool. This study also suggests that the home gardens in Mizoram can enhance socio ecological and economic development and can also decrease the climate change impacts in this region.

L.C. Langlentombi et al. [23] state that home gardens play an important role in plant diversity conservation, security and preservation of traditional knowledge. The document 70 plant species made of 38 families of which Zingiberaceae was

dominant. Plant species available can be categorised into edible medicinal ornamental fuel wood at construction use in Thanga village, Manipur.

According to [1], home-gardens in the garo community keep families together as each member is assigned to do a particular work in the garden to maintain its production.

The systematic review represents that the cluster of work can be divided into three groups:

1. Inventorization of Plant species and their ecological/ economic importance.
2. The significance of home garden in maintaining food security amid the challenges faced by climate change.
3. Home gardens a tool of transmitting traditional knowledge on culture, folk herbal remedies and religious ethos.

A lot of study has been conducted on home garden but there is a lack of variations in the objectives of the studies. Less work has been concentrated on the genomic configuration of the local varieties of plants in home gardens. Even there is a dearth amount of work on the genomic variations of a particular species in its wild variety and its variety found in home garden. The commercialization of plants of home garden is also not being focused.

Home gardens commonly found in the backyard are rich in plant diversity that provide fresh food supplements to a family on a daily basis wherein the families enjoy their traditional vegetables, fruits, spices, herbs, that enhance the identity of that community. Along with food crops home gardens also provide construction materials which are very helpful to the marginal or of weaker economic status. This shows that homegardens are a reservoir of plant genetic resources, where it supports both the food crops for daily consumption as well as commercial species that can help in the livelihood improvement of these families. Home gardens is a type of agroforestry mechanism that very much defines the term agroforestry wherein it supports the diversity of species that are food as well as trees that could be cash crops to ensure a steady livelihood. Thus indeed homegardens are potent for food security and biodiversity conservation especially of indigenous species and the passing down of indigenous knowledge about the local food crops from one generation to the next.

References

1. Plant species composition and product utility pattern of Garo homegardens in Meghalaya, India / N. M. Marak, K. Upadhyaya, A. Nongtri, N. Lyngdoh. DOI: 10.31018/jans.v15i2.4099 // J. Appl. Nat. Sci. 2023. Vol. 15. No. 2. P. 454–463.
2. Barbhuiya A. R., Sahoo U. K., Upadhyaya K. Plant diversity in the indigenous home gardens in the Eastern Himalayan Region of Mizoram, Northeast India. DOI: 10.1007/s12231-016-9349-8 // Econ. Bot. 2016. Vol. 70. No. 2. P. 115–131.
3. Das T., Das A. K. Inventorying plant biodiversity in homegardens: A case study in Barak Valley, Assam, North East India // Curr. Sci. 2005. Vol. 89. No. 1. P. 155–163.
4. Kumar V., Tiwari A. Importance of tropical homegardens agroforestry system. DOI: 10.20546/ijemas.2017.609.122 // Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 2017. Vol. 6. No. 9. P. 1002–1019.

5. Agroforestry contributions to smallholder farmer food security in Indonesia. / C. Duffy, G. G. Toth, R. P. Hagan, et al. DOI: 10.1007/s10457-021-00632-8 // *Agroforest. Syst.* 2021. Vol. 95. No. 6. P. 1109–1124.
6. Mekonen T., Giday M., Kelbessa E. Ethnobotanical study of homegarden plants in Sebeta-Awas District of the Oromia Region of Ethiopia to assess use, species diversity and management practices. DOI: 10.1186/s13002-015-0049-8 // *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 2015. Vol. 11. No. 1. Article No. 64.
7. Galhena D. H., Freed R., Maredia K. M. Home gardens: a promising approach to enhance household food security and wellbeing. DOI: 10.1186/2048-7010-2-8 // *Agric. Food Secur.* 2013. Vol. 2. No. 1. Article No. 8.
8. Sharma R., Mina U., Kumar B. M. Homegarden agroforestry systems in achievement of Sustainable Development Goals. A review. DOI: 10.1007/s13593-022-00781-9 // *Agron. Sustain. Dev.* 2022. Vol. 42. No. 3. Article No. 44.
9. Assessment of ecosystem services in homegarden systems in Indonesia, Sri Lanka, and Vietnam / H. Mohri, S. Lahoti, O. Saito, et al. DOI: 10.1016/j.ecoser.2013.07.006 // *Ecosystem Services.* 2013. Vol. 5. P. 124–136.
10. Amberber M., Argaw M., Asfaw Z. The role of homegardens for in situ conservation of plant biodiversity in Holeta Town, Oromia National Regional State, Ethiopia. DOI: 10.5897/IJBC2013.0583 // *Int. J. Biodivers. Conserv.* 2014. Vol. 6. No. 1. P. 8–16.
11. Semu A. A. The study of homegarden agrobiodiversity, practices of homegardening and its role for in-situ conservation of plant biodiversity in Eastern Hararghe, Kombolcha Town Oromia Regional State Ethiopia. DOI: 10.4236/ojfor.2018.82016 // *Open Journal of Forestry.* 2018. Vol. 8. No. 2. P. 229–246.
12. Agrobiodiversity conservation and development in Vietnamese home gardens / L. N. Trinh, J. W. Watson., N. N. Hue, et al. DOI: 10.1016/S0167-8809(02)00228-1 // *Agric. Ecosyst. Environ.* 2003. Vol. 97. No. 1–3. P. 317–344.
13. Kumar B. M., Nair P. K. R. The enigma of tropical homegardens. DOI: 10.1023/B:AGFO.0000028995.13227.ca // *Agroforest. Syst.* 2004. Vol. 61. No. 1. P. 135–152.
14. Yinebeb M., Lulekal E., Bekele T. Composition of homegarden plants and cultural use in an indigenous community in Northwest Ethiopia. DOI: 10.1186/s13002-022-00545-5 // *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 2022. Vol. 18. No. 1. Article No. 47.
15. The role of women in traditional farming systems as practiced in homegardens: a case study in Sylhet Sadar Upazila, Bangladesh / S. Akhter, M. Alamgir., M. S. I. Sohel, et al. DOI: 10.1177/194008291000300103 // *Tropical Conservation Science.* 2010. Vol. 3. No. 1. P. 17–30.
16. In situ conservation of traditional vegetable diversity in Wa homegardens in southwestern Yunnan, China / H. Shao, R. Hill, D. Xue, J. Yang. DOI: 10.1186/s13002-021-00479-4 // *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 2021. Vol. 17. No. 1. Article No. 54.
17. Plant diversity and ecosystem services in Amazonian homegardens of Ecuador / V. Caballero-Serrano, M. Onaindia, J. G. Alday, et al. DOI: 10.1016/j.agee.2016.04.005 // *Agric. Ecosyst. Environ.* 2016. Vol. 225. P. 116–125.
18. Dynamics of homegarden structure and function in Kerala, India / A. Peyre, A. Guidal, K. F. Wiersum, F. J. J. Bongers. DOI: 10.1007/s10457-005-2919-x // *Agroforest. Syst.* 2006. Vol. 66. No. 2. P. 101–115.
19. Bdoor B. S. Tree diversity in homegarden land use of Mawsmi Village karst landscape, Meghalaya, northeast, India. DOI: 10.24247/ijeefusjun20174 // *Int. J. Environ. Ecol. Fam. Urban Stud.* 2017. Vol. 7. No. 3. P. 33–42.
20. Tangjang S., Arunachalam A. Role of traditional home garden systems in Northeast India // *Indian J. Traditional Knowledge.* 2009. Vol. 8. No. 1. P. 47–50.

21. Do homegardens act as agent of agrobiodiversity conservation: a case study of homegardens of diverse socio-ecological zones in the Brahmaputra Valley, Assam / R. Sharma, U. Mina, A. Devi, B. M. Kumar. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1366499 // Front. Sustain. Food Syst. 2024. Vol. 8. Article No. 1366499.

22. Jeecelee L., Sahoo U. K. Mizo homegardens promote biodiversity conservation, nutritional security and environmental development in northeast India. DOI: 10.1016/j.chnaes.2021.12.005 // Acta Ecol. Sin. 2022. Vol. 42. No. 5. P. 520–528.

23. Plant bioresources and diversity of home gardens in Thanga Village, Manipur: landscape connected to Loktak Lake, a Ramsar Site / L. C. Langlombi, A. Ningombam, C. Basudha, et al. DOI: 10.23910/1.2025.6075 // International Journal of Bio-Resource & Stress Management. 2025. Vol. 16. No. 3. Article No. 6075.

ВИДЫ РОДА *MEDICAGO* L., РАСПРОСТРАНЁННЫЕ В ДЖИЗАКСКОЙ ОБЛАСТИ (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)

А. С. Абдураимов

Гулистанский государственный университет,
г. Гулистан, Сырдарьинская область, Республика Узбекистан,
abduraimov2017@inbox.ru

В статье представлены сведения о видах рода *Medicago* L., распространённых в Джизакской области. Охарактеризованы распространение, местообитание и хозяйственное значение представителей.

Ключевые слова: Джизак, *Medicago*, хозяйственное значение, экология.

Семейство Fabaceae является одним из крупнейших в растительном мире. Род *Medicago* L., относящийся к этому семейству, отличается своей экологической пластичностью и хозяйственной значимостью. Представители рода широко используются, преимущественно как кормовые растения [1].

Род *Medicago* включает в мире около 80–90 видов, распространён преимущественно в Средиземноморском регионе, является важной кормовой культурой в сельском хозяйстве. В Центральной Азии встречается более 20 видов [2]. Наши исследования проведены на территории Джизакской области Республики Узбекистан. На основе анализа собственных сборов и образцов, хранящихся в фондах Национального гербария (TASH), отмечено 11 видов этого рода для данного региона. Ниже охарактеризовано распространение, местообитание, жизненные формы и хозяйственное значение выявленных видов. Названия таксонов приведены в соответствии с [3, 4].

1. *Medicago lupulina* L. – люцерна хмелевидная. Однолетник, двулетник. Местообитание: мелкоземистые, щебнистые, каменистые склоны, долины рек, берега водоёмов, галечники, луга, кустарники, сады, поля. Предгорья, низкогорья. Кормовое, лекарственное, медонос.

2. *Medicago medicaginoides* (Retz.) E. Small – пажитник дугообразный. Однолетник. Местообитание: каменистые, щебнистые, мелкоземистые скло-

ны, песчаные, глинистые, щебнистые пустыни, подгорные равнины, залежи, берега рек, сухие русла. Равнина, предгорья, низкогорья, среднегорья. Кормовое.

3. *Medicago minima* (L.) Grufb. – люцерна малая. Однолетник, двулетник. Местообитание: глинистые пустыни, лессовые, мелкоземистые, щебнистые, каменистые склоны, сухие русла, долины рек, залежи. Равнина, предгорья, низкогорья. Кормовое, медонос, сорное.

4. *Medicago monantha* (С. А. Мей.) Trautv. – люцерна одноцветковая (пажитник Ноэ, пажитник одноцветковый). Однолетник. Местообитание: глинистые пустыни, лессовые, мелкоземистые, щебнистые, каменистые склоны. Равнина, предгорья, низкогорья. Кормовое, медонос, сорное.

5. *Medicago orbicularis* (L.) Bart. – люцерна округлая. Однолетник. Местообитание: лессовые, мелкоземистые, щебнистые, каменистые склоны, долины рек, галечники, поля, залежи, пустыри. Предгорья, низкогорья, среднегорья. Кормовое, медонос, сорное.

6. *Medicago orthoceras* (Kar. & Kir.) Trautv. – пажитник пряморогий. Однолетник. Местообитание: каменистые, щебнистые, мелкоземистые склоны, песчаные, глинистые, щебнистые пустыни, подгорные равнины, поля, залежи, сухие русла, обочины дорог. Равнина, предгорья, низкогорья, среднегорья. Кормовое, лекарственное, красильное.

7. *Medicago polymorpha* L. – люцерна зубчатая. Однолетник. Местообитание: лессовые, мелкоземистые, щебнистые склоны, подгорные равнины, сады, поля, сырые места. Равнина, предгорья, низкогорья. Кормовое, лекарственное, медонос.

8. *Medicago popovii* (Korovin) Širj. – люцерна Попова. Однолетник. Местообитание: глинистые пустыни, лессовые, мелкоземистые, щебнистые, каменистые склоны. Кормовое, медонос.

9. *Medicago radiata* L. – люцерна лучевая. Однолетник. Местообитание: каменистые, щебнистые склоны, выходы песчаников, известняков, злаково-полынные сообщества. Низкогорья, среднегорья. Кормовое, медонос.

10. *Medicago rigidula* (L.) All. – люцерна жестковатая. Однолетник. Местообитание: лессовые, мелкоземистые, щебнистые, каменистые склоны, глинистые пустыни, долины рек, галечники. Равнина, предгорья, низкогорья, среднегорья. Кормовое, медонос, сорное.

11. *Medicago sativa* L. – люцерна посевная. Многолетник. Местообитание: мелкоземистые, щебнистые, каменистые склоны, луга, осыпи, долины рек, галечники, сады, пастбища, поля, залежи, обочины дорог (одичавшее), широко культивируется. Равнина, предгорья, низкогорья, среднегорья. Кормовое, лекарственное, медонос.

В результате проведённого ареалогического анализа выявлено, что виды этого рода относятся к древнесредиземноморской, голарктической, палеарктической и плюрирегиональной ареальным группам.

В последнее время представители рода *Medicago* исследуются в следующих направлениях:

- изучение популяционной структуры и онтогенеза;
- генетическое разнообразие и молекулярный анализ;
- механизмы адаптации к изменению климата;
- интродукция и селекционная работа.

Род *Medicago* объединяет растения, имеющих важное хозяйственное значение и применяемых в качестве кормовых культур, для повышения плодородия почвы и в селекционной работе. Во флоре Джизакской области Республики Узбекистан выявлено 11 представителей данного рода, которые адаптированы к различным экологическим условиям. Обобщённые данные будут полезны для повышения эффективности сельского хозяйства.

Библиографический список

1. Кадастр флоры Узбекистана : Джизакская область / К. Ш. Тожибаев, Н. Ю. Бешко, А. С. Эсанкулов и др. Ташкент : Zamin, 2021. 368 с.
2. Ботирова Л. А. Растительный покров бассейна реки Зааминсу : спец. 03.00.05 : дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 2012. 201 с.
3. POWO: Plants of the world online [website]. – URL: <https://powo.science.kew.org/> (accessed: 20.03.2026).
4. International Plant Names Index (IPNI) [website]. – URL: <https://www.ipni.org/> (accessed: 20.03.2026).

ПОДБОР SSR-МАРКЕРОВ ДЛЯ ТИПИРОВАНИЯ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО ПРИЗНАКУ МОРФОГЕНЕЗА *IN VITRO*

А. В. Бакулина, Н. В. Новоселова, О. Н. Шуплецова
 Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
 имени Н. В. Рудницкого,
 г. Киров, Россия, tol-biol@fanc-sv.ru

В работе с помощью биоинформатических инструментов анализировали праймеры различных микросателлитных (SSR)-маркеров, разработанных для анализа генома ячменя. Для экспериментальной оценки генотипов ячменя, различающихся по признаку морфогенеза в каллусной культуре, предложено 16 SSR-маркеров, локализованных на трёх хромосомах (2Н, 3Н, 6Н).

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., ДНК-типирование, микросателлитные маркеры, праймеры, каллусогенез, регенерация.

Среди зерновых культур к почвенным стрессовым факторам наиболее чувствителен ячмень (*Hordeum vulgare* L.), который имеет повсеместное распространение и является одной из ведущих зерновых культур. В Кировской области ячмень – основная зернофуражная культура. Для создания устойчивых сортов ячменя к региональным абиотическим стрессам (кислотность почв, повышенное содержание ионов Al, Cd и др.) в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока успешно используются методы биотехнологии [1, 2]. Однако совре-

менные сорта характеризуются низким морфогенетическим потенциалом и зачастую не способны формировать в культуре ткани каллус, способный к морфогенезу. Данная проблема ограничивает применение как разработанных методов клеточной биотехнологии (клеточная селекция) для решения вопроса создания устойчивых к региональным стрессовым факторам генотипов, так и возможности в будущем использования других биотехнологических методов (генная инженерия, геномное редактирование).

Выше перечисленные факторы актуализируют разработку подходов для ДНК-маркирования локусов, связанных у ячменя с высоким морфогенетическим потенциалом *in vitro*. Микросателлитные (Simple Sequence Repeats – SSR) маркеры, являясь ценным инструментом анализа генома растений, могут быть использованы для выявления сортов ячменя, обладающих высоким потенциалом для введения в культуру ткани и регенерации.

Целью работы являлся подбор праймеров для SSR-анализа сортов ячменя, различающихся по морфогенетическому потенциалу в культуре ткани.

В данном исследовании проводили поиск информации об SSR-маркерах, разработанных для анализа генома ячменя, имеющихся в базах данных, зарубежной и отечественной литературе. Далее оценивали их характеристики, влияющие на проведение молекулярно-генетического анализа. Проверку специфичности праймеров (отжиг на целевых хромосомах в геноме ячменя *in silico*) осуществляли алгоритмом BLAST на основании генома *Hordeum vulgare* (MorexV3_pseudomolecules_assembly), доступного на сайте EnsemblPlants (plants.ensembl.org). Проверка вероятности отжига праймеров в геноме других организмов выполнена сервисом BLAST на сайте NCBI (ncbi.nih.gov). У отобранных в результате биоинформатического анализа маркеров были уточнены температуры плавления (T_m) праймеров, вероятность образования димеров в ходе ПЦР, ожидаемые размеры ампликонов на сайтах Кировская молекулярная биология (<https://molbiol.kirov.ru>) и Molecular Biology Toolbox (<https://primerdigital.com/tools/>) соответственно.

В настоящее время установлено, что гены и локусы количественных признаков (QTLs), связанные у ячменя с регенерационной способностью в каллусной ткани преимущественно локализованы на хромосомах 2Н и 3Н [3, 4]. В недавних обзорах [5–7] сообщается об идентификации у растений генетических детерминант рекальцитрантности (отсутствия «компетентности» клеток в культуре ткани) и выявлении так называемых «морфогенов». К «морфогенам» относятся основные регуляторы развития и детерминации меристематических клеток, в частности, Baby Boom (BBM), который у ячменя расположен на хромосоме 6Н [7]. Таким образом, для анализа генотипов ячменя, различающихся по морфогенетическому потенциалу, проводили поиск SSR-маркеров, которые локализованы в геноме на трёх хромосомах (2Н, 3Н и 6Н).

Биоинформатическому анализу были подвергнуты праймеры 31 SSR-маркера, которые ранее применялись в работах разных авторов для молекулярно-генетического анализа ячменя [8–11]. В первую очередь были исключены маркеры, у которых согласно данным сервиса PrimersList праймеры бы-

ли склонны к образованию димеров. К таким маркерам относились следующие: HVM62, HVM74, HVBKASI, GBM1110, GBM1208, GBM1218, GBM1242, GBM1365, GBM1400.

Важным параметром маркера является размер ампликона. При необходимости анализа результатов ПЦР методом секвенирования по Сэнгеру затруднено использование маркеров с размером ампликонов 150 п.н. и менее, так как требуется дополнительный этап клонирования коротких ампликонов в плазмиду. Недостаточный размер ампликонов установлен для маркеров: GMS116 (138 п.н.), GBM1094 (146 п.н.), GBM1309 (144 п.н.), GBM1475 (136 п. н.) и Bmag0125 (140 п.н.). Значительно отличался от других маркеров по размеру ампликона маркер GBM1356 (ампликон 586 п.н.). Подобный размер ПЦР-продукта предполагает визуализацию в агарозном геле, что не позволит выявить незначительные отличия (полиморфизм локуса). В связи с этим данный маркер также не использовали для дальнейшей оценки.

Отрицательно повлиять на протекание реакции амплификации может разница T_m прямого и обратного праймера, так как оптимальным параметром для праймеров, работающих в паре, считается полное совпадение их температур отжига [12]. Среди анализируемых маркеров только для маркера GBM1162 было установлено значимое (6 °C) различие T_m праймеров. Вероятно, данный маркер потребует подбора условий ПЦР.

В рамках наших исследований среди проанализированных SSR-маркеров для дальнейшей экспериментальной работы было отобрано 16 пар праймеров (табл.), удовлетворяющих всем оцениваемым параметрам: специфичность (локализация на целевых хромосомах в геноме ячменя и отсутствие отжига в геномах других организмов), оптимальный размер ампликона, отсутствие образования димеров. В таблице приведены последовательности и основные характеристики праймеров выбранных нами SSR-маркеров.

**Характеристики праймеров SSR-маркеров, отобранных для анализа генотипов ячменя
по признаку морфогенеза**

Маркер	Последовательность праймеров, 5'–3'	Длина, п. н.	Ссылка	Локализация в геноме		Tm, °C	Расчетный размер ампликонов, п. н.
				хромосома	позиция на хромосоме		
1	2	3	4	5	6	7	8
Bmag749	F:CGGATTCTTGAGTAGTCTCTG	21	[8]	2H	653689834-653689854	62	166
	R: GATCTGTTTTTGTAGAACATGC	22			653689978-653689999	60	
Bmag853	F:ACAAGTATCCTGCAAACCTAA	21		3H	602854901-602854921	58	171
	R: CGACCTTCTTAATGGTTAGTG	21			602855051-602855071	60	
Bmg1	F:GTGTGGTGTTAGCAAGGGGT	20		6H	380650842-380650861	62	175
	R: TCACAGGGCACACACACAC	19			380650998-380651016	60	
GBM1140	F: TGACCGGATCAAACCTCTTC	20	[9]	6H	534669806-534669825	60	232
	R: TAGCATGAACAAAACCGACG	20			534670018-534670037	58	
GBM1162	F: AACGCCTTGCCTATCATTTG	20		3H	496760896-496760915	58	170
	R: CTA CTACCTGGTTCTCGCGG	20			496761046-496761065	64	
GBM1213	F: AAAGCTACGACCGACAAGGA	20		3H	337593435-337593454	60	378
	R: GTCATCTCAGCTCCTACCGC	20			337593793-337593812	64	
GBM1253	F: CCACAAACCCCGTAACCTC	19		3H	493370121-493370139	60	189
	R: CTCGTTGGAGAGGAGGGAG	19			493369951-493369969	62	
GBM1256	F: GCCTCGATCTGTGGAAAGAA	20		6H	493740376-493740395	60	353
	R: GTCTCGGAGAAGGTGACGAT	20			493740709-493740728	62	
GBM1274	F: CGTCCACTCTTTTCTGAGGG	20		6H	550592702-550592721	62	191
	R: TGGGCTCAATTTTCCTGTTC	20			550592873-550592892	58	
GBM1405	F: TACACGCACTGAAAAGACGG	20		3H	533616967-533616986	60	282
	R: CTCGCTGCTGAGTTTGTCTG	20			533617229-533617248	62	

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
HV13GEIII	F: AGGAACCCTACGCCTTACGAG	21	[10]	3H	592835724-592835744	66	168
	R: AGGACCGAGAGTGGTGGTGG	20			592835577-592835596	66	
HVM15	F: TCATAACCACGGCGTCCT	18	[11]	3H	506318289-506318306	56	166
	R: CGTGACTGGAAACCCTGC	18			506318141-506318158	58	
HVM27	F: GGTCGGTTCCCGGTAGTG	18		3H	338106900-338106917	60	194
	R: TCCTGATCCAGAGCCACC	18			338106724-338106741	58	
HVM54	F: AACCCAGTAACACCGTCCTG	20		2H	626390277-626390296	62	159
	R: AGTTCCCTGACCCGATGTC	19			626390417-626390435	60	
GBM1232	F: TTGGTTCTAGCCACACCTAAAA	22	[9]	2H	404368683-404368704	62	156
	R: GTTTTCGTCACACGTCCCTT	20			404368819-404368838	60	
GBM1498	F: TGCTCCAACCCAAAAGCTAC	20		2H	635725348-635725367	60	158
	R: GAAGACGACGAGCGGTACTC	20			635725486-635725505	64	

Таким образом, подобраны оптимальные SSR-маркеры для использования в анализе сортов ячменя, различающихся по признаку морфогенеза в каллусной культуре. Выявление генотипических различий у сортов с разным уровнем морфогенеза позволит предложить маркеры на основе анализа их ДНК, которые могут быть использованы для скрининга сортов ячменя перед их введением в культуру *in vitro*.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства Кировской области (проект №26-26-20109, <https://rscf.ru/project/26-26-20109/>).

Библиографический список

1. Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н. Результаты использования клеточных технологий в создании новых сортов ячменя, устойчивых к токсичности алюминия и засухе. DOI: 10.18699/VJ16.183 // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. № 5. С. 623–628.
2. Шуплецова О. Н., Огородникова С. Ю., Назарова Я. И. Эффекты неспецифической устойчивости генотипов ячменя, полученных путем клеточной селекции. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-192-199 // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 4. С. 192–199.
3. Mapping genes for callus growth and shoot regeneration in barley (*Hordeum vulgare* L.) / Y. Mano, H. Takahashi, K. Sato, K. Takeda // Japanese Journal of Breeding. 1996. Vol. 46. No. 2. P. 137–142.
4. Selection of transformation-efficient barley genotypes based on TFA (transformation amenability) haplotype and higher resolution mapping of the TFA loci / H. Hisano, B. Meints, M. J. Moscou, et al. DOI: 10.1007/s00299-017-2107-2 // Plant Cell Rep. 2017. Vol. 36. No. 4. P. 611–620.
5. Potokina E. K., Sushchenko A. S. Genetic mapping of loci affecting embryogenic callus formation and in vitro regeneration in cereals and leguminous crops. DOI: 10.18699/vjgb-25-54 // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2025. Vol. 29. No. 4. P. 508–516.
6. Bakulin S. D., Monakhos S. G., Bruskin S. A. Morphogenetic factors as a tool for enhancing plant regeneration capacity during in vitro transformation. DOI: 10.3390/ijms26178583 // Int. J. Mol. Sci. 2025. Vol. 26. No. 17. Article No. 8583.
7. Kowalik S., Samoń M., Przyborowski M. Molecular regulators of *in vitro* regeneration in wheat: roles of morphogenic factors in transformation, genome editing, and breeding. DOI: 10.3390/ijms27031271 // Int. J. Mol. Sci. 2026. Vol. 27. No. 3. Article No. 1271.
8. A simple sequence repeat-based linkage map of barley / L. Ramsay, M. Macaulay, S. D. Ivanissevich, et al. DOI: 10.1093/genetics/156.4.1997 // Genetics. 2000. Vol. 156. No. 4. P. 1997–2005.
9. Genetic mapping and BAC assignment of EST-derived SSR markers proves non-uniform distribution of genes in the barley genome / R. K. Varshney, I. Grosse, U. Ha'hnel, et al. DOI: 10.1007/s00122-006-0289-z // Theor. Appl. Genet. 2006. Vol. 113. P. 239–250.
10. Development of candidate introgression lines using an exotic barley accession (*Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*) as donor / M. von Korff, H. Wang, J. Léon, et al. DOI: 10.1007/s00122-004-1818-2 // Theor. Appl. Genet. 2004. Vol. 109. P. 1736–1745.
11. Liu Z. W., Biyashev R. M., Maroof M. A. S. Development of simple sequence repeat DNA markers and their integration into a barley linkage map. DOI: 10.1007/bf00224088 // Theor. Appl. Genet. 1996. Vol. 93. No. 5. P. 869–876.
12. ПЦР в реальном времени / Д. В. Ребриков, Г. А. Саматов, Д. Ю. Трофимов и др. М : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 223 с.

ЛИШАЙНИКИ КРАСНОЙ КНИГИ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

М. С. Булдаков¹, Т. Н. Пыстина²

¹ АО Чепецкий механический завод,

г. Глазов, Россия, buldakov-m@yandex.ru,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

г. Сыктывкар, Россия, t.pyстина@ib.komisc.ru

В статье приведены результаты работы над разделом последнего переиздания Красной книги Кировской области.

Ключевые слова: лишайники, редкие и исчезающие виды, Красная книга, Кировская область, биомониторинг.

Лишайники Кировской области на сегодняшний день остаются слабо изученными в сравнении с сопредельными регионами. Для данной области нет выверенного сводного списка видов лишайников, а после 2014 г. отсутствует и планомерное систематическое изучение их разнообразия ввиду отсутствия в регионе специалистов-лихенологов, имеются только немногочисленные отчеты по изучению биоты отдельных особо охраняемых природных территорий [1–5]. Это затрудняет работу над соответствующим разделом региональной Красной книги. Так, в предыдущем издании Красной книги Кировской области указывалось всего 13 видов лишайников [6], хотя даже в соседних регионах с меньшей площадью охранялось гораздо больше видов: в Республике Марий Эл – 58 [7], в Удмуртской Республике – 25 видов [8].

Авторы изучили доступные литературные и гербарные материалы и приступили к началу работы по инвентаризации видов лишайников государственного природного заповедника (ГПЗ) «Нургуш» в Котельничском районе [9]. По результатам работы к включению в новое издание Красной книги региона рекомендовано 16 видов: *Dendriscosticta gelida* Ant. Simon, Goward et T. Sprib., *Evernia divaricata* (L.) Ach., *Heterodermia speciosa* (Wulfen in Jacq.) Trevis, *Hypogymnia bitteri* (Lynge) Ahti, *Leptogium rivulare* (Ach.) Mont., *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., *Nephroma bellum* (Spreng.) Tuck., *N. parile* (Ach.) Ach., *N. resupinatum* (L.) Ach., *Nephromopsis laureri* (Kremp.) Kurok., *Peltigera collina* (Ach.) Schrad., *Ramalina elegans* (Bagl. et Carestia) Jatta, *R. obtusata* (Arnold) Bitter, *R. roesleri* (Hochst. ex Schaer.) Hue, *R. thrausta* (Ach.) Nyl. *Usnea florida* (L.) Weber ex F.H. Wigg. Ещё два вида, включённые в предыдущее издание: *Cladonia polycarpoides* Nyl. (по-видимому, ошибочно определённые образцы *Cl. subcariosa* Nyl.) , а также *U. barbata* (L.) Weber ex F.H. Wigg. (по-видимому, относится к *U. scabrata* Nyl.) – требуют уточнения систематической принадлежности и последующего анализа характера их распространения в регионе.

Для всех видов составлены очерки со следующими данными: русские и латинские названия видов; русские и латинские названия семейств; категории

и статусы редкости; описание внешнего строения и особенностей размножения; распространение в мире, России и Кировской области; численность талломов в регионе; места обитания и особенности экологии в Кировской области; лимитирующие факторы; принятые и необходимые меры охраны; источники информации. Каждый текст сопровождается оригинальным рисунком габитуса и картосхемой распространения вида в регионе.

Большую часть рекомендованных видов лишайников следует отнести к категории 3 (редкие). Пять видов, относимых в регионе к категориям 2 (уязвимые), 1 (находящиеся под угрозой исчезновения) и 4 (неопределенные по современному состоянию и категории виды), занесены в Красную книгу Российской Федерации: *Dendrosclosticta gelida*, *Leptogium rivulare*, *Lobaria pulmonaria*, *Nephromopsis laureri* и *Usnea florida* [10].

Авторы выражают искреннюю благодарность за помощь в организации работы, ценные консультации при обсуждении материалов Красной книги д. б. н., главному научному сотруднику ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова РАН Т. Л. Егориной, д-ру философии, к. б. н., ведущему научному сотруднику Ботанического сада УрО РАН И. В. Фролову, директору ГПЗ «Нургуш» Е. М. Тарасовой и старшему научному сотруднику ГПЗ «Большая Кокшага» Г. А. Богданову. За предоставленные рисунки лишайников отдельное спасибо научному сотруднику Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН Е. С. Кузнецовой и А. Жуковой.

Работа выполнена в рамках госконтракта № 03402000033250045800001.

Библиографический список

1. Копысов В. А. Видовой состав лишайников Медведского бора // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета. 2002. № 6. С. 15–21.
2. Копысов В. А. Флора Вятского края. Ч. 3. Лишайники. Киров, 2009. 176 с.
3. Пыстина Т. Н., Семенова Н. А. Первые итоги инвентаризации биоты лишайников заказника «Былина» (Кировская область) // Сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию ГПЗ «Нургуш» (г. Киров, 10–11 сентября 2014 г.). Киров : Типография «Старая Вятка», 2014. С. 111–115.
4. Домнина Е. А., Шабалкина С. В., Ходырев Г. Н. Отчёт о НИР «Учёт численности видов животных, растений и грибов, внесённых в Красную книгу Кировской области, на территории государственного природного заказника регионального значения «Бушковский лес»». Киров : ВятГУ, 2023. 49 с.
5. Рябова Е. В., Рябов В. М., Пестов С. В. Отчёт о НИР «Учёт численности видов животных, растений и грибов, внесённых в Красную книгу Кировской области, на территории государственного природного заказника регионального значения «Пижемский» (заключительный)». Киров : ВятГУ, 2023. 69 с.
6. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. Киров : Кировская обл. типогр., 2014. 336 с.
7. Красная книга Республики Марий Эл. Растения. Грибы. Йошкар-Ола : Изд-во Мар. ун-та, 2013. 324 с.
8. Красная книга Удмуртской Республики. Чебоксары : Перфектум, 2012. 458 с.

9. Булдаков М. С. Отчёт о НИР «Инвентаризация видов лишайников на территории участка государственного природного заповедника «Нургуш» и его охранной зоны в Котельничском районе Кировской области». Киров : ГПЗ «Нургуш», 2025. 38 с.

10. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы. 2-е офиц. изд. М. : ВНИИ «Экология», 2024. 944 с.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЛУГОВЫХ АССОЦИАЦИЙ В ПОЙМЕ РЕКИ ИПУТЬ ДОБРУШСКОГО 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 исследования динамики луговых ассоциаций поймы р. Ипуть Добрушского района. Установлены динамические тренды, сформировавшиеся в условиях избыточного увлажнения и в процессе ксерофитизации поймы. Проведённые эколого-флористические исследования травяной растительности поймы р. Ипуть позволили разработать классификацию и выявить её динамику.

Ключевые слова: динамика, луговая ассоциация, пойма, р. Ипуть, гидрология, ксерофитизация.

Современные природные ресурсы реализуются в условиях интенсивных климатических преобразований и нарастающего антропогенного воздействия. Значимым экологическим процессом, затронувшим в последние десятилетия поймы рек, стала общая ксерофитизация. В целом, ксерофитизация поймы – сложный интегральный процесс, при котором за счёт снижения уровня и продолжительности половодья изменяется водный режим пойменных мест и положений, происходит осушение пойменных озёр-стариц, межгрядных понижений и низинных болот, занимающих значительную площадь в речных поймах. В результате этого процесса в последнее десятилетие существенно изменились облик, флористический состав и структура растительных сообществ в пойме р. Сож [1].

Цель работы – провести анализ состояния луговых экосистем в условиях изменения гидрологического режима и ксерофитизации пойменных экосистем р. Ипуть.

Объектом исследования в 2003–2025 гг. являлись луговые ассоциации *Caricetum gracilis* Savick 1926, расположенные в пойме р. Ипуть вблизи н.п. Дубовый лог Добрушского района; координаты – 52°29'28.72" с.ш., 31°23'24.79" в.д.). Флористический состав изучали по методу А. А. Корчагина одновременно с геоботаническим описанием травостоев луговых экосистем [2]. На основе эколого-флористической классификации определена их синтаксономия с использованием подходов системы J. Braun-Blanquet [3].

Внешний вид сообществ определяет *Carex acuta* L., формирующая кочки разной высоты, между которыми может застаиваться вода. Помимо осоки острой в отдельных сообществах высокое обилие имеют гело- и гигрофильные виды порядка *Magnocaricetalia*: *Calamagrostis canescens* (Weber) Roth, *Galium palustre* L., *Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb., *Lysimachia vulgaris* L., *Phalaroides arundinacea* L. и другие виды лугов порядка *Molinietalia*: *Achillea salicifolia* Besser, *Alopecurus pratensis* L., *Carex cespitosa* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Ranunculus repens* L. и др.

Сообщества ассоциации широко распространены в центральной, при-террасной и прирусловой поймах рек Сож, Ипуть, Беседь, по межгрядным низинам различной глубины и блюдцеобразным понижениям на постоянно сырых, перегнойно-глеевых, а также иловато перегнойно-глеевых и торфянисто-глеевых почвах.

В таблице 1 представлена эколого-флористическая характеристика ассоциации *Caricetum gracilis* в пойме р. Ипуть в условиях избыточного увлажнения.

Кроме того, единично встречены: *Achillea ptarmica* L. (2, 3 – здесь и далее в этом абзаце цифра – номер описания в табл. 1), *Acorus calamus* L. (10), *Agrostis stolonifera* L. (7, 8), *Alisma lanceolata* With. (4), *Butomus umbellatus* L. (4, 8), *Calamagrostis neglecta* (Ehrh.) Gaertn., B. Mey. & Schreb. (9), *Cardamine pratensis* L. (10), *Comarum palustre* L. (6), *Eleocharis palustris* (L.) Roem. & Schult. (5), *Equisetum fluviatile* L. (5), *Eriophorum polystachion* Honck. (5), *Iris pseudacorus* L. (2, 5), *Lythrum virgatum* L. (1, 8), *Oenanthe aquatica* (L.) Poir. (7, 8), *Menyanthes trifoliata* L. (3), *Poa palustris* L. (2, 9), *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud. (7), *Polygonum hydropiper* (L.) Delarb. (9), *Ranunculus flammula* L. (9), *Rorippa amphibia* (L.) Besser (7), *Rorippa palustris* (L.) Besser (3), *Rumex confertus* Willd. (7), *Sagittaria sagittifolia* L. (7), *Stachys palustris* L. (1, 6), *Stellaria palustris* Ehrh. ex Hoffm. (5), *Thalictrum flavum* L. (4, 10).

Таким образом, при нарастании влажности почвы варианты ассоциации *Caricetum gracilis* *Lysimachia vulgaris*, *Calystegia sepium* и *Lythrum salicaria* формируют экологический ряд, который представляет переход к более гигрофитным синтаксонам класса Phragmito-Magnocaricetea, где увеличивается постепенное нарастание в его ценофлоре характерных видов. При обратной тенденции – нарастание сухости почвы – появляются варианты *Calamagrostis canescens*, *Cirsium arvense* и *Veronica longifolia* [4].

Анализируя жизненные формы растений по И. Г. Серебрякову [5] ассоциации *Caricetum gracilis*, видно, что основу составляют длиннокорневищные и кистекорневые растения (76,0%). Несколько меньше участие принимали короткорневищные травы (9,5%). Незначительную роль играли наземноползучие, стержнекорневые, корнеотпрысковые биоморфы.

Анализ растений по продолжительности жизни показал, что в ассоциации доминируют многолетники (90%), на долю однолетников приходится 10%.

Таблица 1

Ассоциация *Caricetum gracilis* в пойме р. Ипуть

Номер описания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Класс постоян- ства
Проективное покрытие, %	60	80	85	50	50	60	70	65	80	85	
Число видов на 100 м ²	14	17	14	16	14	10	16	18	15	13	
Диагностические виды ассоциации											
Ассоциации											
<i>Carex acuta</i> *	3	4	5	4	4	3	1	2	2	5	V
Д.в. варианта											
<i>Glyceria maxima</i> *	1	2	3	2	1	4	5	4	5	3	V
<i>Glyceria fluitans</i> *	2	2	4	2	1	2	3	3	3	4	V
<i>Carex vulpina</i> *	1	1	•	1	•	•	1	1	•	•	III
<i>Galium palustre</i> *	1	•	•	1	1	1	•	•	1	•	III
<i>Carex vesicaria</i> *	•	1	•	•	1	•	1	1	•	1	III
<i>Galium uliginosum</i> *	1	1	•	•	•	•	•	•	•	1	II
<i>Filipendula ulmaria</i> *	1	•	1	•	•	1	•	•	•	•	II
<i>Ranunculus flammula</i> *	•	•	1	1	•	1	•	•	•	•	II
Д.в. субварианта											
<i>Sium latifolium</i> *	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
<i>Lysimachia vulgaris</i> *	•	1	•	1	•	•	•	1	1	1	III
<i>Phalaroides arundina- cea</i> *	•	•	1	•	1	•	1	1	1	•	III
<i>Ranunculus repens</i> *	1	1	1	1	•	•	•	•	•	•	II
<i>Mentha arvensis</i> *	1	1	•	1	•	•	•	•	•	•	II
<i>Lythrum salicaria</i> *	•	1	1	•	•	•	•	•	1	•	II
<i>Symphytum officinale</i> *	•	1	1	•	•	•	•	•	1	•	II
<i>Polygonum amphibium</i> *	•	•	•	1	•	•	1	1	•	•	II
Прочие виды											
<i>Caltha palustris</i>	•	1	1	1	1	1	1	1	•	1	IV
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	•	•	•	1	1	•	1	1	•	•	II
<i>Equisetum palustre</i>	1	•	•	•	•	•	•	1	1	•	II
<i>Lysimachia nummularia</i>	1	•	•	•	•	•	•	1	•	1	II
<i>Beckmannia eruciformis</i>	•	1	1	•	•	•	•	•	1	1	II

Примечание: звездочкой обозначены диагностические виды; точкой – отсутствие видов; класс постоянства для каждого вида: I – до 20%; II – 21–40%; III – 41–60%; IV – 61–80%; V – 81–100%.

Исследуя ассоциацию *Caricetum gracilis* по типам растительного покрова, видно, что в составе встречаются все пять типов с максимумом у луговых растений (69,0%), также значительное участие принимали болотные (10,5%), лесные (10,0%), сорные (6,0%), прибрежно-водные (4,6%) растения.

Рассматривая ассоциацию *Caricetum gracilis*, заметно, что здесь преобладают растения с циркумбореальным (43,0%) и евроазиатским (19,0%) типами ареала. Участие растений с остальными типами ареала было невысоким. Экологический анализ по отношению к трофности и влажности почвы показал, что наибольшее участие принимают эвтрофные гидромезофиты (38,0%),

эвтрофные мезогидрофиты (33,0%), мезотрофные мезофиты (18,0%). Роль остальных экологических групп оказалось незначительной.

Анализируя участие агроботанических групп в составе хозяйственного типа луга (остроосочникового), видно, что при ксерофитизации поймы в агроботаническом составе уменьшается доля осок, увеличивается доля злаков и разнотравья. Агроботаническая группа бобовых отсутствует (табл. 2).

Таблица 2

Участие агроботанических групп в составе остроосочникового хозяйственного типа луга в пойме р. Ипуть

Агроботаническая группа	Год наблюдений					
	2003	2008	2013	2018	2023	2025
Злаки	10,0	12,0	13,0	14,0	18,0	20,0
Осоки	85,0	82,0	80,0	76,0	70,0	68,0
Разнотравье	5,0	6,0	7,0	10,0	12,0	12,0
Бобовые	—	—	—	—	—	—

Примечание: прочерк означает отсутствие растений семейства Fabaceae.

Рассматривая урожайность луговой ассоциации (ц/га воздушно-сухой массы) в пойме р. Ипуть Добрушского района, видно, что отмечается волнообразный характер урожайности этой ассоциации. Устанавливаются периоды с высокой урожайностью, которая снижается при наступлении неблагоприятных условий (рис.).

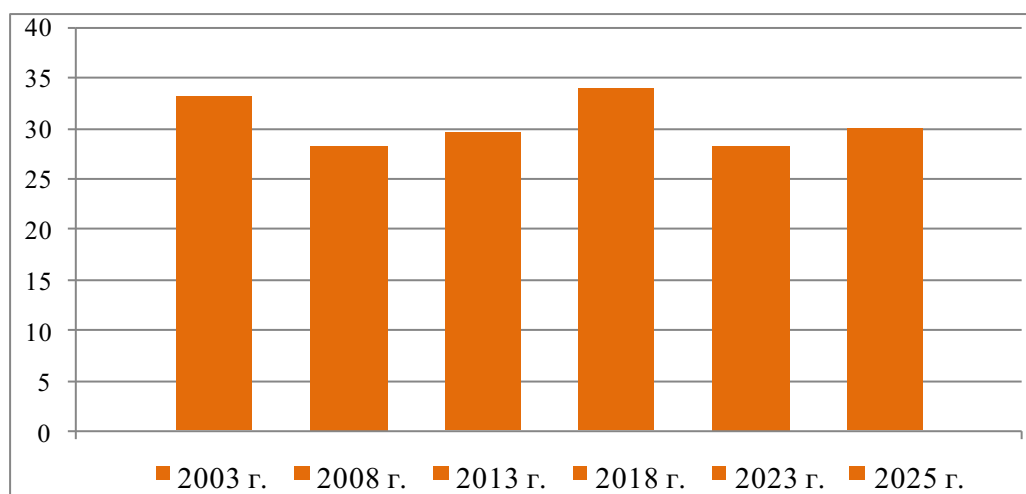


Рис. Урожайность *Caricetum gracillis* (ц/га воздушно-сухой массы) в пойме р. Ипуть Добрушского района

Радиологический анализ почвы и растительности поймы р. Ипуть в окрестностях н.п. Дубовый лог Добрушского района, пострадавшего от катастрофы на Чернобыльской АЭС, показал, что почва представлена низинным торфяником. Плотность радиоактивного загрязнения исследуемой территории в 2004 г. составила около 9 Ки/на км². В настоящее время данный параметр составил около 5–7 Ки/км². В горизонте 0–10 см продолжает находиться от 43 до 85% радионуклидов. Продуктивность зелёной массы трав-

стоя варьировала от 152 до 380 ц/га. В 2004 г. среднее содержание нуклидов в травостое составило от 1348 до 6360 Бк/кг. В 2025 г. среднее содержание радионуклидов в злаках оказалось 286 Бк/кг при амплитуде колебаний 158–414 Бк/кг. Для разнотравья – соответственно 394 и 99–913 Бк/кг. За годы исследования среднее содержание радионуклида в травостое объектов окрестностей Дубовый лог было 665 ± 256 Бк/кг.

Таким образом, как избыточное увлажнение, так и падение уровня грунтовых вод приводит к изменению состава и структуры луговых сообществ. Проводя многолетние исследования, можно установить направление этих изменений в складывающихся экологических условиях.

Библиографический список

1. Разнообразие и динамика травяной растительности поймы реки Десны / А. Д. Булохов, Ю. А. Семенищенков, Н. Н. Панасенко и др. Брянск : Ресо БГУ, 2021. 240 с.
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. Фитоценотическое разнообразие и динамика сообществ ассоциаций *Caricetum gracilis* Savich 1926 в условиях ксерофитизации поймы реки Десны / А. Д. Булохов, Н. Н. Панасенко, Ю. А. Семенищенков, А. В. Харин // Растительность России. 2019. № 37. С. 3–28.
5. Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М. : Высш. шк., 1962. 378 с.

АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТОВ ИЗ СФАГНОВОГО ТОРФА И СФАГНОВОГО МХА

Н. А. Жмакова¹, Т. Н. Каменская², Н. Л. Макарова¹, С. А. Лукьянчик²

¹ Институт природопользования НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь, zhmakova@mail.ru,

² Институт экспериментальной ветеринарии имени С. Н. Вышелецкого,
г. Минск, Республика Беларусь

Методами окислительной и гидролитической деструкции сфагнового торфа и сфагнового мха получены образцы жидких биологически активных препаратов, изучена их антимикробная активность на тест-культурах бактериальных возбудителей болезней *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* и *Bacillus subtilis*. Установлена выраженная бактерицидная активность оксидатов сфагнового торфа со степенью разложения 10–15% и гидролизатов сфагнового мха и малоразложившегося торфа.

Ключевые слова: сфагновый торф, мох, окисление, гидролиз, тест-культуры, антимикробная активность.

Торф – сложный природный конгломерат, образующийся при разложении отмерших болотных растений в увлажненной среде при ограниченном

доступе кислорода. Различные условия формирования торфяной залежи, Разнообразие болотной растительности от мхов до древесных растений приводит к образованию различных видов торфа, отличающихся по химическому составу.

В торфообразовательном процессе происходит распад наименее устойчивых органических соединений, содержащихся в болотной растительности, с последующим образованием вторичных продуктов микробного и биохимического синтеза и накоплением более устойчивых веществ различных химических классов, в том числе, гуминовых кислот. Большой научный интерес представляют биологически активные соединения сфагнового торфа, который образуется на верховых болотах на основе сфагновых мхов – типичных представителей растений-торфообразователей месторождений верхового типа. Сфагновый торф является богатым источником биологически активных веществ различной химической природы. Его органическое вещество в значительной степени представлено полисахаридами разных классов, которые в условиях болот в первую очередь подвержены микробиологическому и химическому разложению. Высокую сохранность углеводного комплекса сфагнового торфа в залежи можно объяснить присутствием в его составе фенольных соединений растительного происхождения, которые способны аккумулироваться в торфах в составе лигно-гуминового комплекса, а также присутствовать в виде низкомолекулярных свободных соединений, в том числе фенолкарбоновых кислот, флавоноидов: флавонолов, катехинов, антоцианов, кумаринов и др. Поэтому растения-торфообразователи месторождений верхового типа и сфагновый торф можно рассматривать как потенциальное сырье для получения биологически активных ветеринарных и фармакологических препаратов биоцидного действия [1–4].

Наиболее простым методом выделения соединений антимикробного действия из сфагновых мхов и торфов является водная экстракция при повышенной температуре и давлении [4]. Водорастворимые соединения представлены моносахаридами, аминокислотами, органическими кислотами, биогенными аминами, пектинами и рядом других химических соединений, растворимых в горячей воде [1].

Перспективной с практической точки зрения может быть их химическая деструкция методами гидролиза и окисления в щелочной среде с получением комплексных препаратов, включающих биологически активные соединения исходного сырья и соединения вторичного синтеза, образующиеся в процессе химической переработки. Такая технология позволяет не только перевести в раствор гуминовые вещества, пектины, фенольные и другие биологически активные соединения исходного сырья, но и провести частичную деструкцию макромолекул гуминовых кислот, лигнина, и других полимеров, снизить молекулярную массу, повысить растворимость и содержание кислородсодержащих функциональных групп. При этом оксидаты обогащаются соединениями, ответственными за антимикробные свойства препарата – низкомолекулярными фенольными соединениями, в том числе фенолкарбоновыми кислотами,

биологически активными алифатическими и ароматическими карбоновыми кислотами, образующимися при частичной деструкции высокомолекулярных природных полимеров, а также продуктами вторичного синтеза, в том числе, меланоидиновой природы, которые могут усиливать направленное специфическое действие получаемых оксидатов.

Целью настоящих исследований было получение препаратов из сфагнового торфа и мха-торфообразователя и испытания их антимикробной активности на тест-культурах возбудителей бактериальных инфекций, вызывающих болезни сельскохозяйственных животных.

Объектами исследований выбраны магелланикум мох и два образца магелланикум торфа со степенью разложения (R) 5 и 10–15%.

Бескислотный гидролиз и окисление сырья проводили в герметически закрывающихся сосудах из нержавеющей стали, которые нагревали до необходимой температуры в термостате. В результате было получено три образца оксидатов и два образца водных гидролизатов сфагнового мха и торфа:

- 1) образец 1 – оксидат магелланикум-мха в среде гидроксида аммония;
- 2) образец 2 – оксидат магелланикум торфа (R 5%) в среде гидроксида аммония;
- 3) образец 3 – оксидат магелланикум торфа торфа (R 10–15%);
- 4) образец 4 – гидролизат магелланикум мха, полученный водным гидролизом при температуре 165 °С;
- 5) образец 5 – гидролизат магелланикум торфа (R 5%), полученный водным гидролизом при температуре 165 °С

Выполнена физико-химическая характеристика препаратов (табл. 1), определено содержание в них основных групп химических соединений: суммы веществ фенольного характера, гуминовых кислот и меланоидинов (табл. 2).

Таблица 1

Физико-химическая характеристика опытных образцов препаратов

№ образца	Массовая доля веществ, %			Оптическая плотность, нм	Плотность, г/см ³	рН
	сухие	органические	зола			
1	3,84	3,78	0,06	0,42	1,031	8,65
2	4,22	4,12	0,10	0,56	1,035	8,62
3	7,12	6,89	0,23	0,66	1,038	8,35
4	1,35	1,34	0,01	0,38	1,021	4,61
5	1,73	1,71	0,02	0,40	1,026	3,08

Препараты, полученные методом окисления сфагнового торфа, содержат 4,22–7,12 % сухих веществ и 4,12–6,89 % органических, при этом их массовая доля увеличивается с ростом степени разложения торфа. Незначительное содержание зольных соединений связано с невысокой зольностью исходных торфов и спецификой применяемых для выделения препаратов реагентов: пероксид водорода разлагается в процессе реакции, а гидроксид аммония удаляли из готовых препаратов испарением. В оксидате мха практически все сухие вещества представлены органическими соединениям, при этом их мас-

совая доля достаточно высокая для растительного сырья и составляет 3,78%. Реакция среды pH препаратов находится в слабо щелочной области и составляет от 8,35 до 8,65.

Водные гидролизаты мха и торфа малой степени разложения (5%) имеют довольно низкое содержание органических (ОВ) (1,34% для гидролизата мха и 1,71% для гидролизата торфа) и сухих веществ (СВ) (1,35 и 1,73 соответственно), минимальное содержание зольных элементов и кислую реакцию среды – 3,08–4,61.

Таблица 2

Химический состав оксидатов и гидролизатов

№ образца	Массовая доля						
	ОВ, % в растворе	гуминовые кислоты, %		меланоидины		сумма фенольных соединений	
		в растворе	от ОВ	мг/мл	% от ОВ	мг/мл	% от ОВ
1	3,78	0	0	3,80	10,05	4,17	11,03
2	4,12	1,47	35,68	–	–	3,20	7,77
3	6,89	3,41	49,49	–	–	4,00	5,81
4	1,34	0	0	1,90	14,18	3,50	26,12
5	1,71	0,16	9,36	–	–	3,40	19,88

Примечание: ОВ – органические вещества; прочерк означает – не определялось.

Изучена антимикробная активность представленных образцов методом диффузии в агар: в чашку Петри вносили микробную взвесь, заливали питательный агар и после его застывания с тест-культурой вносили в одинаковом объеме испытуемые препараты из сфагнового торфа и мха. Затем чашки Петри помещали в термостат и инкубировали в течение 24–48 ч при температуре 37 °С. После инкубации измеряли зоны задержки роста (табл. 3).

Таблица 3

Зоны лизиса тест-культур под действием препаратов

Культура	Размер зоны задержки роста, мм				
	номер исследуемого образца				
	1	2	3	4	5
<i>Escherichia coli</i>	16	18	19	15	16
<i>Staphylococcus aureus</i>	12	18	20	15	16
<i>Bacillus subtilis</i>	16	16	20	15	17

Согласно данным таблицы 3 все изучаемые образцы были эффективны по отношению к тест-культурам. Установлено, что зоны лизиса тест культуры *Escherichia coli* варьировала в пределах 15–19 мм у всех изучаемых образцов, *Staphylococcus aureus* – 15–20 мм (исключение образец № 1); *Bacillus subtilis* – 15–20 мм.

На втором этапе определения антимикробной активности проводили опыты с использованием количественного суспензионного теста. Суспензию тест-культур микроорганизмов готовили в стерильном физиологическом растворе, стандартизировали ее до 10^8 КОЕ/мл. После экспозиции препарата с культурой в течение 30 мин проводили посев на соответствующие среды и

помещали в термостат. После инкубации при температуре +37 °С в течение 48 ч подсчитывали число колоний на чашках в опыте и контроле, среднее число живых бактерий в контроле, число выживших бактерий в опыте (КОЕ/см³), определяли десятичные логарифмы и факторы редукции (RF) числа бактерий в опыте по сравнению с контролем [5].

Результаты определения антимикробной активности препаратов по отношению к тест-культурам показаны в таблице 4.

Таблица 4

**Антимикробная активность образцов препаратов
по отношению к тест-культурам**

Тест-культура	Наименование образца	КОЕ	Log	RF
<i>Staphylococcus aureus</i>	Образец 1	$5,1 \cdot 10^5$	5,71	3,00
	Контроль	$5,1 \cdot 10^8$	8,71	
	Образец 2	$5,5 \cdot 10^3$	3,74	4,96
	Контроль	$5,0 \cdot 10^8$	8,70	
	Образец 3	$4,9 \cdot 10^3$	3,69	5,00
	Контроль	$5,0 \cdot 10^8$	8,69	
	Образец 4	$3,3 \cdot 10^3$	3,51	5,20
	Контроль	$5,1 \cdot 10^8$	8,71	
	Образец 5	$4,6 \cdot 10^3$	3,66	5,05
	Контроль	$5,1 \cdot 10^8$	8,71	
<i>Escherichia coli</i>	Образец 1	$5,5 \cdot 10^4$	4,74	3,97
	Контроль	$5,1 \cdot 10^8$	8,71	
	Образец 2	$5,8 \cdot 10^3$	3,76	4,94
	Контроль	$5,0 \cdot 10^8$	8,70	
	Образец 3	$4,9 \cdot 10^3$	3,96	5,01
	Контроль	$5,0 \cdot 10^8$	8,70	
	Образец 4	$5,4 \cdot 10^4$	4,73	3,98
	Контроль	$5,1 \cdot 10^8$	8,71	
	Образец 5	$5,2 \cdot 10^4$	4,71	3,98
	Контроль	$4,9 \cdot 10^8$	8,69	
<i>Bacillus subtilis</i>	Образец 1	$4,5 \cdot 10^4$	4,65	4,04
	Контроль	$4,9 \cdot 10^8$	8,69	
	Образец 2	$4,5 \cdot 10^4$	4,65	4,04
	Контроль	$4,9 \cdot 10^8$	8,69	
	Образец 3	$3,8 \cdot 10^3$	3,58	5,12
	Контроль	$5,0 \cdot 10^8$	8,70	
	Образец 4	$4,0 \cdot 10^4$	4,60	4,11
	Контроль	$5,1 \cdot 10^8$	8,71	
	Образец 5	$4,0 \cdot 10^4$	4,60	4,10
	Контроль	$5,0 \cdot 10^8$	8,70	

Установлено, что оксидат торфа магелланикум с R 10–15% (образец № 3) оказывал антимикробное воздействие на все тест-культуры *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* и *Bacillus subtilis*, так как фактор редукции был равен или выше 5 lg, что соответствует нормативным требованиям.

На тест культуру золотистого стафилококка оказывали воздействие оксидат торфа магелланикум с R 10–15% (образец № 3) – RF 5,00; водные гидролизаты, полученные при температуре 165 °С, из мха магелланикум (образец № 4) – RF 5,20 и магелланикум торфа с R 5% (образец № 5) – RF 5,05.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. Все образцы проявили высокую эффективность против возбудителей при испытаниях методом диффузии в агар. Размеры зон лизиса составили для *Escherichia coli* – 15–19 мм, *Staphylococcus aureus* – 15–20 мм (исключение образец № 1); *Bacillus subtilis* – 15–20 мм.

2. Оксидат торфа магелланикум (R 10–15%) в среде гидроксида аммония (образец № 3) показал наилучшую эффективность в опыте методом диффузии в агар и в количественном суспензионном методе ко всем тест-культурам. Он обладает бактерицидным действием на культуры *Escherichia coli* (RF 5,01), *Staphylococcus aureus* (RF 5,0); *Bacillus subtilis* (RF 5,12).

3. Гидролизаты мха магелланикум (образец 4) и торфа магелланикум с R 5% (образец № 5) обладают наиболее значительным из всех образцов бактерицидным действием на культуру *Staphylococcus aureus*, RF составил соответственно 5,20 и 5,05.

4. Для остальных образцов в количественном суспензионном методе фактор редукции RF ко всем тест-культурам был ниже 5,0, что говорит об их бактериостатическом действии – задерживании развития культуры возбудителя.

Библиографический список

1. Биологически активные соединения различных видов сфагнового торфа / Г. В. Наумова, А. Э. Томсон, Н. А. Жмакова и др. // Химия твердого топлива. 2015. № 3. С. 8–13.
2. Фенольные соединения сфагнового торфа / Г. В. Наумова, А. Э. Томсон, Н. А. Жмакова и др. // Химия твердого топлива. 2013. № 1. С. 24–27.
3. Исследование полисахаридов некоторых видов рода *Sphagnum* L. / Л. Г. Бабешина, Я. В. Горина, А. П. Колоколова и др. // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2011. № 3. С. 413–422.
4. Дмитрук В. Н. Сравнительное фармакогностическое исследование рода *Sphagnum* и перспективы их использования : автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Самара, 2008. 22 с.
5. Методы проверки и оценки антимикробной активности дезинфицирующих и антисептических средств: инструкция по применению № 11-20-204- 2003, утв. Гл. госуд. сан. врачом Республики Беларусь 22.12.2003 г. Минск. 2003. 41 с.

ЛЕКАРСТВЕННЫЕ СВОЙСТВА *LACTUCA SERRIOLA* L. В УСЛОВИЯХ СЫРДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)

Р. С. Исмоилов

Гулистанский государственный университет,
г. Гулистан, Сырдарьинская область, Республика Узбекистан,
ismoilovrozibek7@gmail.com

В статье описано распространение *Lactuca serriola* L. в Сырдарьинской области, его морфобиологические особенности, химический состав и лекарственное значение. Фитохимический состав растения, включающий лактуцин, лактукопикрин и флавоноиды, обуславливает его седативное, противовоспалительное и обезболивающее действие. Адаптивность данного вида в условиях сухого континентального климата региона научно обоснована.

Ключевые слова: *Lactuca serriola*, лекарственное растение, Сырдарьинская область, фитохимия, лактуцин, седативное действие, фармакология.

В настоящее время изучение лекарственных растений является одним из приоритетных направлений биологии, фармакологии и медицины. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, значительная часть населения мира использует природное растительное сырьё в лечении [1].

Территория Республики Узбекистан богата биоразнообразием, а различные климатические зоны создают условия для формирования и адаптации лекарственных растений [2]. В частности, Сырдарьинская область отличается сухим и резко континентальным климатом, высокими летними температурами (до +40 °C) и низким количеством осадков (250–300 мм в год). Такие условия способствуют развитию у растений механизмов устойчивости к стрессу. В результате может увеличиваться содержание антиоксидантных и биологически активных веществ [3].

Одним из таких видов является *Lactuca serriola* L., который относится к семейству Asteraceae и представляет собой одно- или двулетнее травянистое растение. В народе он известен как дикий салат и широко распространён в Центральной Азии, Европе и Западной Азии [4]. Растение произрастает вдоль дорог, на пустырях и по краям сельскохозяйственных полей в естественных условиях и обладает высокой адаптивностью.

В научной литературе отмечается, что в составе *Lactuca serriola* присутствуют лактуцин, лактукопикрин, флавоноиды, алкалоиды и витамины [5]. Эти вещества придают растению седативные, обезболивающие, противовоспалительные и антиоксидантные свойства. Особенно подчёркивается высокая значимость лактуцина в нормализации функций центральной нервной системы.

Lactuca serriola имеет одиночный прямостоячий побег с голым стеблем. Листорасположение очерёдное, листья по цвету серо-зелёные. Длина листо-

вой пластинки 5–25 см, ширина 1,5–12 см, контур вытянутый, струговидный, с ушками у основания, по краям с мелкими зубчиками. На нижней стороне вдоль средней жилки листовой пластинки расположен ряд жёстких желтоватых волосков. Корзинки мелкие, многоцветковые (6–20 цветков), собраны в верхушечные метельчатые соцветия. Наружные листочки обёртки яйцевидные или треугольные, внутренние – линейно-ланцетные. Все цветки жёлтые, при высыхании становятся голубыми (табл. 1). Опыление осуществляется насекомыми, также возможно самоопыление.

Таблица 1

Морфологические особенности *Lactuca serriola* L.

Признак	Описание
Жизненная форма	Одно- или двулетнее травянистое растение
Корневая система	Стержневая
Высота побега	30–150 см
Побег	Прямостоячий, разветвлённый, стебель с млечным соком
Лист	Продолговатый, струговидный, сегменты или доли зубчатые, в нижней части с шипами
Цветок	Жёлтый, язычковый, собраны в корзинку
Плод	Летучая семянка

Родина – Западная Евразия. В настоящее время вид является космополитным. В Северной Америке, Южной Африке и Аргентине считается заносным и вредным сорным растением. В молодом возрасте *Lactuca serriola* встречается на полях всех видов сельскохозяйственных культур. Употребляется животными в пищу, примесь в сене считается полезной для сельскохозяйственных животных. На поздних стадиях становится более грубым и токсичным из-за млечного сока. Отравления возникают из-за смол, содержащихся в млечном соке растения. Молодые листья используются в качестве салата.

Lactuca serriola – лекарственное растение. По результатам проведённых исследований выявлено, что в условиях Сырдарьинской области отличается высокой степенью адаптации, имеет следующие особенности:

- растение устойчиво к сухому и малоснежному климату;
- в фитохимическом составе содержится достаточное количество биологически активных веществ;
- обладает седативными, противовоспалительными и антиоксидантными свойствами;
- перспективно для применения в фармацевтике и фитотерапии.

Дальнейшее углублённое лабораторное и клиническое изучение данного вида является целесообразным.

В ходе проведённых исследований *Lactuca serriola* установлено, что в условиях засушливого климата концентрация флавоноидов повышается. Это свидетельствует об усилении защитных механизмов растения в стрессовых условиях. Содержание лактуцина и лактукопикрина обеспечивает седативное и обезболивающее действие. Лекарственные свойства веществ, входящих в состав растения, считаются высокими (табл. 2).

**Фармакологическое значение веществ,
содержащихся в *Lactuca serriola* L.**

Группа веществ	Основные представители	Фармакологическое значение
Сесквитерпеновые лактоны	Лактуцин, лактукопикрин	Седативное, обезболивающее
Флавоноиды	Производные кверцетина	Антиоксидантное
Алкалоиды	В небольших количествах	Биологически активное
Органические кислоты	Различные виды	Влияние на метаболизм
Млечный сок (латекс)	Лактукарий	Успокаивающее средство

Lactuca serriola богато биологически активными соединениями, имеет важное научное и практическое значение. Содержащиеся в нём сесквитерпеновые лактоны (особенно лактуцин и лактукопикрин), флавоноиды, а также млечный сок (лактукарий) оказывают мягкое седативное и анальгезирующее действие на центральную нервную систему. Исследования также показывают, что экстракты данного вида обладают антиоксидантной и спазмолитической активностью.

В народной медицине *Lactuca serriola* использовался при бессоннице, нервозности, лёгких болях и кашле. При этом его фармакологическое действие является дозозависимым: применение в высоких дозах может вызывать нежелательные эффекты. Поэтому для внедрения в медицинскую практику необходимо проведение углублённых клинических и токсикологических исследований.

В целом, *Lactuca serriola* является перспективным источником для создания натуральных фитопрепаратов, его фитохимический состав и биологическая активность требуют дальнейших научных исследований в области современной фармакологии и фитотерапии.

Библиографический список

1. Медоносные виды диких предков культурных растений флоры Узбекистана / О. С. Абдураимов, А. В. Махмудов, Б. Ж. Мавлонов и др. // Вестник Хорезмской академии Маъмуна. 2021. № 11. С. 29–35.
2. Абдураимов А. С. Флора Торкопчигайского ботанико-географического района : автореф. дис. ... д-ра философии (PhD) по биол. наукам. Ташкент, 2021. 44 с.
3. Исмоилов Р. С., Абдураимов А. С., Абдухоликов Ф. Б. Виды рода *Lactuca* L., распространённые во флоре Узбекистана // Farmatsiya. 2024. № 2. С. 129–130 (на узбекском).
4. Флора Узбекистана: в 6 томах. Ташкент : Изд-во АН УзССР, 1941–1963.
5. Хайдаров К., Хожиматов К. Растения Узбекистана. Ташкент : «Укитувчи», 1992. 262 с.

ВЛИЯНИЕ БУТИЛИРОВАННОЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ПРОРАСТАНИЕ И БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ *LEPIDIUM SATIVUM* L. (BRASSICACEAE)

С. А. Зуева, С. В. Шабалкина, Е. В. Коледаева
Кировский государственный медицинский университет,
г. Киров, Россия, szueva129@gmail.com

В статье представлены результаты изучения влияния состава и минерализации бутилированной питьевой негазированной воды разных марок на прорастание и биометрические показатели проростков *Lepidium sativum* L., семейство Brassicaceae. Анализ информации о составе по маркировке показал, что исследуемые марки вод различаются по уровню минерализации и содержанию ионов – HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . В ходе лабораторного эксперимента выявили, что для набухания семян и первых дней развития проростков достаточно использование дистиллированной воды: зафиксированы наивысшие показатели энергии прорастания и всхожести. Однако, для дальнейшего роста и развития, наращивания биомассы необходимы ионы в оптимальных соотношениях.

Ключевые слова: *Lepidium sativum*, биометрические параметры, бутилированная вода, главный корень, главный побег, минерализация, проросток.

Вода – один из ведущих факторов, определяющих жизнедеятельность организмов: она прямо или косвенно участвует во всех жизненных проявлениях, обеспечивает протекание процессов обмена, коррелятивные взаимодействия органов и связь организма со средой. Это основной компонент большинства растительных клеток и тканей: содержание её является видоспецифичным признаком и варьирует в зависимости от возраста, физиологического состояния, типа ткани и условий внешней среды, доходит до 95% от массы растительного организма [1].

В условиях нарастающей антропогенной нагрузки на окружающую среду и роста численности населения на Земле особую остроту приобретают проблемы, связанные с качеством, доступностью и достаточностью пригодной для питья воды. «В исследовании, проведённом NeoAnalytics на тему «Российский рынок питьевой и минеральной воды: итоги 2024 г., прогноз до 2028 г.», выяснилось, что бутилированная питьевая и минеральная вода является самым большим сегментом в структуре потребления напитков среди россиян (45%)» [2]. На сегодняшний день на полках магазинов потребителю представлен большой ассортимент воды различного происхождения и состава, расфасованной в ёмкости. Питьевая вода должна быть безопасна в радиационном и эпидемиологическом отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства [3].

Вода является ключевым фактором прорастания, роста и развития растений. Опубликованных работ о влиянии бутилированной питьевой воды на организмы немного, тогда как растительные объекты являются традиционными в биомониторинговых исследованиях [4]. В связи с этим, цель исследования – оценка влияния бутилированной питьевой негазированной воды разных марок на прорастание и биометрические параметры проростков *Lepidium sativum* L. (Brassicaceae).

Для проведения опыта использовали бутилированную питьевую воду следующих марок: «Crystal spring», «Архыз», «Nestle Pure Life», «Святой источник», характеристика которых приведена в таблице 1. В качестве контроля была дистиллированная вода.

При разработке схемы опыта руководствовались [5]. Опыт заложен в пяти вариантах, в трёхкратной повторности. Семена кресс-салата – *Lepidium sativum* Данский – проращивали в чашках Петри (по 100 шт. в каждой повторности) на ложе из фильтровальной бумаги, в термостате при температуре +23...+25 °С. Энергию прорастания – количество нормально проросших семян (выраженное в процентах) в срок, установленный опытным проращиванием, – оценивали на 3 сутки, всхожесть – на 5 сутки. На 8 сутки измерили длины главного корня и побега проростков: случайно выбирали по 60 особей из каждого варианта опыта. По окончании определили общую массу проростков без учета корней с помощью электронных весов. Количественные данные статистически обработаны и представлены в виде среднего значения и ошибки среднего, сравнивали их с помощью t-критерия Стьюдента.

Таблица 1

Характеристика исследуемой питьевой воды

Признак	Марка воды			
	«Crystal spring»	«Архыз»	«Nestle Pure Life»	«Святой источник»
Производитель	ООО «ТПФ Изыскатель», г. Мензелинск	«Аквалайн», г. Черкесск	ЗАО «МПК» Московская обл., г. Мытищи	ООО «АКВА СТАР» г. Кострома
Общая минерализация, г/л	0,1–1,0	0,1–0,25	0,1–0,22	0,05–1,0
Общая жесткость, мг-экв./л	не более 6,5	не указано	1,5–3,0	не указано
Основной состав, мг/л:				
HCO ₃ ⁻	50–500	50–200	30–150	5–350
Ca ²⁺	2–100	5–50	25–40	0,5–130
Mg ²⁺	0,05–65	2–20	5–15	0,5–50
Na ⁺ /K ⁺	10–200 / 0,3–10	3–50	10–50 / 2–20	0,2–100 / 0,1–20
SO ₄ ²⁻	2–250	3–15	0,1–10	0,5–200
Cl ⁻	5–250	2–15	10–150	0,5–200

В результате анализа информации о составе питьевой воды по этикеткам исследуемых марок выявлено, что они отличаются содержанием ионов HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na/K^+ и общей минерализацией. Большие диапазон и количество растворённых веществ указано для вод марок «Crystal spring» и «Святой источник» (табл. 1). Согласно [6], питьевая вода марок «Архыз» и «Nestle Pure Life» почти по всем показателям относится к высшей категории, тогда как «Crystal spring» и «Святой источник» – к первой.

Наибольшая энергия прорастания наблюдалась при проращивании семян в дистиллированной воде (контроль) – $92,3 \pm 0,8\%$. В чашках Петри с водами «Nestle Pure Life» и «Святой источник» среднее значение энергии прорастания сходно и составило $89,3 \pm 3,4\%$, а с «Архыз» – $88,1 \pm 1,1\%$. Наименьшая энергия прорастания наблюдалась в чашке с водой «Crystal spring» – $83,3 \pm 6,1\%$.

Лабораторная всхожесть, оценённая на 5 сутки, оказалась больше в дистиллированной воде ($97,6 \pm 0,3\%$). При проращивании в водах «Crystal spring» и «Святой источник» всхожесть достоверно ниже, составила соответственно $88,6 \pm 1,4\%$ и $89,3 \pm 0,3\%$. Среднее значение всхожести в питьевой воде марок «Архыз» и «Nestle Pure Life» почти одинаково: $90,6 \pm 3,5\%$ и $90,6 \pm 1,7\%$ соответственно (табл. 2). Дисперсионный анализ показал, что на 60% всхожесть зависит от содержания воды.

Таблица 2

**Влияние воды на энергию прорастания и всхожесть
Lepidium sativum Данский**

Показатель	Дистиллированная вода (контроль)	Марка воды			
		«Crystal spring»	«Архыз»	«Nestle Pure Life»	«Святой источник»
Энергия прорастания, %	$92,3 \pm 0,8$	$83,3 \pm 6,1$	$88,1 \pm 1,1$	$89,3 \pm 3,4$	$89,3 \pm 3,4$
Всхожесть, %	$97,6 \pm 0,3$	$88,6 \pm 1,4^*$	$90,6 \pm 3,5$	$90,6 \pm 1,7$	$89,3 \pm 0,3^{**}$
Набухшие семена, %	$1,6 \pm 0,3$	$5,0 \pm 3,5$	$4,3 \pm 1,2$	$3,3 \pm 0,3$	$1,6 \pm 1,2$
Ненормально проросшие семена, %	–	$6,0 \pm 1,0$	$5,6 \pm 2,1$	$5,3 \pm 2,0$	$9,0 \pm 2,0$

Примечание: указано среднее арифметическое значение $\pm$ ошибка среднего; различия между питьевой и дистиллированной водами достоверны при – $*p < 0,01$, $**p < 0,001$.

В анализируемых водах, кроме нормально проросших семян, остались набухшие. Наибольшая их средняя доля была в водах марок «Crystal spring» ($5,0 \pm 3,5\%$) и «Архыз» ($4,3 \pm 1,2\%$). Ненормально проросшие семена (установлены по нарушению развития проростков) преобладали при проращивании в водах «Святой источник» ($9,0 \pm 2,0\%$) и «Crystal spring» ($6,0 \pm 1,0\%$) (табл. 2).

Таким образом, дистиллированная вода, т. е. очищенная от растворённых минеральных солей, органических веществ и других примесей [7], беспрепятственно проникает в семя, ускоряет набухание, повышая энергию прорастания и всхожесть. Тогда как в водах, отличающихся повышенной общей

минерализацией (относительно других вод) и разбросом концентраций ионов, показатели всхожести оказались достоверно ниже.

Однако, оценка биометрических параметров проростков показала следующие закономерности. Наибольшие средние значения длины корня зафиксированы у проростков, выращенных в водах «Crystal spring» и «Nestle Pure Life» – $82,72 \pm 4,01$ и $80,33 \pm 3,64$ мм соответственно. Наименьшие средние показатели наблюдались у проростков на дистиллированной воде $50,53 \pm 2,22$ мм и воде марки «Святой источник» $54,55 \pm 2,44$ мм. Сравнение параметров показало, что воды марок «Crystal spring», «Nestle Pure Life», «Архыз» достоверно повлияли на увеличение длины корня у проростков, относительно дистиллированной воды.

Исследованные марки воды несколько иначе действовали на длину побега проростка и биомассу. Достоверно выше оказалась длина побега у особей, выращенных на воде марки «Nestle Pure Life» и составила $40,22 \pm 1,04$ мм. Средние значения биомассы и длины побегов у растений на других марках вод достоверно не отличаются (табл. 3).

Таблица 3

Параметры проростков *Lepidium sativum* Данский

Параметр	Дистиллированная вода (контроль)	Марка воды			
		«Crystal spring»	«Архыз»	«Nestle Pure Life»	«Святой источник»
Длина корня, мм	$\frac{50,53 \pm 2,22}{14-89}$	$\frac{82,72 \pm 4,01^{**}}{24-132}$	$\frac{68,15 \pm 4,97^*}{1-134}$	$\frac{80,33 \pm 3,64^{**}}{35-135}$	$\frac{54,55 \pm 2,44}{22-90}$
Длина побега, мм	$\frac{33,12 \pm 1,17}{12-46}$	$\frac{34,57 \pm 0,84}{19-51}$	$\frac{33,55 \pm 2,06}{1-56}$	$\frac{40,22 \pm 1,04^{**}}{21-60}$	$\frac{35,30 \pm 1,27}{18-65}$
Биомасса побегов, г	$\frac{1,37 \pm 0,16}{1,07-1,65}$	$\frac{1,49 \pm 0,15}{1,21-1,76}$	$\frac{1,15 \pm 0,55}{0,12-1,99}$	$\frac{1,53 \pm 0,22}{1,29-1,97}$	$\frac{1,14 \pm 0,12}{0,89-1,26}$

Примечание: в числителе – среднее арифметическое значение $\pm$ ошибка среднего; в знаменателе – диапазон значений; различия между питьевой и дистиллированной водами достоверны при – * $p < 0,01$, ** $p < 0,001$.

Таким образом, при выращивании *Lepidium sativum* на воде марки «Nestle Pure Life» достоверно увеличиваются размеры проростков. Данная вода отличается сравнительно низкими значениями общей минерализации ($0,1-0,22$ г/л) и диапазоном концентраций ионов (за исключением Cl^-). У проростков, выращенных на воде марки «Crystal spring», также достоверно выше значение длины корня. Проанализировав ионный состав данной марки воды, оказалось, что диапазон концентраций ионов HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^- наибольший по сравнению с водами других марок. Однако, это не повлияло на достоверное увеличение длины побега и биомассы.

В ходе исследования выявили, что для набухания семян и первых дней развития проростков *Lepidium sativum* достаточно использование дистиллированной воды, но для дальнейшего роста и развития, наращивания биомассы необходимы ионы в оптимальных соотношениях. Полученные результаты со-

гласуются с опубликованными данными других исследователей [8, 9]. Так, например, в работе [8] показано, что ростовые процессы усиливаются при обработке семян 1%-ным водным раствором сульфата магния.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что состав питьевой воды влияет на лабораторную всхожесть и параметры проростков, следовательно, оказывает воздействие и на жизнедеятельность других биологических объектов. Поэтому, при выборе бутилированной питьевой воды для повседневного потребления целесообразно анализировать указанный на этикетке состав, отдавая предпочтение воде с низкой общей минерализацией и небольшим диапазоном концентраций ионов.

Библиографический список

1. Кудоярова Г. Р., Холодова В. П., Веселов Д. С. Современное состояние проблемы водного баланса растений при дефиците воды // Физиология растений. 2013. № 60 (2). С. 155–165.
2. Анализ российского рынка питьевой и минеральной воды [Электронный ресурс]. – URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/16035/?ysclid=mmvnp9or2n670710813> (дата обращения: 06.03.2026).
3. Вода и здоровье человека [Электронный ресурс]. – URL: <https://34.rospotrebnadzor.ru/content/187/4407/?ysclid=mm6lvbq841708693432> (дата обращения: 06.03.2026).
4. Зуева С. А., Шабалкина С. В., Коледаева Е. В. Оценка бутилированной питьевой воды по биометрическим параметрам проростков *Lepidium sativum* L. (Brassicaceae) // Актуальные вопросы истории медицины и современные проблемы развития здравоохранения : сб. докладов и статей V очно-заочной науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2026. С. 53–56.
5. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : действ. с 01.07.1986. М. : Стандартинформ, 2011. 30 с.
6. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в ёмкости. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1116-02» : действ. с 01.07.2002. М., 2002. 22 с.
7. ГОСТ Р 58144-2018 Вода дистиллированная. Технические условия : действ. с 01.07.2019. М.: Стандартинформ, 2019. 10 с.
8. Неверов А. А. Стимулирующий эффект сульфата магния на стадии прорастания семян сельскохозяйственных культур. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-87-1-74-78 // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1. С. 74–78.
9. Демиденко Г. А. Влияние натриево-хлоридного засоления на прорастание семян и биометрические показатели яровой пшеницы на ранних этапах онтогенеза // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 2. С. 22–25.

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ФОНА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ОВСА

О. Е. Кононова^{1,2}, Ю. А. Злобина²

¹ Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,

² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия,
oksana.kononova.98@mail.ru

Изучено влияние разнородных почвенных условий на продуктивность пяти генотипов овса посевного. Установлено, что почвенный фон оказывает более существенное воздействие на исследуемые параметры по сравнению с влиянием генотипа.

Ключевые слова: овёс посевной, продуктивность, масса зерна, кислотность, цинк, кадмий.

Овёс посевной (*Avena sativa* L.) слабо чувствителен к кислотности почвы и может удовлетворительно расти при кислой и слабощелочной реакции. Показано, что в ответ на кислую реакцию среды ($pH = 4,9$) и сопутствующие стрессоры у овса активируются ферменты-антиоксиданты (каталаза и пероксидаза). Это позволяет растению эффективно нейтрализовать окислительный стресс, возникающий при низком pH , и поддерживать ростовые процессы [1].

Отрицательное действие высокой кислотности на жизнеспособность и урожайность овса связано с повышением растворимости соединений металлов в почвенном растворе [2]. В связи с этим особую значимость для устойчивого земледелия в регионах с неблагоприятными почвенными условиями приобретает создание генотипов овса, устойчивых к токсическому воздействию ионов металлов, а также способов снижения токсичности [3]. При этом отбор перспективных генотипов возможен как в лабораторных, так и полевых условиях на контрастных фонах [4]. Инструментом повышения генетического разнообразия растений и создания источников устойчивости к эдафическим стрессорам может выступать отбор клеток в селективных условиях *in vitro* на основе соматической изменчивости [5]. Растения, регенерированные из тканевой культуры, не идентичны родительскому типу [6]. Клеточная селекция растений, сочетаемая с созданием соматоклонов, позволяет выделить регенерантные формы с ценными признаками, что существенно ускоряет выведение новых стрессоустойчивых генотипов [7].

Цель работы – оценка влияния почвенного фона на изменчивость продуктивных показателей различных генотипов овса.

Объектом исследования служили пять генотипов овса: исходный 2h15 и его регенеранты, полученные на селективной среде с Cd^{2+} 20 мг/л (RA_{Cd}), 15% ПЭГ ($RA_{ПЭГ}$), Al^{3+} 40 мг/л (RA_{Al}).

Семена овса (3 шт.) высевали в вегетационные сосуды (в 3-кратной повторности) объёмом 5 л, наполненные суглинистой дерново-подзолистой почвой. Схема опыта включала четыре почвенных фона: контрольный – оптимальный по кислотности (рН = 6,9); кислый (рН = 4,3); с избытком цинка – 1100 мг/кг (рН = 4,3) и кадмия – 10 мг/кг (рН = 4,3). Контрольный (нейтральный) почвенный фон создавали путём внесения в природную сильноокислую почву (рН = 4,3) доломита. Кислым фоном служила почва с природным уровнем кислотности. Фон с цинком и кадмием создавали путём внесения в почву водорастворимых сульфатов.

Растения выращивали в естественных условиях. После полного созревания растения извлекали из почвы, производили учёт показателей: высота растений, длина метёлки, количество колосьев и зёрен в метёлке, их масса.

Данные обрабатывали статистически методами двухфакторного дисперсионного анализа с использованием пакетов программ Agros 2.07 и Microsoft Excel 2016.

Согласно полученным данным, почвенный фон (фактор А), по сравнению с генотипом (фактор В), вносил бóльший вклад в исследуемые параметры (табл.).

Таблица

Изменчивость хозяйственно-ценных признаков генотипов овса

Показатель	Фактор	
	А	Б
Высота растения, см	3,3	1,2
Длина метёлки, см	5,2	0,55
Количество колосьев в метёлке, шт.	4,5	1,3
Количество зёрен в метёлке, шт.	13,3	3,2
Масса зёрен в метёлке, г	13,2	4,3

Примечание: фактор А – почвенный фон, фактор Б – генотип.

В бóльшей степени от условий произрастания зависела озернённость метёлки (количество и масса зёрен).

В среднем по генотипам, значимый признак, связанный с урожайностью – масса зерна, был достоверно выше на почвенном фоне с цинком, несмотря на превышение его содержания в почве (рис.).

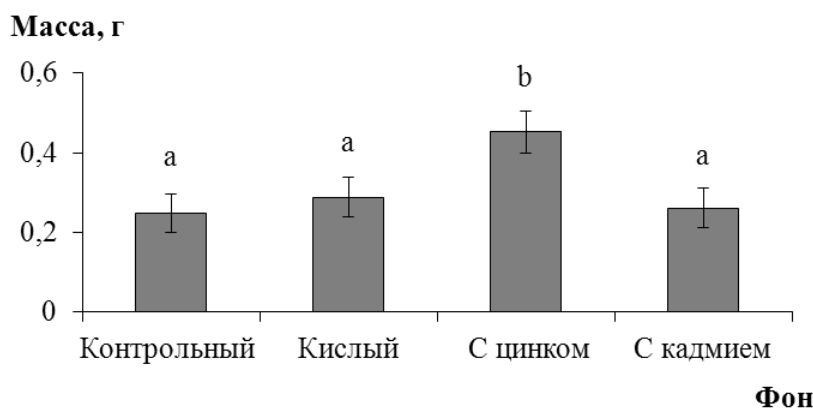


Рис. Масса зерна в метёлке овса на различных почвенных фонах

Следует обратить внимание, что в наших исследованиях отсутствовало ингибирующее влияние кадмия на продуктивные показатели. Аналогичные эффекты были установлены в экспериментах с пшеницей (*Triticum aestivum* L.). Кадмий (100 мкМ) не препятствовал накоплению сырой и сухой биомассы побегов. Более того, кратковременная предобработка кадмием повышала холодоустойчивость растений. Это указывает на то, что низкие дозы токсиканта могут выступать в роли стресс-сигнала, подготавливающего растение к действию других неблагоприятных факторов без угнетения роста [8].

Известны исследования, подтверждающие, что невысокие концентрации цинка в почве ведут к увеличению продуктивности. Например, изучение влияния разных доз цинка на ячмень (*Hordeum vulgare* L., сорт Зазерский 85) показало, что стимулирующий эффект наблюдается при содержании цинка, в 1–2 раза превышающем ориентировочно допустимую концентрацию [9]. Эксперимент на другой культуре – амаранте (*Amaranthus cruentus* L.) – показал, что небольшое превышение содержания цинка оказывает стимулирующий эффект: высота растений увеличивается на 34%, а сырая масса – на 53% по сравнению с контролем [10].

Таким образом, проведённые нами исследования показали незначительную роль генотипа (в рамках – исходный генотип / регенерант) в формировании продуктивных признаков овса. Использование клеточной селекции имело положительный эффект лишь для RA_Δ, который имел превышение по продуктивности метёлки в 1,4 раз по сравнению с исходным генотипом и в 1,1–1,2 раза по сравнению с другими регенерантами. Целесообразно в дальнейшем проведение биохимической оценки зерновой продукции исследуемых генотипов.

Библиографический список

1. Четина О. А., Жуланова Н. С. Изменение некоторых физиолого-биохимических показателей *Avena sativa* L. в условиях засоления и кислотности почвы. DOI: 10.21685/2307-9150-2025-2-8 // ИВУЗ ПР Естественные науки. 2025. № 2. С. 83–92.
2. Савельева Ю. В., Ахтямова А. А. К вопросу о реакции овса на кислотно-щелочные условия почвы. DOI: 10.24412/2409-3203-2023-35-24-28 // Эпоха науки. 2023. № 35. С. 24–28.
3. Попыванов Д. В., Агеева А. Е., Мулина М. И. Экзометаболиты базидиомицетов в качестве средств для повышения устойчивости пшеницы к токсическому воздействию алюминия. DOI: 10.31993/2308-6459-2025-108-3-17057 // Вестник защиты растений. 2025. Т. 108. № 3. С. 141–148.
4. Адаптивный потенциал ячменя при токсичном воздействии кадмия в различных условиях оценки / Е. В. Товстик, О. Н. Шуплецова, Л. В. Панихина, Ю. А. Злобина. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-128-137 // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2025. Т. 186. № 2. С. 128–137.
5. Шуплецова О. Н., Товстик Е. В. Аккумуляция кадмия и цинка регенерантами ячменя на провокационном почвенном фоне с кадмием. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-9-17 // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 4. С. 9–17.
6. Никитина Е. Д., Хлебова Л. П., Пронина Р. Д. Соматоклональная изменчивость *in vitro* как источник создания исходного материала для селекции мягкой пшеницы // Acta Biologica Soft Sibirica. 2015. № 1 (3–4). С. 171–186.

7. Оценка адаптационной способности регенерантных и исходных генотипов овса к почвенным стрессорам / О. Н. Шуплецова, Г. А. Баталова, Е. В. Товстик и др. DOI: 10.31857/S2500262724040066 // Российская сельскохозяйственная наука. 2024. № 4. С. 29–35.

8. Венжик Ю. В., Титов А. Ф., Таланова В. В. Реакция растений пшеницы на комбинированное действие низкой температуры и кадмия. DOI: 10.17076/eb662 // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2017. № 12. С. 108–117.

9. Влияние загрязнения почв цинком на ячмень сорта Зазерский 85 и его семенное потомство / Д. В. Васильев, В. С. Анисимов, Л. Н. Анисимова и др. DOI: 10.1134/S000218811908012X // Агрохимия. 2019. № 8. С. 60–69.

10. Zakane R., Kowshik M. Zinc biofortification and implications on growth, nutrient efficiency, and stress response in *Amaranthus cruentus* through soil application of biosynthesized nanoparticles. DOI: 10.1016/j.afres.2023.100385 // Appl. Food Res. 2024. Vol. 4 (3). Article No. 100385.

ЭВОЛЮЦИЯ АССОРТИМЕНТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В САДАХ ПРИ ДУХОВНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ ТОМСКА (XIX–XXI ВВ.)

Т. Э. Куклина, Э. Э. Мамедова

*Томский государственный университет, г. Томск, Россия,
t_kuklina63@mail.ru, mamedova9111@gmail.com*

В статье на основе архивных описаний и натурных инвентаризаций прослежена эволюция ассортимента древесных растений в садах духовенства Томска. Установлено, что в XIX – начале XX в. основу составляли местные виды (пихта сибирская, кедр, береза), причем пихта использовалась для парадных рядовых посадок. Первые интродуценты (сирень, чубушник) появились предположительно в конце XVIII – XIX в. (до 1870-х гг.). По данным инвентаризации 2016 г., в насаждениях Богородице-Алексеевского монастыря из 12 видов деревьев 9 – интродуценты. Делается вывод о кардинальной смене ассортимента и предлагается частичное восстановление исторических видов.

Ключевые слова: дендрология, интродукция, исторические сады, духовные учреждения, пихта сибирская, Томск, Богородице-Алексеевский монастырь.

Сады при духовных учреждениях Томска в распространении декоративных растений в Сибири изучены недостаточно. В Томске практически не сохранилось планов садов с указанием пород, что делает ценными письменные описания и современные натурные обследования. Цель исследования – проследить эволюцию ассортимента древесных растений в садах духовенства Томска с XIX по XXI в.

Объекты исследования – сады Богородице-Алексеевского монастыря, Духовной семинарии, Троицкого кафедрального собора. Используются архивные материалы фондов Томского областного краеведческого музея имени

На открытке начала XX в. (рис. 2) хорошо различимы рядовые посадки деревьев вдоль ограды семинарского комплекса, что согласуется с описанием Хандорина, который указывал на доминирование пихты сибирской в периметральном озеленении.



Рис. 2. Духовная семинария. Открытка начала XX в. из фондов ТОКМ

Первые интродуцированные кустарники (сирень обыкновенная, чубушник) появились в Томске, по данным В. А. Моряжиной, предположительно в конце XVIII–XIX в. (до 1870-х гг.), именно в садах при духовных учреждениях и купечества [4]. Однако их доля была незначительной

Судьба семинарского сада оказалась трагичной. Как отмечают исследователи, последние упоминания о Томской духовной семинарии в документах консистории датируются октябрём 1918 г. [5, Л. 8-11]. В марте 1920 г. семинарский комплекс был реквизирован, и его помещения заняли военные училища; сад был вырублен, а речку Игуменку пустили под землю, в тоннель [5]. Эта участь постигла и многие другие сады при духовных учреждениях Томска.

По данным инвентаризации 2016 г., современный ассортимент Богородице-Алексеевского монастыря (10183,8 м², озеленение 32,4%) включает 12 видов деревьев и 17 видов и культиваров кустарников [6]. Из них местные виды представлены елью сибирской, боярышником кроваво-красным, розой иглистой, спиреей иволистной, можжевельником обыкновенным; остальные – интродуценты (липа сердцевидная, дуб черешчатый, миндаль низкий, пузыреплодник калинолистный и др.). Из исторических видов, доминировавших в XIX – начале XX в., в насаждениях монастыря сохранились лишь единичные экземпляры кедра сибирского и рябины обыкновенной; пихта сибирская, чермуха обыкновенная и береза (последняя отмечена в описаниях, но отсутствует в инвентаризации 2016 г.) не представлены.

Причины смены ассортимента: гибель старовозрастных насаждений в советский период (семинарский сад вырублен, монастырский сад пришел в запустение после закрытия монастыря в 1923 г.), смена эстетических предпочтений (переход к быстрорастущим и газоустойчивым видам), доступность посадочного материала интродуцентов, отсутствие задачи воссоздания исторического ассортимента при возрождении монастыря в 1990–2000-е гг.

Таким образом, в XIX – начале XX в. основу ассортимента садов при духовных учреждениях составляли местные древесные породы с абсолютным доминированием пихты сибирской в рядовых посадках. Пихтовые аллеи вдоль оград храмов являлись характерной чертой озеленения города того периода, практически полностью утраченной к настоящему времени. Первые интродуцированные кустарники появились в этих садах во второй половине XIX в., но их доля была незначительной.

По данным инвентаризации 2016 г., в насаждениях Богородице-Алексеевского монастыря преобладали интродуценты (9 из 12 видов деревьев). Однако с момента последнего обследования прошло 10 лет. Для оценки современных изменений ассортимента, вызванных естественным старением насаждений, климатическими факторами и антропогенным воздействием, требуется проведение повторной инвентаризации.

На основе актуализированных данных для действующего Богородице-Алексеевского монастыря предлагается: обеспечение посадочным материалом местных видов (пихта, кедр, черемуха, рябина) через существующие питомники; учитывая сокращение исторической территории, целесообразно частичное воссоздание духа исторического сада – включение видов исторического ассортимента в существующее озеленение, в первую очередь поэтапное восстановление периметральных посадок пихты вдоль сохранившихся участков каменной ограды, формирование исторической коллекции сирени и чубушника, разработка проекта реконструкции сада на основе архивных планов 1870 и 1884 гг. Это позволит вернуть аутентичность сакральному ландшафту и создать научно обоснованный прецедент для других исторических садов Сибири. Реализация данных мероприятий также составит предмет дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Курицына М. В. Материалы по теме «История садов Томска» : рукопись // Томский областной краеведческий музей им. М. Б. Шатилова (ТОКМ). Ф. 1. Оп. 13. Д. 102.
2. Описание Томского Алексеевского мужского монастыря [Электронный ресурс]. – URL: <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000792236> (дата обращения: 16.02.2026).
3. Хандорин П. В. Воспоминания : рукопись // Государственный архив Томской области (ГАТО). Ф. Р–1954. Оп. 1. Д. 7.
4. Морякина В. А. Дендро-ландшафтная архитектура как основа своеобразия городского ансамбля // Университетская роща как составная часть ландшафтно-архитектурной структуры города. Томск: Изд-во ТГУ, 1990. С. 7–11.

5. Лойко О. Т., Глушкова Л. В. Томская духовная семинария как объект локальной истории // Вестник Томского государственного университета. История. 2025. № 96. С. 23–33.

6. Куклина Т.Э., Сергиенко А.А. Древесные растения в озеленении православных храмов г. Томска // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири : материалы VIII Междунар. науч. интернет-конф. Томск : Издательский Дом ТГУ, 2016. С. 84–90.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ И МИГРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПО ОРГАНАМ СОРГО ЗЕРНОВОГО

*А. А. Милейко, Г. В. Седукова, Н. И. Карпенко,
А. В. Скоробогатая, Р. А. Король
Институт радиобиологии НАН Беларуси,
г. Гомель, Республика Беларусь,
mileyko98@mail.ru, g.sedukova@gmail.com,
karpenkonikolaj23@gmail.com*

В статье приведены результаты исследования об изменениях параметров роста и развития, миграции техногенных радионуклидов по органам сорго зернового при выращивании на дерново-подзолистой супесчаной почве в юго-восточном регионе Республики Беларусь. Установлено, что за 2024–2025 гг. по совокупности исследуемых морфологических разностей сорго зерновое наиболее продуктивно в данном регионе при возделывании с 3 декады мая по 1 декаду июня. Также выявлены закономерности миграции радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr по органам сорго зернового в зависимости от фазы развития, которые представлены в виде убывающих рядов в фазу начала выметывания метёлки (^{137}Cs – корни > листья > стебель, ^{90}Sr – листья > стебель > корни) и в фазу молочно-восковой спелости зерна (^{137}Cs – корни > листья > метёлка > стебель и ^{90}Sr – листья > стебель > корни > метёлка).

Ключевые слова: сорго зерновое, морфометрические показатели, фаза развития, срок посева, продуктивность, миграция, цезий-137, стронций-90.

За последние десять лет на территории юго-восточной части Республики Беларусь всё чаще наблюдается установление сложной агрометеорологической обстановки в виде летней засухи [1]. Для минимизации рисков последней важен поиск засухоустойчивых и хозяйственно-ценных кормовых культур при обеспечении стабильности сельского хозяйства. К таковым относятся сорговые. Сорго – род растений семейства Мятликовые (Poaceae) с высокой ксерофитностью, которая обусловлена мощностью корневой системы, особенностями строения листовой поверхности и стеблей [2–5].

Стоит отметить, что значительная часть земель в этом регионе загрязнена техногенными радионуклидами в результате катастрофы на ЧАЭС [6].

Для расширения возможностей использования земель в сельском хозяйстве и получения качественной продукции важно контролировать радиационную обстановку. Выбор культур с низким коэффициентом перехода радионуклидов в биомассу, изучение особенностей накопления и миграции изотопов по органам растений являются приоритетными научными задачами, решение которых позволит повысить эффективность сельскохозяйственного производства с минимальными рисками для экосистемы и, в конечном итоге, здоровья населения. Таким образом, в условиях изменения климата и наличия загрязнённых земель особое внимание следует уделять выбору возделываемых культур, как ключевому фактору устойчивого развития сельского хозяйства в регионе.

Цель исследования – выявление особенностей роста и развития, миграции техногенных радионуклидов по органам сорго зернового.

Исследование проводили в 2024–2025 гг. на дерново-подзолистой супесчаной почве Брагинского района Гомельской области. Сорго зерновое выращивали согласно агротехническим приёмам для кормовых и технических культур [7]. Семена высевали в следующие сроки: 3 декада апреля, 2 декада мая, 3 декада мая, 1 декада июня. Учёт исследуемых параметров и отбор образцов производили в наиболее значимые фазы развития растений – вегетативный рост (фаза начала выметывания метёлки, далее НВМ) и созревание (фаза молочно-восковой спелости зерна, далее МВС) в соответствии с методикой полевого опыта [8]. Морфометрические показатели определяли согласно общим методам линейного измерения.

Подготовка проб почвы к аналитической работе включала высушивание, просеивание, взвешивание; растений – взвешивание, измельчение, высушивание [8–10]. Определение содержания ^{137}Cs ($E=661,6$ кэВ) выполняли на аттестованном гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором и пакетом программного обеспечения Genie 2000 в сосудах Маринелли 500 см^3 и $\text{denta } 100\text{ см}^3$ [10]. Радиохимическое определение содержания ^{90}Sr проводили по методикам [11, 12] на аттестованном низкофоновом α - β счетчике. Относительная погрешность измерений удельной активности радионуклидов не превышала 20 %. Статистическую обработку результатов исследований проводили с помощью пакета Microsoft Office 2010.

К параметрам, влияющим на формирование итоговой продуктивности сорго зернового, относят скорость роста растения в течение суток, высота растения, количество листьев и междоузлий, длина междоузлий. Установлено, что скорость роста сорго зернового выше на начальных этапах развития (до 1,8 см/сутки), что на 35–45% интенсивней в сравнении с ростом при достижении фазы МВС. Наиболее интенсивный рост зафиксирован при посеве сорго в поздние (3-я декада мая и 1-я декада июня) сроки.

При этом высота растения и средняя длина междоузлий снижается на 10–20% и 35–50% соответственно в ранние сроки сева. Определено, что количество листьев возрастает на 10–30% к позднему сроку сева вне зависимости от фазы развития растений.

Урожайность сорго зернового возрастает приблизительно в 2 раза при посеве в III–IV сроки вне зависимости от фазы развития (рис.).

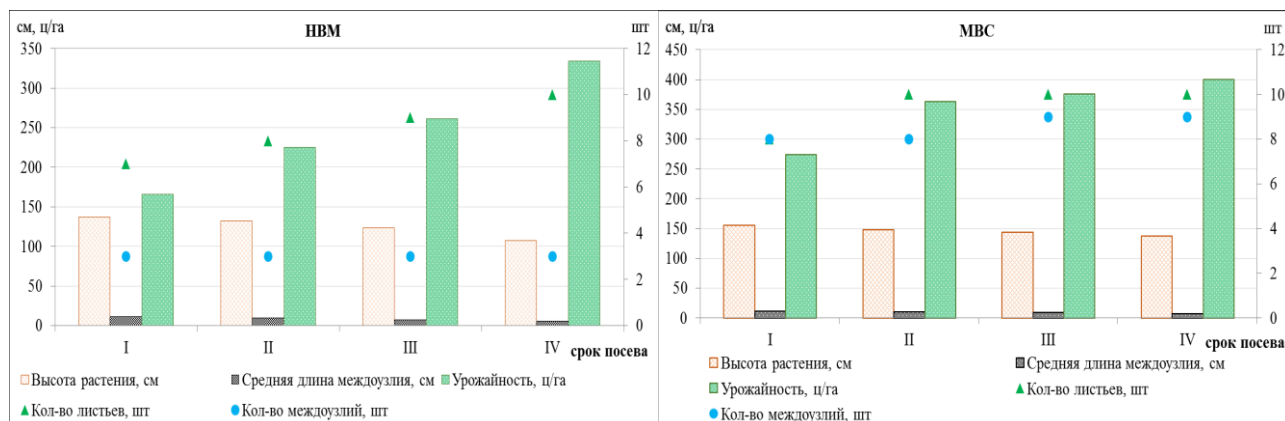


Рис. Морфометрические параметры и урожайность сорго зернового

Таким образом, по совокупности морфологических различий культура сорго зернового наиболее продуктивна при выращивании на дерново-подзолистой почве в юго-восточной части Беларуси с 3 декады мая (III срок сева) и 1 декады июня (IV срок сева).

Установлено, что радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr в основном аккумулируются в корневой системе и листьях сорго зернового. Распределение исследуемых радионуклидов по органам растений можно представить в виде убывающего ряда вне зависимости от срока сева:

в фазу начала выметывания метёлки:

^{137}Cs – корни > листья > стебель,

^{90}Sr – листья > стебель > корни;

в фазу молочно-восковой спелости зерна:

^{137}Cs – корни > листья > метёлка > стебель

^{90}Sr – листья > стебель > корни > метёлка.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ в рамках гранта на тему «Установить количественные изменения в структуре урожая и параметрах накопления радионуклидов в органах растений при разных сроках сева сорго» № гос. регистрации 20250969.

Библиографический список

1. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учётом изменения климата [Электронный ресурс]. – URL: <http://minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus> (дата обращения: 03.03.2026).
2. Булекова А. А. Сорго – перспективная культура в условиях сухостепной зоны Приуралья. Уральск : ЗКАТУ им. Жангир хана, 2020. 161 с.
3. Зангиева Ф. Т. Фазы роста и развития зернового сорго при разных сроках посева в лесостепной зоне РСО-А // Вестник Владикавказского НЦ РАН. 2016. № 3. С. 52–55.
4. Сорго зерновое [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.theplantlist.org/tpl1.1-/record/kew-443283> (дата обращения: 03.03.2026).

5. Основные сельскохозяйственные культуры *Sorghum bicolor* (L.) Moench. – Сорго зерновое [Электронный ресурс]. – URL: https://agroAtlas.ru/ru/content/cultural/Sorghum-bicolor_K/index.html (дата обращения: 04.03.2026).
6. Последствия чернобыльской катастрофы для Беларуси [Электронный ресурс]. – URL: <https://chernobyl.mchs.gov.by/informatsionnyy-tsentr/posledstviya-chernobylskoy-katastrofy-dlya-belarusi> (дата обращения: 04.03.2026).
7. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур : сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию. Минск : Беларус. навука, 2012. 471 с.
8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
9. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа : введ. РБ 01.01.19. М. : Стандартиформ, 2018. 10 с.
10. Методика выполнения измерений объёмной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов на гамма-спектрометрах с полупроводниковыми детекторами : утв. Бел. гос. ин-т метрологии 29.09.20. Минск : БелГИМ, 2020. 32 с.
11. Методические указания по определению ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах и растениях : утв. Мин-вом сельского хозяйства СССР. М. : ЦИНАО, 1985. 64 с.
12. Методика радиохимического определения удельной активности стронция-90 в почвах и растениях без разделения в системе стронций-кальций : утв. РНИУП Ин-т радиол. ; 28.08.2003. Гомель : РНИУП, 2003. 10 с.

ДИНАМИКА СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И ПЛОЩАДЕЙ НАСАЖДЕНИЙ ДУБА МОНГОЛЬСКОГО В СИХОТЭ-АЛИНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

А. В. Могилева¹, Т. Л. Егошина²

*¹ Сихотэ-Алинский государственный природный биосферный заповедник
имени К. Г. Абрамова, пос. Терней, Приморский край, Россия,*

*² Всероссийский научно-исследовательский институт
охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова,
г. Киров, Россия, etl@inbox.ru*

Представлены материалы по изучению динамики площадей дубняков на территории Сихоте-Алинского государственного заповедника. Выявлено их уменьшение более чем в 3 раза за период с 1979 по 2013 гг. Представлен процесс замещения дубняка разнотравно-марьянникового лиственный лесным фитоценозом с единичными берёзой плосколистной и дубом в древостое.

Ключевые слова: дуб монгольский, динамика площади, усыхание, древостой, подрост, травяно-кустарничковый ярус.

Дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.) является одним из основных лесообразующих видов Сихотэ-Алинского государственного природного биосферного заповедника. Он формирует отдельный высотный

пояс ксеромезофильных дубовых лесов, который протянулся вдоль морского побережья и поднимается до высоты 350–600 м н. у. м. В заповеднике дубовые сообщества занимают около 45 тыс. га, уступая по площади только кедрово-широколиственным и елово-пихтовым лесам. Для дубовых лесов прибрежной части заповедника характерно абсолютное преобладание дуба в древостое, где он образует основной ярус, трудно расчлняемый на пологи. По условиям местопроизрастания выделяются несколько групп дубовых лесов: сухие, периодически сухие, свежие и влажные. Отдельно рассматривается дубовое криволесье приморских террас [1].

Дуб монгольский является достаточно устойчивым к разным условиям существования: режиму увлажнения, богатству и механическому составу почв, влиянию моря, перепадам температур и пожарам [2], по отношению к увлажнению является ксеромезофитом и более других древесных видов юга Дальнего Востока России приспособлен к неустойчивости водного режима почв [3].

К сожалению, несмотря на устойчивость дуба к различным воздействиям, многие исследования указывают на значительное сокращение дубовых лесов с начала XX века. Болезни и гибель различных видов дуба оказывают существенное влияние на состояние и продуктивность дубовых лесов, а могут приводить к полному распаду сообществ [4]. Усыхание дуба, как и других видов деревьев, представляет собой преждевременную и прогрессирующую потерю жизнеспособности, во многих случаях не объясняемую конкретной причиной и приводящей к гибели деревьев [5]. Большинство исследователей подчёркивают, что усыхание дуба затрагивает насаждения различного состава, возраста и густоты, произрастающие в разнообразных условиях.

На территории Сихотэ-Алинского заповедника первые признаки усыхания *Q. mongolica* в виде небольших пятен с разрушенным дубовым древостоем были обнаружены в 1976 г. [2]. Во время проведения лесоустроительных работ в 1979 г. отмечен 31 га погибших дубняков в урочищах Благодатное и Голубичное [2]. За период с 1979 г. по 2023 г. площадь усохшего древостоя выросла с 31 га до 111 га. С 2000 г. на территории заповедника организован регулярный мониторинг за процессом усыхания [2, 6].

Цель работы – определение площади и границ очагов усыхания сообществ с дубом монгольским в прибрежной части заповедника, изучение сукцессионных процессов и оценка изменений в структуре растительного покрова на примере дубняка разнотравно-марьянникового.

Усыхание дуба в поясе дубовых ксеромезофильных лесов охватило все экологические группы дубняков – от сухих рододендроновых до влажных осмундовых [7]. В 2021–2023 гг. для наблюдения за сукцессионными процессами в дубняке разнотравно-марьянниковом была проведена ревизия растительности на трансектах, заложенных в период с 1988 г по 2023 гг. в урочище Благодатное. На всех трансектах проводили учёт древостоя, подроста и подлеска. Травяной покров описывали на полосе шириной 1 м, отбитой вдоль длины трансекты. Для наблюдения за динамикой площади выявленных

участков усыхания границы участков были пройдены с GPS-навигатором Garmin GPSmap 64st.

Изменение площади усыхающих дубняков в урочище Благодатное происходит за счёт увеличения площади или восстановления ранее возникших участков и за счёт возникновения новых очагов усыхания.

Во время лесоустроительных работ в 1979 г. в урочище Благодатное было отмечено 25,9 га погибших дубняков. Картирование очагов усыхания, проведённое в 2022–2023 гг., показало, что общая площадь с расстроенными древостоями составила 110,8 га (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема расположения очагов усыхания дубняков в урочище Благодатное

Наблюдение за динамикой развития дубняка разнотравно-марьянникового показало следующее. Первоначально древостой фитоценоза был представлен дубом и единичной берёзой плосколистной. Усыхание началось во второй половине 1970-х гг. К 2003 г. на этом участке не осталось ни одного дерева дуба (рис. 2). К этому же времени в состав древостоя «вошла» лиственница и уже к 2008 г. её численность составила 1700 экз./га. К 2013 г. в древостой «вошли» единичные деревья дуба (рис. 2).

С 2017 г. значимых изменений в древостое сообщества не происходило. Сформировался устойчивый лиственничный лес с единичными берёзой плосколистной и дубом. Доминирующая в подросте берёза плосколистная полностью исчезла, и с 2017 г. возобновление представлено единичными берёзой даурской, лиственницей и дубом (рис. 3).

Подлесок изрежен и образован несколькими кустами лещины маньчжурской (рис. 4). Травостой разреженный, значимого покрытия не образует (табл.).

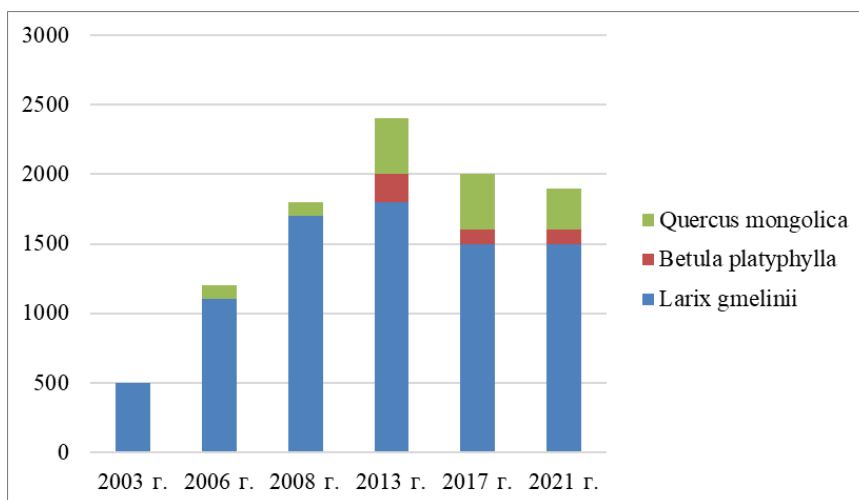


Рис. 2. Изменение состава древостоя в дубняке разнотравно-марьянниковом по годам (экз./га)

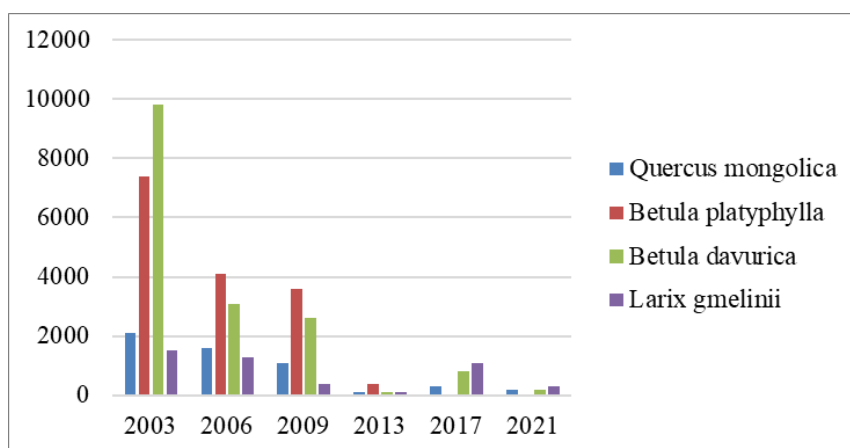


Рис. 3. Динамика подроста в дубняке разнотравно-марьянниковом (экз./га)

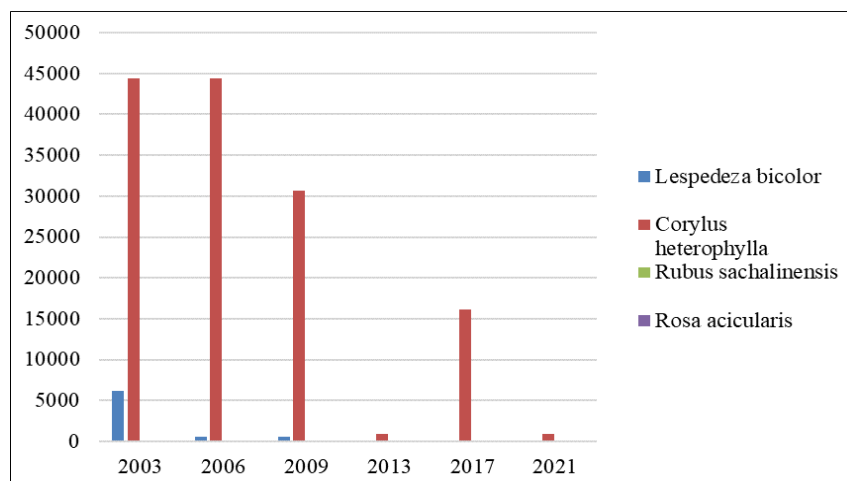


Рис. 4. Динамика подлеска в дубняке разнотравно-марьянниковом (экз./га)

**Динамика состава и структуры напочвенного покрова
в усыхающем дубняке разнотравно-марьянниковом**

Вид	2006 г.		2007 г.		2021 г.	
	встр., %	пп, %	встр., %	пп, %	встр., %	пп, %
<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	7	0,5	5	0,5	11	< 5
<i>Artemisia stolonifera</i>	4	3	4	3	–	–
<i>Artemisia maximovicziana</i>	90	3	25	3	22	< 5
<i>Thalictrum tuberiferum</i>	60	0,8	57	1	11	<5
<i>Convallaria keiskei</i>	60	1	63	1,6	11	<5
<i>Valeriana fauriei</i>	20	1	13	1	–	–
<i>Carex vanheurckii</i>	60	4	74	4	11	< 5
<i>Viola orientalis</i>	40	0,8	35	0,5	22	< 5
<i>Anemonoides udensis</i>	100	2	60	2	11	< 5
<i>Anemonoides amurensis</i>	2	1	2	1	–	–
<i>Carex siderosticta</i>	100	2,5	95	2,7	67	< 5
<i>Saussurea amurensis</i>	5	1	4	1	–	–
<i>Trientalis europaea</i>	70	0,2	70	0,2	22	< 5
<i>Maianthemum dilatatum</i>	56	1	56	1	–	–
<i>Pteridium latiusculum</i>	20	5	18	4	11	< 5
<i>Viola selkirkii</i>	10	0,2	10	0,2	–	–
<i>Galium davuricum</i>	7	0,6	5	0,6	–	–
<i>Galium boreale</i>	15	0,2	15	0,2	11	< 5
<i>Carex nanella</i>	40	1,5	33	1	89	5
<i>Carex lanceolata</i>	10	2	8	2	44	< 5
<i>Ligularia calthifolia</i>	8	0,5	8	0,5	–	–
<i>Ligularia fischeri</i>	4	0,8	4	0,6	–	–
<i>Doellingeria scarba</i>	4	3	4	3	–	–
<i>Lathyrus humilis</i>	10	0,5	10	0,5	11	< 5
<i>Pseudostellaria rigida</i>	50	0,5	50	0,5	100	< 5
<i>Sanguisorba officinalis</i>	25	0,5	24	0,5	–	–
<i>Bupleurum longiradiatum</i>	8	1	8	1,5	–	–
<i>Potentilla fragarioides</i>	4	0,5	5	0,6	–	–
<i>Geranium wlassovianum</i>	8	0,6	6	0,6	–	–
<i>Solidago pacifica</i>	22	1	18	1	11	< 5
<i>Melampyrum setaceum</i>	4	0,5	4	0,6	–	–
<i>Hemerocallis middendorffii</i>	4	1	4	1	22	< 5

Примечание: встр., % – встречаемость вида; пп, % – проективное покрытие наземной фитомассы вида; прочерк – отсутствие вида.

Таким образом, анализ материалов ревизий и собственных наблюдений позволил выявить существенное, с 25,9 га в 1979 г. до 110,8 га в 2022–2023 гг., увеличение площади усыхающих дубняков в урочище Благодатное, отметить полное изменение состава и структуры исходного типа фитоценоза.

За ревизионный период произошло замещение дубняка разнотравно-марьянникового устойчивым лиственныйным лесным фитоценозом с единич-

ными берёзой плосколистной и дубом в древостое. Доминирующая в подросте берёза плосколистная полностью исчезла, и с 2017 г. возобновление представлено единичными берёзой даурской, лиственницей и дубом (рис. 3). Подлесок практически отсутствует и образован лишь несколькими кустами лещины маньчжурской. Травостой разреженный, значимого покрытия не образует. Произошла смена доминантов травяно-кустарничкового яруса: марьяник щетинистый (*Melampyrum setaceum*) и другие виды лесного разнотравья сменили ложнозвездчатку жесткую (*Pseudostellaria rigida*) и представителей рода осока (*Carex*).

Библиографический список

1. Флягина И. А. Особенности флоры и растительности дубняков // Экологические исследования в Сихотэ-Алинском заповеднике (Особенности экосистем пояса дубовых лесов) : сб. науч. трудов ЦНИЛ Главохоты РСФСР. М., 1990. С.17–25.
2. Громыко М. Н., Смирнова Е. А., Аверкова Г. П. Сукцессионные процессы в экосистемах дубняков Сихотэ-Алинского заповедника, вызванные усыханием дуба // Сихотэ-Алинский биосферный район : состояние экосистем и их компонентов. Владивосток : Дальнаука, 2012. С. 11–34.
3. Добрынин А. П. Дубовые леса российского Дальнего Востока (биология, география, происхождение). Владивосток : Дальнаука, 2000. 260 с.
4. Митрофанова Н. А., Чураков Б. П., Служаева Е. Н. Болезни леса как объект лесопатологического мониторинга дубовых экосистем // Ульяновский медико-биологический журнал. 2011. № 1. С. 142–144.
5. Manion P. D. Tree disease concepts. New Jersey : Prentice-Hall, Inc., 1981. 402 p.
6. Растительный мир Сихотэ-Алинского биосферного заповедника : разнообразие, динамика, мониторинг / А. В. Галанин, А. В. Беликович, А. В. Богачева и др. Владивосток : БПИДВОРАН, 2000. 373 с.
7. Могилева А. В. Изменения структуры древостоя в разных типах дубняков Сихотэ-Алинского заповедника в результате процесса усыхания дуба монгольского // Теоретические и прикладные аспекты организации, проведения и использования мониторинговых наблюдений : материалы междунар. науч. конф., посвященной 95-летию со дня рождения члена-корреспондента НАН Беларуси Е. А. Сидоровича (г. Минск, 09–10 марта 2023 г.). Минск : ИВЦ Минфина, 2023. С. 256–260.

ГАЛОФИЛЬНАЯ ФЛОРА ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «ОНЕЖСКОЕ ПОМОРЬЕ»

*Д. С. Мосеев¹, М. А. Смирнова², А. В. Брагин³,
П. В. Футоран³, Н. В. Петрова³*

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

² *Ботанический институт имени В. Л. Комарова РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия, tsmirnova@binran.ru,*

³ *Национальный парк «Кенозерский»,
г. Архангельск, Россия, aaraboloto@yadex.ru*

В статье приводится видовой состав растений галофитов в национальном парке «Онежское Поморье». Всего отмечен 51 вид галофитов, произрастающих на Онежском берегу Белого моря, где выражены марши. На побережье Унской губы выявлено 45 видов, на Летнем берегу – 42 вида. Изучение галофитов важно для проведения биомониторинга в парке.

Ключевые слова: галофиты, Онежский полуостров, видовой состав, марши, биомониторинг.

Важную роль в формировании растительности побережий играют растения галофиты, приспособленные к произрастанию на засоленных местообитаниях. Составляя «ядро» литорально-галофитного флороценотического комплекса, они образуют фитоценозы на аккумулятивных берегах маршей и пляжей. «Марш – низкий отмелый берег, который образуется под влиянием приливов, покрыт галофитной субэзральной растительностью» [1]. Вдоль побережья Онежского полуострова на севере Архангельской области находится национальный парк «Онежское Поморье», где аккумулятивные берега с приморской растительностью занимают значительные площади ландшафтов. Поэтому одной из важных задач парка является инвентаризация приморской флоры, а в первую очередь растений галофитов, как видов, имеющих узкий экологический оптимум на засоленных местообитаниях. Онежский полуостров располагается в южной части Белого моря. Юго-западная часть полуострова, омываемая Онежским заливом и проливом Восточная Соловецкая Салма, имеет название Онежский берег. С северо-востока полуостров омывается Двинским заливом с крупным заливом Унская губа, эта часть берега носит название – Летний.

Галофильная флора и растительность исследуются на территории национального парка «Онежское Поморье» уже с 2017 г. [2–7]. Такие работы выполняются в ходе многочисленных маршрутных экологических экспедиций [6]. В настоящее время детальными маршрутными исследованиями приморской растительности охвачено более 200 км на Онежском и Летнем берегах Белого моря [6, 7].

Флористические исследования на побережье Белого моря выполняли в основном методом геоботанического профилирования. Профили прокладывали по направлению от моря к суше в определённых районах исследований и чаще были приурочены к устьям рек и ручьев, мысам. На каждом профиле проводили геоботанические описания в пределах фитоценозов однородных по видовому составу и структуре. Гербарные сборы (более 300 листов) также проведены в прилегающих к геоботаническим профилям участках ландшафтов.

Согласно эколого-физиологической классификации галофитов [8], выделяют облигатные галофиты (растения средне- и сильнозасолённых местообитаний) и факультативные галофиты (растения средне- и слабозасолённых местообитаний), которые в свою очередь объединяют в центральное «ядро» приморских флор. На маршрутах исследований нами обнаружен 51 вид галофитов, к ним относятся:

1) **облигатные галофиты:** *Agrostis straminea*, *Atriplex nudicaulis*, *A. litoralis*, *Blysmus rufus*, *Bolboschoenus maritimus*, *Carex glareosa*, *C. mackenziei*, *C. paleacea*, *C. recta*, *C. salina*, *C. subspathacea*, *Cakile maritima*, *Glaux maritima*, *Hippuris tetraphylla*, *Honckenya peploides*, *Mertensia maritima*, *Plantago maritima*, *P. schrenkii*, *P. subpolaris*, *Potentilla egedei*, *Puccinellia capillaris*, *P. coarctata*, *P. maritima*, *P. phryganodes*, *P. pulvinata*, *Ruppia maritima*, *Salicornia europaea*, *S. pojarkovae*, *Spergularia marina*, *Stellaria humifusa*, *Triglochin maritimum*, *Tripolium vulgare*, *Zostera marina*;

2) **факультативные галофиты:** *Alopecurus arundinaceus*, *Angelica litoralis*, *Cenolophium denudatum*, *Cochlearia arctica*, *Crepis nigrescens*, *Eleocharis uniglumis*, *Hippuris* × *lanceolata*, *Juncus gerardii*, *Lactuca tatarica*, *Lathyrus japonicus*, *Leymus arenarius*, × *Leymotrigia bergrotii*, *Ligusticum scoticum*, *Primula finmarchica*, *Schoenoplectus tabernaemontani*, *Sonchus humilis*, *Triglochin palustris*, *Tripleurospermum hookeri*.

Наиболее богато по количеству галофитов побережье Онежского залива (рис. 1). Здесь произрастают все анализируемые галофиты: 33 вида облигатных и 18 факультативных (рис. 2).

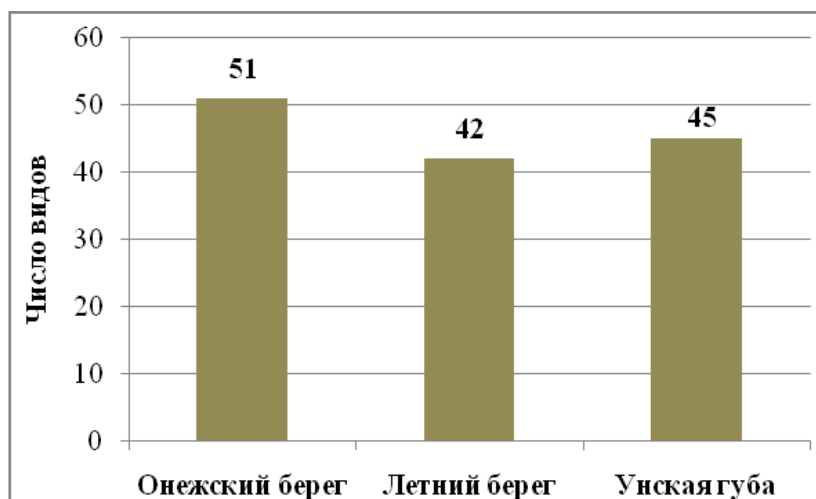


Рис. 1. Соотношение числа видов галофитов на разных берегах Онежского полуострова

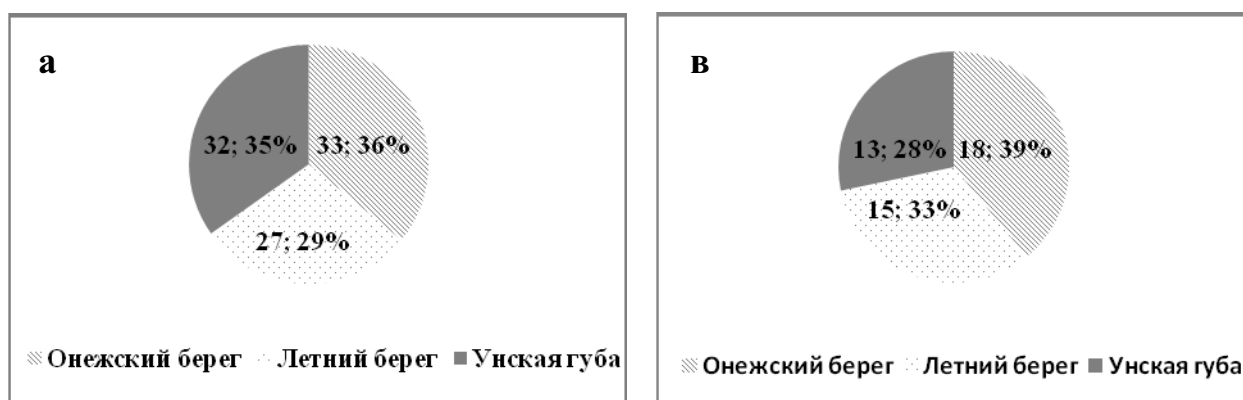


Рис. 2. Соотношение галофитов на побережье Онежского полуострова: а – облигатные галофиты; в – факультативные галофиты

Не многим уступает по числу видов галофитов Унская губа: 32 – облигатных и 13 – факультативных. Меньше галофитов на Летнем берегу: 27 облигатных и 15 факультативных (рис. 2). Такое соотношение облигатных и факультативных галофитов характерно для побережья Белого моря [9, 10].

Такое формирование флор разных берегов полуострова не случайно. Онежский берег закрыт от сильных северных ветров, повторяемость штормов здесь реже, чем на Летнем берегу. Кроме того, на побережье Онежского залива мелководья и мощные приливы средней величины более 2 м способствуют формированию маршей, что в свою очередь благоприятно для формирования галофитной растительности. На Летнем берегу волноприбойное воздействие способствует формированию пляжей, где видовой состав растений, в том числе и галофитов обычно беднее, чем на маршах и в основном представлен видами псаммофитами – *Leymus arenarius*, *Honckenya perploides*, *Lathyrus japonicus*. Это объясняет более обеднённый видовой состав галофитов Летнего берега (42 вида), по сравнению с Онежским берегом (51 вид). Видовой состав Унской губы занимает промежуточное положение (45 видов).

В целом, по видовому составу все районы побережья Онежского полуострова очень сходны, что показывают небольшие различия полученных коэффициентов Сёренсена: 0,86 между флорами Летнего берега и Унской губы; 0,90 между флорами Онежского и Летнего берегов и 0,94 – флоры Онежского берега и Унской губы. Это говорит об общем происхождении этих флор.

Флора Онежского берега полностью отражает видовую насыщенность галофитов на Онежском полуострове. В северной части Летнего берега не обнаружены: *Carex recta*, *Hippuris* × *lanceolata*, *Plantago schrenkii*, *Primula finmarchica*, *Ruppia maritima*, *Salicornia europaea*, *S. pojarkovae*, *Schoenoplectus tabernaemontani*, *Zostera marina*. Это, скорее всего, связано со значительным уменьшением площадей, занятых маршами и другими отмелями, и более узкой зоной литорали по сравнению с Онежским берегом. В Унской губе по сравнению с Онежским берегом не отмечены *Angelica littoralis*, *Cochlearia arctica*, *Crepis nigrescens*, *Hippuris* × *lanceolata*, × *Leymotrigia bergrothii*, *Puccinellia maritima*.

Другие 38 видов из общего списка конспекта почти повсеместно встречаются на берегах Белого моря в национальном парке.

Изменения в видовом составе приморской растительности могут являться «маркерами» многих глобальных процессов: потепления климата, изменений в береговой зоне, антропогенного воздействия. Поэтому изучение приморской флоры и растительности – одна из важных задач биомониторинга на территории национального парка «Онежское Поморье» [6]. Так, ранее на Онежском берегу имело место нефтяное загрязнение [11]. Но в связи с отсутствием научных исследований нет чёткой информации о последствиях воздействия нефтяного разлива на побережье в южной части Онежского залива. Появление видов пионеров *Salicornia europaea*, *S. pojarkovae* указывает на изменение берегов и их растительного покрова, увеличение площадей приливных осушек. Гелофит *Bolboschoenus maritimus* способен активно поглощать биогены. Таким образом, его сообщества могут играть роль «геоботанических барьеров» для накопления загрязняющих веществ на побережье. Для экосистемы Унской губы очень важны обширные сообщества с доминированием *Zostera marina*, поскольку являются важными продуцентами органического вещества и кислорода. Хотя этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Несмотря на обширный накопленный материал, на Онежском полуострове необходимы дальнейшие исследования видового состава галофитов, что закроет вопрос о составе галофильной флоры полуострова. Решению данного вопроса будут способствовать дальнейшие экспедиционные исследования, включающие инвентаризацию флоры побережья Белого моря.

Библиографический список

1. Леонтьев О. К. Основы геоморфологии морских берегов. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1961. 407 с.
2. Мосеев Д. С. Пространственная структура приморских фитоценозов побережья пролива Восточная Соловецкая Салма Белого моря // Труды Архангельского центра Рус-

ского географического общества : сб. науч. статей. Вып. 5. Архангельск : Соломбальская типография, 2017. С. 367–374.

3. Видовой состав и общая характеристика растительности экотопов маршей и пляжей Онежского полуострова / Д. С. Мосеев, Н. М. Махнович, А. В. Брагин и др. // Кенозерские чтения – 2021. Заповедные земли Русского Севера в контексте социально-гуманитарных и естественнонаучных исследований : сб. материалов X Всерос. науч.-практ. конф., Архангельск, 2022. С. 482–498.

4. Макарова М. А. Литоральная травянистая растительность Унской губы побережий Белого моря национального парка «Онежское Поморье» // Растительный покров Европейского Севера и Арктики : XIV Перфильевские научные чтения, посвящ. 140-летию со дня рождения И. А. Перфильева : сб. материалов межрегион. науч. конф. (г. Архангельск, 17–18 марта 2022 г.). Архангельск : КИРА, 2022. С. 125–130.

5. Кравченко А. В. Материалы к флоре национального парка «Онежское Поморье» (Архангельская область). DOI: 10.17076/bg1802 // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 1. С. 38–57.

6. Маршрутные биологические исследования береговой зоны Белого моря в национальном парке «Онежское Поморье» / Д. С. Мосеев, А. В. Брагин, М. А. Смирнова и др. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Киров, 2025. С. 22–27.

7. Комплексные экологические полевые исследования северной части побережья Онежского полуострова от урочища Межа до д. Летняя Золотица / Д. С. Мосеев, М. А. Смирнова, А. В. Брагин и др. // Труды Архангельского центра Русского географического общества : сб. науч. статей. Вып. 13. Архангельск : КИРА, 2025. С. 132–142.

8. Tsopa E. La végétation des halophytes du nord de la Roumanie en connexion avec celle du reste du pays // S.I.G.M.A. 1939. Vol. 70. P. 1–22.

9. Бабина Н. В. Приморская флора западного побережья Белого моря // Ботанический журнал. 2003. Т. 88. № 2. С. 60–74.

10. Сергиенко Л. А., Мосеев Д. С. Таксономическая структура и эколого-географическая характеристика флороценотического комплекса побережий Российской Арктики // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2015. № 6 С. 28–33.

11. 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.

РЕДКИЕ И ОХРАНЯЕМЫЕ ЛИШАЙНИКИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КОЙГОРОДСКИЙ», РЕСПУБЛИКА КОМИ

Т. Н. Пыстина, Н. А. Семенова

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

В статье обобщены сведения о находках 26 редких видов лишайников, включённых в Красные книги Российской Федерации и Республики Коми, а также нуждающихся в биологическом надзоре, на территории национального парка «Койгородский».

Ключевые слова: лишайники, охраняемый вид, редкий вид, Красная книга, ООПТ, Республика Коми.

Национальный парк «Койгородский» ($S = 56,7$ тыс. га) создан в 2019 г. с целью сохранения массива малонарушенных лесов на границе средней и южной подзон Европейской тайги. Расположен на юго-западе Республики Коми и имеет общую границу с участком «Тулашор» заповедника «Нургуш» (Кировская область).

Лесистость территории резервата составляет порядка 98%. Господствуют смешанные древостои с преобладанием берёзы и осины, на долю которых приходится примерно 66% лесопокрытой площади. Из хвойных лесов преобладают ельники (32%). Леса в основном перестойные, сформировались после обширного верхового пожара, возникшего в начале 1860-х годов. Имеются большие массивы поваленных ветром насаждений (5,5% всей территории парка), значительные площади (17%) подвержены образованию окон вследствие локальных вывалов. Площадь, занимаемая болотами и лугами, невелика [1].

Изучение видового разнообразия лишайников национального парка «Койгородский» проводили в 2021, 2024 и 2025 годах маршрутным методом в северной части парка в окрестностях туристических стоянок (ТС) «Матвей шор», «Федоровка» и в центральной части – в окрестностях ТС «Грань». Местонахождения редких видов фиксировали с помощью GPS-навигатора в системе WGN 84.

В приведённом ниже списке для каждого вида охарактеризована приуроченность к тем или иным типам субстрата и биотопам. Встречаемость указана согласно следующей шкале: единично – вид известен по 1–2 местонахождениям; редко – 3–10 находок; рассеянно – 11–20, часто – 21–30; очень часто – более чем 30 находок. Для единично встреченных видов приведены географические координаты мест находок. В конце очерка размещены данные

о категории статуса редкости вида в региональной и федеральной Красных книгах [2, 3].

Названия таксонов даны по сводке М. Westberg с соавторами [4], для отсутствующих в списке видов – согласно базе данных Index Fungorum (<https://indexfungorum.org>).

Anaptychia ciliaris (L.) Körb. – анаптихия реснитчатая. ТС «Федоровка». Старовозрастный осинник с елью вейниково-кустарничково-зеленомошный, на коре *Populus tremula* L. Единично. 59°57'8,1"N, 50°11'43,8"E. Красная книга Республики Коми (КК РК) (категория статуса редкости 3).

Cetrelia olivetorum (Nyl.) W.L. Culb. & C.F. Culb. – цетрелия оливковая. ТС «Матвей шор», ТС «Грань». Приручейные еловые и пихтово-еловые, старовозрастные елово-осиновые и осиновые леса, на коре *Sorbus aucuparia* L., *Populus tremula*, изредка на нижних ветвях *Abies sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb. Рассеянно. КК РК (1).

Chaenotheca gracillima (Vain.) Tibell – хенотека тончайшая. ТС «Матвей шор». Приручейные еловые папоротниково-хвощевые и пихтово-еловые хвоцево-папоротниково-зеленомошные леса, на древесине сухостоя и пней *Abies sibirica* и *Picea obovata*. Единично. 59°56'20,5"N, 50°17'2,8"E; 59°56'14,5"N, 50°17'3,1"E. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Chaenotheca hispidula (Ach.) Zahlbr. – хенотека щетинистая. ТС «Грань». Облесенная окрайка ключевого болота, приручейный ельник с липой и древовидными ивами крупнотравный в ложбине стока, на коре *Betula pubescens* Ehrh. и *Tilia cordata* Mill. Единично. 59°47'30,4"N, 50°16'03,2"E; 59°47'15,3"N, 50°15'49,9"E. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Chaenotheca laevigata Nád. – хенотека сглаженная. ТС «Матвей шор». Приручейный пихтово-еловый лес хвоцево-папоротниково-зеленомошный, старовозрастный осинник с березой и елью кислично-чернично-зеленомошный, на коре и древесине живых и сухостойных деревьев *Picea obovata*. 59°56'14,5"N, 50°17'3,1"E; 59°56'20,2"N, 50°16'44,4"E. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Cheiromycina flabelliformis B. Sutton – хеиромицина веерообразная. ТС «Матвей шор», ТС «Грань». Приручейные еловые и пихтово-еловые леса, осинники, липняк в ложбине стока, на коре в нижней части стволов *Abies sibirica*, *Sorbus aucuparia* и *Tilia cordata*. Редко. КК РК (3).

Cliostomum leprosum (Räsänen) Holien & Tønsberg – клиостомум лепрозный. ТС «Матвей шор». Приручейные еловые папоротниково-хвощевые и пихтово-еловые хвоцево-папоротниково-зеленомошные леса, на коре *Picea obovata*. Единично. 59°56'20,5"N, 50°17'2,8"E; 59°56'13,6"N, 50°17'7,6"E. КК РК (3).

Coenogonium luteum (Dicks.) Kalb & Lücking – коеногониум желтый. ТС «Матвей шор». Приручейный пихтово-еловый лес хвоцево-папоротниково-зеленомошный, на гниющей коре в нижней части ствола *Sorbus aucuparia*. Единично. 59°56'14,1"N, 50°16'56,5"E. КК РК (1).

Dendriscosticta gelida Ant. Simon, Goward & T. Sprib. (син. *Dendriscosticta wrightii* (Tuck.) B. Moncada & Lücking) – дендрискостикта холодная. ТС «Матвей шор», ТС «Грань». Приручейные еловые леса, старовозрастные осинники, на коре *Sorbus aucuparia*, единично на коре *Populus tremula*. Редко. Красная книга Российской Федерации (КК РФ) (4), КК РК (1).

Dolichousnea longissima (Ach.) Articus (син. *Usnea longissima* Ach.) – долихоуснея длиннейшая. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор». Приручейные еловые и пихтово-еловые, старовозрастные смешанные леса, на ветвях *Picea obovata*. Редко. КК РК (1).

Evernia divaricata (L.) Ach. – эверния растопыренная. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор», ТС «Грань». Старовозрастные осинники, осиново-еловые и смешанные леса, на ветвях *Abies sibirica*, *Picea obovata*. Редко. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Heterodermia speciosa (Wulfen) Trevis. – гетеродермия красивая. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор», ТС «Грань». Приручейные еловые леса, старовозрастные осинники и смешанные леса, на коре старых деревьев *Populus tremula*, *Sorbus aucuparia*, валеже и сухостое *Populus tremula*. Рассеянно. КК РК (1).

Hypogymnia bitteri (Lynge) Ahti – гипогимния Биттера. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор». Приручейные еловые и пихтово-еловые леса, ельники на водоразделах, перестойные осинники, чаще на коре стволов *Betula pubescens*, реже на других лиственных и хвойных деревьях. Редко. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Hypogymnia vittata (Ach.) Parrique. – гипогимния ленточная. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор», ТС «Грань». Приручейные еловые и пихтово-еловые леса, старовозрастные осиново-еловые и смешанные леса, на коре лиственных и хвойных деревьев, чаще на *Betula pubescens*. Часто. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Leptogium cyanescens (Rabh.) Körb. – лептогиум синеватый. ТС «Федоровка», ТС «Грань». Старовозрастные осиново-еловые и елово-осиновые леса, на коре *Populus tremula* и *Sorbus aucuparia*. Редко. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Lobaria pulmonaria (L.) Hoffm. – лобария легочная. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор», ТС «Грань». Различные типы лесов, на коре лиственных и хвойных деревьев. Очень часто. КК РФ (2), КК РК (3).

Lobaria scrobiculata (Scop.) DC. – лобария ямчатая. ТС «Грань». Старовозрастный осиново-еловый лес разнотравно-зеленомошный, на ветвях *Picea obovata*. Единично. 59°47'19"N, 50°14'22,4"E. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Multiclavula mucida (Pers.) R.H. Petersen – мультиклавула слизистая. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор», ТС «Грань». Старовозрастные осиново-еловые и смешанные леса, на гниющей древесине и коре крупномерного валежа *Populus tremula*. Рассеянно. КК РК (4).

Nephromopsis laureri (Kremp.) Kurok. (син. *Tuckneraria laureri* (Kremp.) Randlane & A. Thell) – нефромопсис Лаурера. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор», ТС «Грань». Приручейные пихтово-еловые и еловые леса, старовозрастные осиновые и смешанные леса, чаще на коре стволов *Betula pubescens* и ветвей *Picea obovata*. Часто. КК РФ (3), КК РК (3).

Physconia detersa (Nyl.) Poelt – фискония стерая. ТС «Матвей шор». Старовозрастный березово-еловый лес кислично-папоротниково-зеленомошный, на коре *Alnus incana* (L.) Moench и *Sorbus aucuparia*. Единично. 59°55'47,5"N, 50°16'57,99"E. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Ramalina farinacea (L.) Ach. – рамалина мучнистая. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор». Старовозрастные осиновые кислично-чернично-зеленомошные и смешанные кустарничково-зеленомошные леса, на коре *Populus tremula*. Единично. 59°56'20,2"N, 50°16'44,4"E; 59°56'59,4"N, 50°12'53,0"E. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Ramalina obtusata (Arnold) Bitter – рамалина притупленная. ТС «Федоровка». Смешанный пойменный лес разнотравно-кустарничково-зеленомошный, на коре *Picea obovata*. Единично. 59°56'47,3"N, 50°11'57,7"E. КК РК (2).

Ramalina thrausta (Ach.) Nyl. – рамалина волосовидная. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор», ТС «Грань». Приручейные еловые и пихтово-еловые леса, старовозрастные смешанные и осиновые леса, древо-стои по окрайкам болот, на стволах и ветвях лиственных и хвойных деревьев, чаще – на *Picea obovata*. Часто. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Rostania occultata (Bagl.) Otálora et al. – ростания скрытая. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор». Приручейные пихтово-еловые, старовозрастные осиновые и смешанные леса, на гниющей коре в нижней части стволов *Sorbus aucuparia* и *Salix caprea* L. Редко. КК РК (Приложение 1, бионадзор).

Sclerophora pallida (Pers.) Y.J. Yao & Spooner (син. *Sclerophora conio-phaea* (Norman) J. Mattsson et Middelb.) – склерофора бледная. ТС «Матвей шор». Приручейный ельник папоротниково-зеленомошный, на коре сухостоя *Abies sibirica*. Единично. 59°56'32,7"N, 50°17'17,7"E. КК РК (3).

Varicellaria hemisphaerica (Flörke) I. Schmitt & Lumbsch (син. *Pertusaria hemisphaerica* (Flörke) Erichsen) – варицеллярия полушаровидная. ТС «Федоровка», ТС «Матвей шор», ТС «Грань». Старовозрастные осиновые и еловые леса, на коре *Populus tremula*. Редко. КК РК (3).

Таким образом, при инвентаризации лишенобиоты в границах национального парка «Койгородский» выявлены новые местообитания 14 видов лишайников, занесённых в Красную книгу Республики Коми [2]. Два вида (*Lobaria pulmonaria*, *Nephromopsis laureri*) охраняются на федеральном уровне [3]. Еще 12 видов нуждаются в биологическом надзоре за их природными популяциями и занесены в Приложение 1 к Красной книге Республики Коми [2].

Ключевыми биотопами для большинства редких видов являются коренные еловые и пихтово-еловые леса: в них установлены местообитания 13 из 14 охраняемых видов, зарегистрированных в резервате. Только в этих сообществах встречаются *Cliostomum leprosum*, *Coenogonium luteum*, *Sclerophora pallida*. Особую ценность представляют находки *Cetrelia olivetorum*, *Coenogonium luteum*, *Dendrocosticta gelida*, *Heterodermia speciosa*. Эти виды являются эпифитами лиственных деревьев и на европейском Севере считаются неморальными реликтами климатического оптимума голоцена, сохранившимися в коренных еловых лесах южнотаежного облика. Основными форофитами для них служат крупные деревья *Sorbus aucuparia* и *Salix caprea* в нижнем пологе древостоев. В старовозрастных древостоях с доминированием осины, преобладающих на территории национального парка, выявлено десять охраняемых в республике лишайников, в смешанных лиственно-хвойных лесах – шесть.

Несмотря на значительное число редких видов, встречаемость их не высокая, обилие низкое. Исключение составляет только *Lobaria pulmonaria*, массово заселяющая стволы *Populus tremula*, *Salix caprea*, *Sorbus aucuparia* и нижние ветви *Picea obovata*.

Авторы выражают искреннюю благодарность администрации и сотрудникам национального парка «Койгородский» за помощь в проведении полевых работ.

Исследования были выполнены в рамках государственного задания Коми НЦ УрО РАН по теме № 125021902460-2.

Библиографический список

1. Материалы комплексного экологического обследования участков территории, обосновывающие придание этой территории правового статуса особо охраняемой природной территории федерального значения – национального парка «Койгородский» в Республике Коми. Т. 1. Эколого-экономическое обоснование создания национального парка «Койгородский». М. : ВНИИ ЭКОЛОГИЯ, 2019. 190 с.
2. Красная книга Республики Коми. Издание 3. Сыктывкар : ООО «Коми республиканская типография», 2019. 768 с.
3. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы (второе официальное издание). М. : ВНИИ «Экология», 2024. 944 с.
4. Santesson's checklist of Fennoscandian lichen-forming and lichenicolous fungi / M. Westberg, R. Moberg, M. Myrdal, et al. Uppsala : Uppsala University, 2021. 933 p.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНУЛЯТА ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД НА БИОПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ

*А. А. Утомбаева, А. А. Вершинин, А. М. Петров,
Л. К. Каримуллин, И. В. Князев, Э. Р. Зайнулгабидинов*
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
г. Казань, Россия, semionova.alin@yandex.ru

В вегетационном эксперименте оценено влияние различных технологий рекультивации (технической, микробиологической и фито-микробиологической) с применением гранулированного осадка сточных вод (ОСВ) на биопродуктивность смеси посевной ржи (*Secale cereale*) и вики (*Vicia sativa*) при разных уровнях загрязнения серой лесной почвы нефтью.

Ключевые слова: биоремедиация, нефтезагрязненная почва, осадки сточных вод, фитотоксичность.

Нефть и нефтепродукты являются одними из загрязнителей окружающей среды. Нефтяное загрязнение нарушает функционирование почв, что воздействует на стабильность экосистемы в целом. Поэтому очистка и реабилитация нефтезагрязненных почв чрезвычайно важны. Известно множество технологий для ремедиации нефтезагрязненных почв. В настоящее время большинство биологических методов ремедиации признаны экономически эффективными и являются альтернативой традиционным физико-химическим методам ремедиации почв. Суть биоремедиации заключается в использовании микроорганизмов и/или растения для обработки загрязненных почв.

В городе Казани на очистных сооружениях МУП «Водоканал» внедрена технология термомеханической обработки ОСВ, в результате которой образуются достаточно устойчивые к механическому воздействию и действию влаги гранулы размером 3–9 мм. В ранее проведенных нами исследованиях была продемонстрирована принципиальная возможность использования, полученного из обезвоженного и термически обработанного осадка сточных вод продукта (далее гранулят) при рекультивации нефтезагрязненных почв. Было показано, что он содержит широкий спектр характерных для почв микроорганизмов, необходимые для развития растений органические вещества и биогенные элементы [1–3]. Отличительной особенностью ОСВ является высокое содержание органического вещества, которое может изменяться в пределах от 40 до 80% [4] и соответствие требованиям биологической безопасности, а именно отсутствие яиц гельминтов, патогенных энтеробактерий [5–6].

Для оценки качества почв после биоремедиации широко используются методы биотестирования. Многие исследования применяют биотестирование на фитотоксичность с использованием высших растений. Отклик растений

в вегетационном опыте может дать важные результаты для оценки и нормирования содержания нефтепродуктов в почвах земель сельскохозяйственного назначения с целью их дальнейшего использования после рекультивационных работ по основному виду хозяйственного использования. Рекультивационные работы подразумевают снижение уровня содержания нефтепродуктов, изменение их состава и свойств, в том числе испарение летучих фракций нефти и нефтепродуктов в первые месяцы после их попадания в почву [7].

Целью настоящей работы являлась оценка реакции высших растений (ржи и вики) в вегетационном опыте при проведении разных этапов рекультивационных мероприятий.

Для этого исследовали влияние разных доз нефти и добавление минерального удобрения на основе осадков сточных вод на биопродуктивность высших растений в вегетационном опыте при проведении разных этапов рекультивации.

Объектами исследования являлись:

- серая лесная среднесуглинистая почва со следующими агрохимическими показателями: гумус – 4,4%; $C_{орг.}$ – 2,8%; $N_{вал.}$ – 0,21%; $P_{общ.}$ – 0,07%; $K_{подв.}$ – 8,1 мг/100г; $P_{подв.}$ – 10,3 мг/100г; $pH_{вод.}$ – 6,25;
- обезвоженный и термически обработанный, устойчивый к влаге и механическому воздействию гранулированный осадок сточных вод с биологических очистных сооружений города Казани (табл. 1);
- сернистая, парафиновая, смолистого типа нефть Ямашинского месторождения (Республика Татарстан).

Таблица 1

Основные характеристики гранулята ОСВ

Влажность, %	Органическое вещество, %	Зольность, %	$N_{общ.}$, %	$P_{общ.}$, %	$K_{общ.}$, %	$P_{подв.}$, мг/кг	$pH_{сол}$	Класс опасности
6,3	60,4	39,6	3,0	1,5	0,18	2000	6,2	IV

Исследования включали опыты по биологической (микробиологическая – опыт М; фито-микробиологическая – опыт ФМ) и технической рекультивации (Т).

Все загрязненные и незагрязненные нефтью образцы были поделены на три части, в две из которых был добавлен гранулированный осадок сточных вод (ГОСВ) из расчета 20 т/га (4%).

Проводимые исследования по рекультивации нефтезагрязненных почв включали три параллельных двухэтапных эксперимента, которые с учетом условий их проведения были обозначены как ТР – техническая рекультивация, МР – микробиологическая рекультивация, ФМР – фито-микробиологическая рекультивация. В опыте ТР контролем (К) служила исходная серая лесная почва, в опытах МР и ФМР – исходная серая лесная почва, содержащая 20 т/га ГОСВ.

На первом этапе исследований эксперименты ТР, МР и ФМР были обозначены, как 1ТР, 1МР и 1ФМР, на втором, как 2ТР, 2МР и 2ФМР, соответственно (табл. 2). На втором этапе во все варианты экспериментов была посе-

яна смесь вики посевной и ржи посевной согласно методике [8]. В каждую емкость высевали по 12 семян (6 семян ржи посевной и 6 семян вики посевной). Через две недели культивирования согласно методике, в каждой ёмкости оставляли по шесть растений (3+3), которые культивировали еще в течение четырех недель. На 42 сутки растения удаляли и определяли общую биомассу (корень + ростки).

Таблица 2

Варианты опытов		
Исходные образцы		
ТР техническая рекультивация	МР микробиологическая рекультивация	ФМР фито-микробиологическая рекультивация
Незагрязненные и загряз- ненные нефтью почвенные образцы	Незагрязненные и загрязненные нефтью почвенные об- разцы, содержащие ГОСВ из расчета 20 т/га	
1 этап рекультивации		
1ТР	1МР	1ФМР
Пробы ТР после 42-дневной инкубации при увлажнении и перемешивании	Пробы МР после 42-дневной инкубации при увлажнении и перемешивании	Пробы ФМР после 42-дневного выра- щивания растений
2 этап фиторекультивации		
2ТР	2МР	2ФМР
Пробы 1ТР после 42-дневного выращи- вания растений	Пробы 1МР после 42- дневного выращивания рас- тений	Пробы 1ФМР после 42-дневного выра- щивания растений

Загрязнение почвы происходило путем внесения разных доз нефти в чистую почву из расчета 25, 45, 60 г/кг. В качестве контроля служил исходный вариант почвы без внесения нефти. Содержание нефтепродуктов определяли в конце эксперимента согласно [9] (табл. 3).

Таблица 3

Содержание НП в опытах на этапах эксперимента, г/кг						
Варианты	Опыты					
	1МР	1ФМР	1ТР	2МР	2ФМР	2ТР
К	0,03±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01
В1	5,2±1,3	7,2±1,8	5,5±1,4	3,1±0,8	3,3±0,8	6,7±1,7
В2	8,8±2,2	9,8±2,4	7,8±1,9	5,0±1,2	4,0±1,0	9,6±2,4
В3	10,3±2,6	12,9±3,2	11,0±2,7	6,2±1,5	5,6±1,4	11,9±3,0

В ходе эксперимента оценивалось влияние трех технологий рекультивации (2МР, 2ФМР, 2ТР) и содержания нефтепродуктов (НП) на биомассу двух тест-культур – ржи и вики.

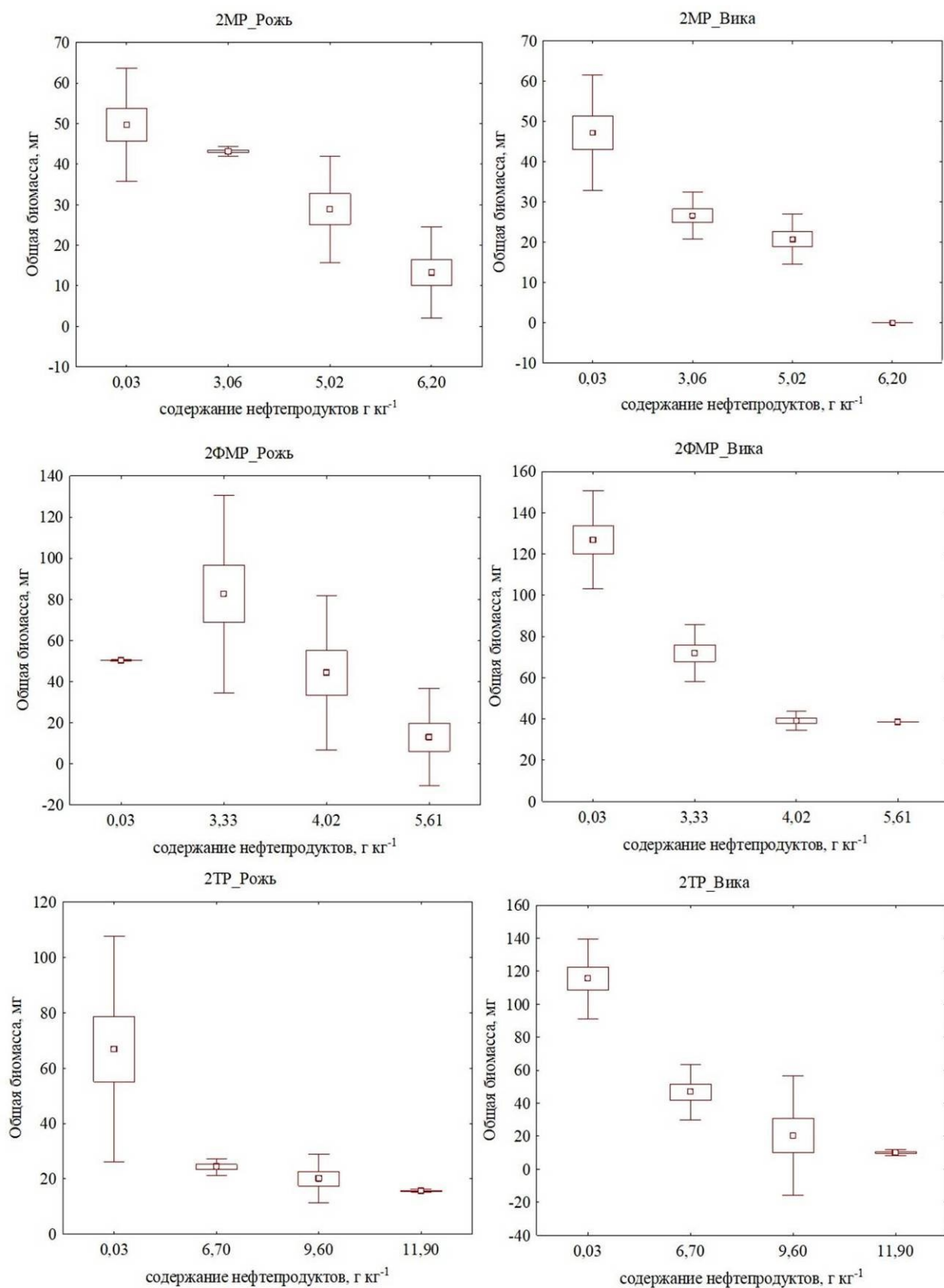


Рис. Биопродуктивность (общая биомасса) высших растений при разных уровнях загрязнения и технологий рекультивации. $M \pm SD$
 2MP – микробиологическая рекультивация; 2ФМР – фито-микробиологическая рекультивация; 2ТР – техническая рекультивация

На незагрязненной контрольной почве максимальная средняя биомасса ржи зафиксирована в варианте 2ТР – 66,8 мг, что значимо выше ($p < 0,05$), чем в 2МР (49,7 мг) и 2ФМР (50,4 мг) с добавлением ГОСВ (рис.1). При минимальной концентрации НП (В1) в варианте 2ФМР наблюдался аномально высокий разброс значений (от 55 до 99 мг), средняя биомасса составила 82,6 мг, тогда как в 2МР и 2ТР она значимо ($p < 0,05$) снизилась до 43,2 и 24,3 мг соответственно. При среднем уровне загрязнения (В2) различия между технологиями сглаживались: 28,9 мг (2МР), 44,1 мг (2ФМР), 20,1 мг (2ТР), при этом высокая вариабельность в 2ФМР сохранялась. Максимальная концентрация НП (В3) привела к снижению биомассы ржи во всех вариантах до близких значений (12–16 мг), однако в 2МР и 2ФМР отдельные повторности снижались до 5–9 мг.

Фито-микробиологическая (2ФМР) и техническая (2ТР) рекультивация на чистой почве обеспечили высокую продуктивность вики – 126,8 и 115,5 мг соответственно, что значимо выше ($p < 0,001$), чем при микробиологической рекультивации (2МР) – 47,2 мг. При минимальной концентрации НП (В1) в варианте 2МР биомасса снизилась более чем вдвое (26,6 мг), в 2ТР – до 46,8 мг, тогда как в 2ФМР сохранилась на уровне 71,9 мг. При среднем уровне загрязнения НП (В2) в 2МР биомасса снизилась до 20,8 мг, в 2ТР – до 20,4 мг, в 2ФМР – до 39,1 мг.

При максимальной концентрации НП (В3) в варианте 2МР отмечено сильное токсическое действие – растения не взошли; в 2ТР средняя биомасса составила 10,1 мг, а в 2ФМР – 38,5 мг с очень низкой вариабельностью.

Увеличение содержания нефтепродуктов в почве закономерно приводит к снижению биомассы как ржи, так и вики во всех исследованных технологиях рекультивации. Степень угнетения зависит от вида растения и применяемой технологии.

На чистых и слабозагрязненных почвах максимальная продуктивность ржи достигается при использовании технологии 2ТР, а для вики – при использовании 2ФМР или 2ТР. Технология 2МР на фоне отсутствия загрязнения уступает обоим альтернативам по биомассе вики.

При среднем уровне загрязнения (4–6 г/кг НП) технология 2ФМР демонстрирует наилучшие показатели для вики, обеспечивая стабильную биомассу около 38 мг и отсутствие гибели растений. Для ржи в этом диапазоне все технологии дают сходные результаты, однако 2ФМР характеризуется повышенной вариабельностью данных, что требует дополнительного изучения.

Высокие концентрации НП (более 6 г/кг для вики и более 9 г/кг для ржи) вызывают критическое падение продуктивности. В этих условиях технология 2МР неприемлема для вики из-за полной гибели посевов; 2ТР и 2ФМР позволяют сохранить часть растений, причем 2ФМР обеспечивает более предсказуемый результат.

Полученные результаты могут служить основой для разработки практических рекомендаций по рекультивации нефтезагрязненных почв с применением органо-минеральных удобрений и различных технологических приемов.

Библиографический список

1. Дыхательная активность и фитопродуктивность загрязненной нефтью серой лесной почвы в зависимости от подхода к рекультивации / А. А. Утомбаева, А. А. Вершинин, Э. Р. Зайнулгабидинов, А. М. Петров. DOI: 10.46845/1997-3071-2024-73-36-50 // Известия Калининградского государственного технического университета. 2024. № 73. С. 36–50.
2. 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 Нижневартовского государственного университета. 2023. № 3 (63). С. 113–126.
3. 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.
4. Heavy metals in sludge sediment after biochemical purification of municipal wastewaters / G. N. Nikovskaya, K. V. Kalinichenko, A. V. Legenchuk, Z. R. Ulberg. DOI: 10.3103/S1063455X11050109 // J. Water Chem. Tehnol. 2011. Vol. 33. P. 333–338.
5. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. М. : Стандартинформ, 2008. 7 с.
6. СанПин 3.2.3215-14. Профилактика паразитарных болезней на территории Российской Федерации: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2015. 46 с.
7. Ковалева Е. И., Трофимов С. Я., Шоба С. А. Реакция высших растений на уровень нефтезагрязнения почв в вегетационном опыте // Вестник Московского у-та. Серия 17: Почвоведение. 2022. № 3. С. 74–84.
8. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М. : Стандартинформ, 2010. 15 с.
9. ПНД Ф 16.1.2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. М., 1998. 13 с.

ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ ОФИЦИАЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С. В. Шабалкина, А. Д. Арбузова
Кировский государственный медицинский университет,
г. Киров, Россия, uwlpuuf@gmail.com

В работе приведён обзор лекарственных растений официальной медицины, встречающихся (в т. ч. культивируемых) на территории Кировской области, составленный с использованием информационно-аналитического метода исследования. В результате анализа региональных определителей и флоры, Государственной фармакопеи Российской Федерации XIII, XIV и XV изданий выявлено 94 вида растений, требования к качеству лекарственного сырья из которых изложены в соответствующих статьях.

Ключевые слова: анализ, вид, Государственная фармакопея Российской Федерации, лекарственные растения, лекарственное сырьё, род, семейство.

Современная флора Кировской области с учётом культивируемых и заносных растений представлена 1470 видами [1], 227 из них обладают целебными свойствами, 138 используются в научной медицине [2], 93 – в народной медицине [3]. Особое значение имеют официальные лекарственные растения, химический состав и лечебное действие которых хорошо изучены, а сырьё их разрешено для производства лекарственных средств в Российской Федерации. Важнейшими среди официальных являются фармакопейные растения, которые разрешены к медицинскому применению Государственной фармакопеей, требования к качеству лекарственного сырья из них изложены в соответствующих статьях [4]. К настоящему времени действуют XIII, XIV и XV издания [5].

Целью настоящей работы стало выявление разнообразия лекарственных растений официальной медицины в Кировской области на основе анализа статей Государственной фармакопеи РФ (ГФ РФ) и оценка их потенциала для применения. В работе использовали информационно-аналитический метод исследования. Материалом для анализа стали региональные определители [6, 7], справочник [8] и флора [1], Фармакопейные статьи XIII, XIV и XV изданий [5], составленный конспект по статьям, номенклатура в котором приведена в соответствии [9].

Согласно проведённому исследованию, 94 вида лекарственных растений, встречающихся (в т. ч. культивируемых) на территории Кировской области, включены в последние три издания ГФ РФ в совокупности (табл.). Анализ таксономической структуры группы лекарственных растений официальной медицины показал, что 88 видов (93,6%) относятся к отделу Magnoliophyta, лишь три вида из них представляют класс Liliopsida (*Veratrum lobelianum* Bernh., *Convallaria majalis* L., *Zea mays* L.). Кроме того, присутствуют два вида споровых растений (*Equisetum arvense* L. и *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott), четыре вида из отдела Pinophyta: *Picea abies* (L.) Karst, *Pinus sylvestris* L., *Pinus sibirica* Du Tour, *Juniperus communis* L.

Таблица

Конспект официальных лекарственных растений Кировской области

№ п/п	Название семейства	Название вида	Издание ГФ РФ	ЛРС
1	2	3	4	5
1	Equisetaceae	<i>Equisetum arvense</i> L.	XIII, XIV, XV	herbae
2	Dryopteridaceae	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	XIV	rhizomata
3	Pinaceae	<i>Picea abies</i> (L.) Karst	XIV	strobili
4		<i>Pinus sylvestris</i> L.	XIII, XIV	gemmae
5		<i>Pinus sibirica</i> Du Tour	XIV	semina
6	Cupressaceae	<i>Juniperus communis</i> L.	XIII, XIV	fructus
7	Papaveraceae	<i>Chelidonium majus</i> L.	XIV, XV	herbae

1	2	3	4	5
8	Cannabaceae	<i>Humulus lupulus</i> L.	XIII, XIV	fructus
9	Urticaceae	<i>Urtica dioica</i> L.	XIII, XIV	folia
10	Fagaceae	<i>Quercus robur</i> L.	XIV	cortex
11	Betulaceae	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	XIV	fructus
12		<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	XIV	fructus
13		<i>Betula pendula</i> Roth	XIII, XIV, XV	folia, gemmae
14		<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	XIII, XIV, XV	folia, gemmae
15	Polygonaceae	<i>Bistorta officinalis</i> Delarbre	XIV	rhizomata
16		<i>Rumex confertus</i> Willd.	XIII, XIV	radices
17		<i>Polygonum aviculare</i> L.	XIV	herbae
18		<i>Persicaria maculosa</i> Gray.	XIV	herbae
19		<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre	XIV	herbae
20	Paeoniaceae	<i>Paeonia anomala</i> L.	XV	rhizomata et radices
21	Hypericaceae	<i>Hypericum maculatum</i> Crantz	XIII, XIV	herbae
22		<i>Hypericum perforatum</i> L.	XIII, XIV	herbae
23	Violaceae	<i>Viola arvensis</i> Murray	XIII, XIV	herbae
24		<i>Viola tricolor</i> L.	XIII, XIV	herbae
25	Cucurbitaceae	<i>Cucurbita pepo</i> L.	XIV	semina
26	Brassicaceae	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	XIV, XV	herbae
27		<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern.	XIV	semina
28	Salicaceae	<i>Populus nigra</i> L.	XIII, XIV	gemmae
29		<i>Populus balsamifera</i> L.	XIII, XIV	gemmae
30		<i>Populus laurifolia</i> Ledeb.	XIII, XIV	gemmae
31		<i>Populus suaveolens</i> Fisch.	XIII, XIV	gemmae
32	Ericaceae	<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng.	XIV, XV	folia
33		<i>Ledum palustre</i> L.	XIV	cormus
34		<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	XIII, XIV, XV	fructus, cormus
35		<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	XIV	folia
36	Primulaceae	<i>Primula veris</i> L.	XV	flores, rhizomata cum radicibus
37	Tiliaceae	<i>Tilia cordata</i> Mill.	XIII, XIV, XV	flores
38	Tiliaceae	<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	XIII, XIV, XV	flores
39	Saxifragaceae	<i>Bergenia crassifolia</i> (L.) Fritsch	XIII, XIV	rhizomata
40	Rosaceae	<i>Comarum palustre</i> L.	XV	rhizomata cum radicibus
41				
42		<i>Crataegus sanguinea</i> Pall.	XIV, XV	flores, fructus
43		<i>Fragaria vesca</i> L.	XIII, XIV	folia
44		<i>Prunus padus</i> L.	XIII, XIV	fructus
45		<i>Potentilla erecta</i> (L.) Raeusch.	XIII, XIV	rhizomata
46		<i>Rosa acicularis</i> Lindl.	XV	fructus
47		<i>Rosa canina</i> L.	XV	fructus

1	2	3	4	5
48	Rosaceae	<i>Rosa majalis</i> Herrm.	XV	fructus
49		<i>Rosa rugosa</i> Thunb.	XV	fructus
50		<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	XIV	rhizomata et radices
51		<i>Sorbus aucuparia</i> L.	XIV, XV	fructus
52	Fabaceae	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Lam	XIII, XIV	herbae
53		<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	XV	fructus
54		<i>Trifolium pratense</i> L.	XV	herbae
55		<i>Trifolium sativum</i> (Schreb.) Crome	XV	herbae
56	Linaceae	<i>Linum usitatissimum</i> L.	XIII, XIV	semina
57	Apiaceae	<i>Anethum graveolens</i> L.	XIII, XIV	fructus
58		<i>Carum carvi</i> L.	XIV	fructus
59		<i>Coriandrum sativum</i> L.	XIII, XIV	fructus
60		<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	XV	fructus
61	Rhamnaceae	<i>Frangula alnus</i> Mill.	XIII, XIV	cortex
62		<i>Rhamnus cathartica</i> L.	XIII, XIV	fructus
63	Elaeagnaceae	<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	XV	fructus
64	Viburnaceae	<i>Viburnum opulus</i> L.	XIII, XIV	fructus, cortex
65	Valerianaceae	<i>Valeriana officinalis</i> L.	XIII, XIV, XV	rhizomata cum radicibus
66	Menyanthaceae	<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	XIV	folia
67	Polemoniaceae	<i>Polemonium caeruleum</i> L.	XIII, XIV	rhizomata cum radicibus
68	Solanaceae	<i>Datura stramonium</i> L.	XIV	folia
69		<i>Hyoscyamus niger</i> L.	XIV	folia
70		<i>Capsicum annuum</i> L.	XV	fructus
71	Plantaginaceae	<i>Plantago major</i> L.	XIII, XIV	folia
72		<i>Plantago lanceolata</i> L.	XV	folia
73	Lamiaceae	<i>Leonurus quinquelobatus</i> Gilib.	XIII, XIV, XV	herbae
74		<i>Mentha x piperita</i> L.	XIII, XIV	folia
75		<i>Origanum vulgare</i> L.	XIII, XIV, XV	herbae
76		<i>Melissa officinalis</i> L.	XV	herbae
77	Asteraceae	<i>Achillea millefolium</i> L.	XIV, XV	herbae
78		<i>Arctium lappa</i> L.	XIII, XIV	radices
79		<i>Arctium minus</i> (Mill.) Bernh.	XIII, XIV	radices
80		<i>Arctium tomentosum</i> Mill.	XIII, XIV	radices
81		<i>Artemisia absinthium</i> L.	XIII, XIV	herbae
82	Asteraceae	<i>Bidens tripartita</i> L.	XIII, XIV	herbae
83		<i>Calendula officinalis</i> L.	XIII, XIV	flores
84		<i>Centaurea cyanus</i> L.	XIV	flores
85		<i>Echinacea purpurea</i> (L.) Moench	XIII, XIV	herbae
86		<i>Gnaphalium uliginosum</i> L.	XIV, XV	herbae
87		<i>Inula helenium</i> L.	XIV	rhizomata et radices
88		<i>Matricaria discoidea</i> DC.	XIII, XIV	flores
89		<i>Tanacetum vulgare</i> L.	XIII, XV	flores

1	2	3	4	5
90	Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i> (L.) Webb ex F. H. Wigg.	XIV	radices
91		<i>Tussilago farfara</i> L.	XIII, XIV	folia
92	Melanthiaceae	<i>Veratrum lobelianum</i> Bernh.	XIV	rhizomata cum radicibus
93	Convallariaceae	<i>Convallaria majalis</i> L.	XIII, XIV	herbae, flores, folia
94	Poaceae	<i>Zea mays</i> L.	XIV, XV	styli cum stigmatis

Примечание: ГФ РФ – Государственная фармакопея Российской Федерации; ЛРС – лекарственное растительное сырье.

Анализируемая группа растений представлена 37 семействами и 73 родами. Наибольшим видовым разнообразием характеризуются семейства Asteraceae и Rosaceae: 15 (15,9%) и 11 (11,7%) видов соответственно. Третью позицию занимает семейство Polygonaceae с пятью видами (5,3%). Шесть семейств включают по четыре вида, которые встречаются в Кировской области и на которые имеются фармакопейные статьи – это Betulaceae, Salicaceae, Ericaceae, Fabaceae, Apiaceae, Lamiaceae. Остальные семейства насчитывают по 1–3 вида (табл.).

подавляющее большинство растений анализируемой группы встречаются в естественных местообитаниях региона, однако 26 видов (27,6%) успешно культивируются на приусадебных участках (например, *Cucurbita pepo* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Trifolium sativum* (Schreb.) Crome, *Coriandrum sativum* L. и др.) и дичают, используются в озеленении населённых пунктов (например, *Populus balsamifera* L., *Populus laurifolia* Ledeb., *Tilia platyphyllos* Scop., *Crataegus sanguinea* Pall., *Rosa rugosa* Thunb. и др.).

Сопоставляя статьи последних трёх изданий ГФ РФ, выявлено, что сведения по наибольшему числу видов официальных растений, отмеченных во флоре Кировской области, имеются в XIV издании (75 видов), в XIII издании – 47 видов, в XV издании – 32 вида. При этом 9 видов (9,6%) включены во все три издания: *Equisetum arvense*, *Betula pendula* Roth, *Betula pubescens* Ehrh., *Vaccinium myrtillus* L., *Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos*, *Leonurus quinquelobatus* Gilib., *Origanum vulgare* L., *Valeriana officinalis* L. На 46 видов имеются фармакопейные статьи в двух изданиях (табл.).

Выявленные виды растений описываемой группы используются для заготовки различного лекарственного растительного сырья (ЛРС). Наибольшее количество представлено морфологической группой травы – 22 вида (21,8%), далее в порядке убывания: плоды – 21 вид (20,8%), подземные органы в совокупности (rhizomata, rhizomata et radices, rhizomata cum radicibus, radices) – 17 видов (16,8%), листья – 14 видов (13,9%), цветки – 9 видов (8,9%), почки – 7 видов (6,9%) и т. д. (табл.). Обычно для заготовки используется один определённый орган растения, однако для *Betula pendula*, *Betula pubescens*, *Vaccinium myrtillus*, *Primula veris* L., *Crataegus sanguinea* Pall., *Viburnum opu-*

lus L. разработаны стандарты на две морфологические группы, у *Convallaria majalis* L. – на три (трава, листья и цветки).

Таким образом, разнообразие лекарственных растений официальной медицины на территории Кировской области достаточно высокое, и эта группа является значительным и стратегически важным ресурсом для фармацевтики и фитотерапии. Его рациональное освоение может стать также одним из факторов социально-экономического развития региона, при этом важно гармоничное сочетание рационального природопользования и сохранения разнообразия.

Библиографический список

1. Тарасова Е. М. Флора Вятского края. Ч. 1. Сосудистые растения. Киров : ОАО «Кировская областная типография», 2007. 440 с.
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. Большой энциклопедический словарь лекарственных растений / под ред. Г. П. Яковлева. СПб. : Спецлит, 2015. 752 с.
5. Государственная фармакопея Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmascopeia.regmed.ru> (дата обращения: 02.04.2026).
6. Определитель растений Кировской области / сост. Ф. А. Александров, В. П. Клирсова, Л. И. Красовский и др. Ч. 1. Киров, 1975. 256 с.
7. Определитель растений Кировской области / сост. Ф. А. Александров, Л. А. Зубарева, В. П. Клирсова и др. Ч. 2. Киров, 1975. 304 с.
8. Лекарственные растения Кировской области / сост. Г. Н. Луппова, И. Я. Новоселов. Киров, 1984. 152 с.
9. The World Flora Online (WFO) Plant List [website]. – URL: <https://wfoplantlist.org/> (accessed: 05.04.2026).

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ МИКРОВИДОВ РОДА *ALCHEMILLA* L. НА ЛУГАХ РАЗНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ (РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН)

А. Э. Япарова, М. Б. Фардеева

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
г. Казань, Россия, yaparova.adel@gmail.com, orchis@inbox.ru

Определены 14 микровидов рода *Alchemilla* L. на лугах разного природопользования в Волжско-Камском заповеднике и биостанции «Займище» Зеленодольского района Республики Татарстан. Микровиды *Alchemilla tichomirovii* Czkalov, *Alchemilla vorotnikovii* Czkalov и *Alchemilla dasycrater* Juz. ранее не описаны во флоре Республики Татарстан, они являются эндемиками Верхнего и Среднего Поволжья. По оценкам обилия и проективного покрытия микровиды рода *Alchemilla* на суходольных лугах биостанции явля-

ются доминирующими, на зарастающих лесом лугах заповедника – сопутствующими. Интегральными функциональными признаками являются: площадь листа (в программе Easy Leaf Area), общая площадь листовой поверхности, длина цветоносного побега, которые значительно отличаются на различных лугах.

Ключевые слова: манжетка, разнообразие микровидов, функциональный признак, Среднее Поволжье.

Род манжетка (*Alchemilla* L.) – моноподиально-розеточный, короткокорневищный травянистый многолетник с плагиотропным эпигеогенным корневищем, гемикриптофит. Манжетку признают как агамно-половой комплекс *Alchemilla vulgaris* L., внутри которого описано множество agamospecies или «микровидов» [1]. Оценкой разнообразия и распространения рода *Alchemilla* занимались С. В. Юзепчук в пределах бассейна Верхней Волги (Московская и Тверская области), Среднего Поволжья и Южного Урала [2]. В. Н. Тихомиров [3] в Средней России выделил 40 видов, в современных условиях их разнообразие в Поволжье уточнил А. В. Чкалов [4].

К функциональным признакам относятся особенности жизненной формы, вегетативная активность, семенная продуктивность, морфологические признаки вегетативных побегов, которые способствуют высокой жизненности, обилию видов, синтезу первичной продукции в различных сообществах [5]. Целью работы является определение разнообразия микровидов рода *Alchemilla* и оценка функциональных морфологических признаков в условиях лугов разного природопользования.

Изучение и сборы материала проводили в Зеленодольском районе Республики Татарстан (РТ): первый участок расположен на территории Биостанции Казанского федерального университета (МУБ) «Займище» (три учётные площадки), приурочен к третьей террасе реки Волги; две площадки – в Раифском участке (далее – Раифа) Волжско-Камского заповедника (ВКГПБЗ), находится в широком понижении среднечетвертичной четвертой надпойменной террасы реки Волга. Видовые списки фитоценозов сравнивали на основе коэффициента общности Серенсена-Чекановского (КО). Названия растений даны по сводке С. К. Черепанова [6], названия микровидов *Alchemilla* уточнены в ходе консультаций с А. В. Чкаловым и при использовании его ключей для определения микровидов рода [4, 7].

Функциональные признаки снимали в полевых условиях: площадь листа (по фотографии); длина и ширина листа; общая листовая поверхность розетки листьев; длина вегетативно-генеративного побега; длина соцветия; длина и ширина главного сегмента листа. Площадь листа определяли в приложении Easy Leaf Area. Для анализа морфометрических признаков микровидов и достоверности их различий в разных условиях природопользования лугов использовали методы статистики.

В ходе определения и дополнительных консультаций со специалистами по роду *Alchemilla* было выявлено 14 микровидов из 36 собранных образцов: *Alchemilla baltica* Sam. ex Juz., *A. acutiloba* Opiz., *A. tichomirovii* Czkalov, *A. vorotnikovii* Czkalov, *A. atrifolia* Zamelis, *A. cymatophylla* Juz., *A. micans (gracilis)* Buser, *A. dasycrater* Juz., *A. litwinowii* Juz., *A. sarmatica* Juz., *A. monticola* Opiz., *A. breviloba* H. Lindb., *A. hirsuticaulis* H. Lindb., *A. trichocrater* Juz. Из них *A. tichomirovii*, *A. vorotnikovii* и *A. dasycrater* – микровиды, ранее не описанные в «Сосудистых растениях Татарстана» [8], произрастают на лугах разного природопользования (табл. 1). Также выявлены эндемичные микровиды: *A. litwinowii* – эндемик Верхнего и Среднего Поволжья, *A. vorotnikovii*, *A. tichomirovii*, *A. dasycrater* – эндемиками Среднего Поволжья [4].

Таблица 1

Характеристика микровидов рода *Alchemilla* в разных местообитаниях

Местонахождение	Фитоценоз	Микровиды рода <i>Alchemilla</i>
1. N 55.834751°, E 48.831237° Зеленодольский р-н РТ, МУБ «Займище»	Некошенный разнотравный луг, на склоне-северо-восточной экспозиции (манжетковый луг)	<i>A. dasycrater</i> , <i>A. litwinowii</i> , <i>A. vorotnikovii</i> , <i>A. monticola</i> , <i>A. baltica</i> , <i>A. acutiloba</i> , <i>A. hirsuticaulis</i>
2. N 55.834676°, E 48.831395° Зеленодольский р-н РТ, МУБ «Займище»	Кошенный разнотравный луг на склоне северо-восточной экспозиции	<i>A. dasycrater</i> , <i>A. vorotnikovii</i> , <i>A. acutiloba</i> , <i>A. baltica</i> , <i>A. monticola</i> , <i>A. hirsuticaulis</i>
3. N 55.833409°, E 48.831341° Зеленодольский р-н РТ, МУБ «Займище»	Суходольный злаково-разнотравный луг	<i>A. sarmatica</i> , <i>A. breviloba</i> , <i>A. dasycrater</i> , <i>A. trichocrater</i> , <i>A. baltica</i> , <i>A. hirsuticaulis</i> , <i>A. monticola</i>
4. N 55°52'34.0" E 48°43'22.8", Зеленодольский р-н РТ, Волжско-Камский заповедник	Зарастающая опушка в широколиственном лесу (Раифа 1)	<i>A. tichomirovii</i> , <i>A. vorotnikovii</i> , <i>A. micans</i> , <i>A. atrifolia</i> , <i>A. acutiloba</i>
5. N 55°52'37.8" E 48°45'19.2", Зеленодольский р-н РТ, Волжско-Камский заповедник	Зарастающая поляна в широколиственном лесу (Раифа 2)	<i>A. baltica</i> , <i>A. acutiloba</i> , <i>A. cymatophylla</i> , <i>A. micans</i>

Разнообразие определённых нами микровидов рода *Alchemilla* также отмечается на территории Нижегородской области [7, 9] и Республики Марий Эл [10]. Из общего состава гербарных образцов, девять микровидов характерны для пяти лугов Зеленодольского района РТ, *A. cymatophylla* и *A. breviloba* уже отмечались в 2007 г. на территории Раифы.

Видовой состав лугов в Раифском участке заповедника сходен между собой (КО = 0,54). Суходольные злаково-разнотравные луга биостанции «Займище» также сходны: коэффициент общности варьирует от 0,68 до 0,77. Напротив, видовой состав растений суходольных лугов биостанции и опушечных лугов Раифы имеет низкое сходство (КО варьирует от 0,15 до 0,17).

На лугах биостанции манжетка часто является доминирующим родом, т.к. среднее проективное покрытие варьирует от 30 до 65%, в то время как на зарастающих лесом лугах Раифы среднее проективное покрытие манжеток составляет 8–12% (рис. 1). Это обусловлено тем, что манжетка – луговой род, а в Раифе на лесных полянах и опушках микровиды угнетены из-за недостатка света и конкуренции с вегетативно-подвижными видами: *Aegopodium podagraria* L., *Glechoma hederacea* L. и *Urtica dioica* L.

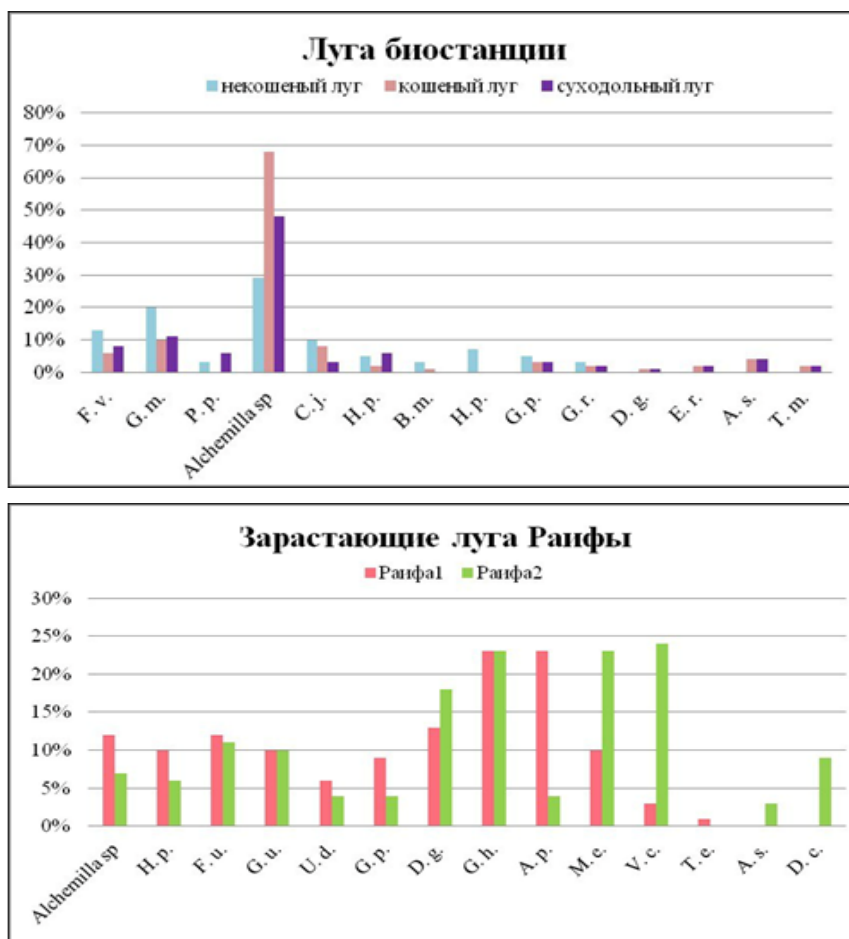


Рис. 1. Проективное покрытие растений на лугах МУБ «Займище» и заповедника: F. g. – *Fragaria viridis*, G. m. – *Galium mollugo*, P. p. – *Phleum pratense*, C. j. – *Centaurea jacea*, H. p. – *Hypericum perforatum*, B. m. – *Briza media*, H. p. – *Helictotrichon pubescens*, G. p. – *Geranium pratense*, G. m. – *Geum rivale*, D. g. – *Dactylis glomerata*, E. r. – *Elytrigia repens*, A. s. – *Agrostis stolonifera*, T. m. – *Trifolium montanum*, F. u. – *Filipendula ulmaria*, G. u. – *Geum urbanum*, U. d. – *Urtica dioica*, G. h. – *Glechoma hederacea*, A. p. – *Aegopodium podagraria*, M. e. – *Milium effusum*, V. c. – *Veronica chamaedrys*, T. e. – *Trollius europaeus*, A. s. – *Anthriscus sylvestris*, D. c. – *Deschampsia caespitosa*

Для определения варьирования функциональных, морфологических признаков в разных эколого-фитоценологических условиях лугов использовали три часто встречающихся микровида: *A. baltica*, *A. acutiloba* и *A. hirsuticaulis*.

Интегральными функциональными признаками этих микровидов в разных условиях природопользования являются площадь листа (см²) и длина цветоноса (см), которые значительно различаются на различных лугах (рис. 2–4, табл. 2).

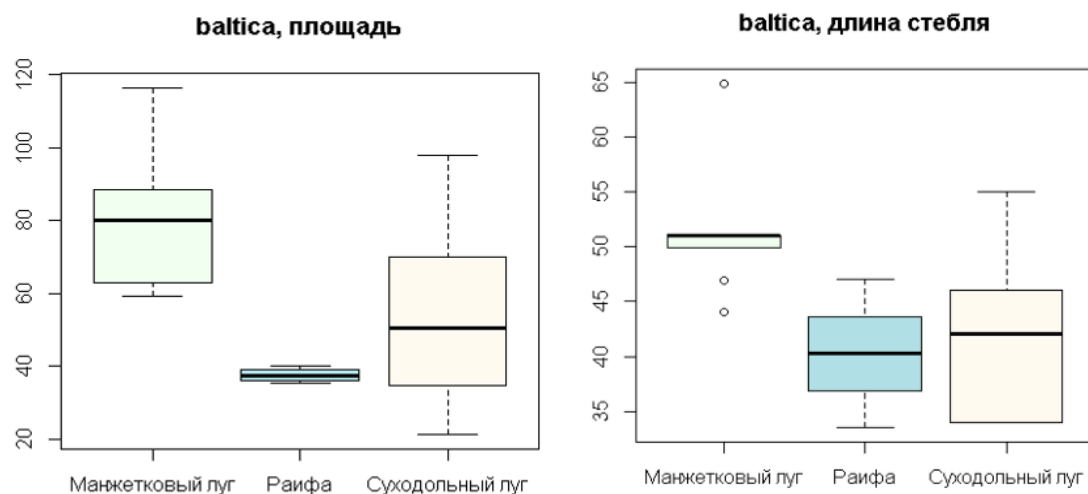


Рис. 2. Средние значения признаков «площадь» листа и «длина стебля» на разных лугах у *Alchemilla baltica* Sam. ex Juz.

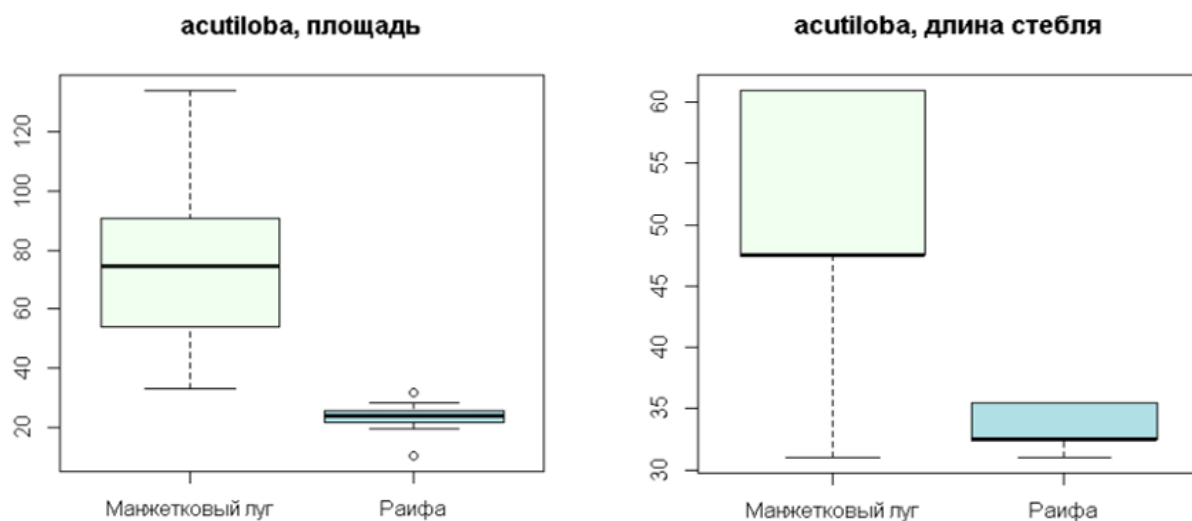


Рис. 3. Средние значения признаков «площадь» листа и «длина стебля» на разных лугах *Alchemilla acutiloba* Opiz.

Установлено, что общая площадь листовой поверхности микровидов ($r = 0,68$) достоверно зависит от средней площади листа, независимо от экологических условий местообитаний. Так, на склоновых, более влажных лугах биостанции, средняя общая площадь листьев *A. baltica*, и *A. hirsuticaulis* статистически больше, чем на суходольных, что тоже отмечает О. В. Жукова [11] для *A. gracilis*, где на влажных лугах площадь листьев достоверно увеличивается, по сравнению с суходолами.

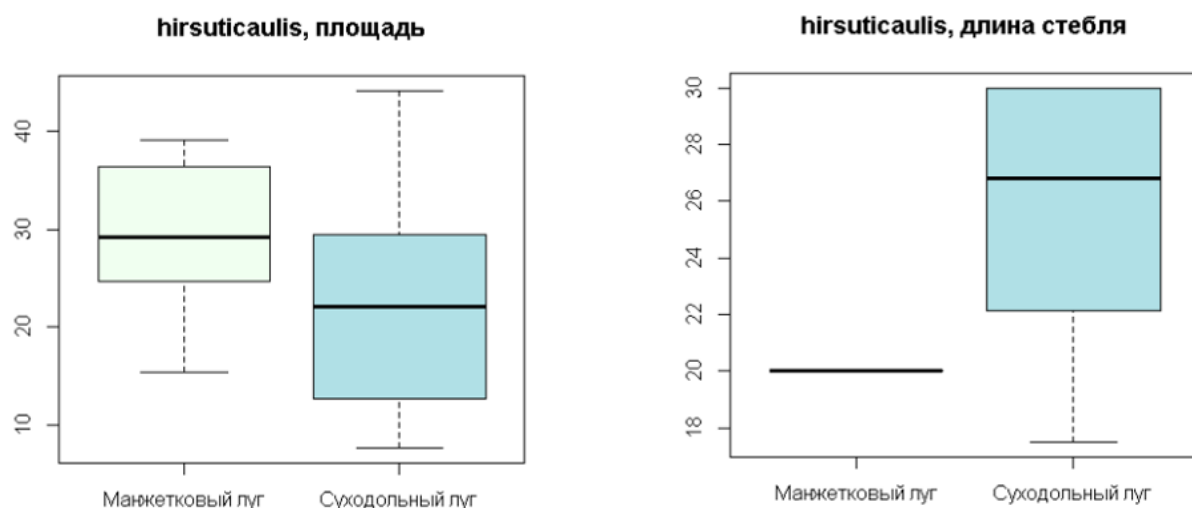


Рис. 4. Средние значения признаков «площадь» листа и «длина стебля» на разных лугах у *Alchemilla hirsuticaulis* Н. Lindb.

Таблица 2

**Результаты анализа на достоверность различий
Функциональных признаков у *Alchemilla hirsuticaulis*, *Alchemilla acutiloba*
и *Alchemilla baltica* на лугах разного природопользования**

<i>Alchemilla baltica</i>									
Признак	Манжетковый луг		Ttest	Суходольный луг		Ttest	Раифа		Ttest
	М	cv		М	cv		М	cv	
Площадь листа, см²	79,02	22,66	2,71	56,1	40,48	2,9	37,59	5,26	7,21
Длина стебля, см	52,57	13,13	3,1	42,54	20,21	0,63	40,25	13,69	3,5
<i>Alchemilla acutiloba</i>									
Признак	Манжетковый луг		Ttest	Раифа		Ttest	суходольный луг		Ttest
	М	cv		М	cv		М	cv	
Площадь листа, см²	74,95	35,1	7,86	23,14	23,57				
Длина стебля, см	47,88	22,41	5,39	33,59	4,93				
<i>Alchemilla hirsuticaulis</i>									
Признак	Манжетковый луг		Ttest	суходольный луг		Ttest	суходольный луг		Ttest
	М	cv		М	cv		М	cv	
Площадь листа, см²	28,97	32,85	1,23	22,58	51,26				
Длина стебля, см	20	0	4,2	25,81	20,79				

Примечание: при Ttest > 2,1 – различия достоверны.

По результатам камеральной обработки и дополнительных консультаций определено 14 микровидов рода *Alchemilla*, три из которых ранее не описывались во флоре Республики Татарстан (*A. tichomirovii*, *A. vorotnikovii*,

A. trichocrater), а также они наряду с *A. litwinowii* являются эндемиками Верхнего и Среднего Поволжья. На суходольных лугах в Займище проективное покрытие видов рода *Alchemilla* – от 30 до 62%, в условиях зарастающих лугов Раифы проективное покрытие снижается до 8–12%, преобладает лесолуговое и лесное разнотравье.

Виды манжеток, как светлюбивые растения, чувствуют себя угнетённо в условиях затенения лугов Раифы и развивают большую фотосинтезирующую площадь листьев на открытых лугах биостанции, независимо от периодического их сенокоса. Интегральными функциональными признаками микровидов являются: площадь листа (в программе Easy Leaf Area); общая площадь листовой поверхности; для генеративных – длина вегетативно-генеративного побега – которые значимо отличаются на различных лугах.

Библиографический список

1. Глазунова К. П. Образование зародышевых мешков у агамных видов манжетки (*Alchemilla* L.) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1987. Т. 92. № 5. С. 96–109.
2. Юзепчук С. В. Новые манжетки Европейской части СССР, Сибири и Средней Азии // Бот. матер. герб. Бот. ин-та им. В. Л. Комарова АН СССР. 1954. Т. 16. С. 133–183.
3. Тихомиров В. Н. Заметки о распространении манжеток (*Alchemilla* L., Rosaceae) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1998. Т. 103. № 2. С. 65.
4. Чкалов А. В. Идентификация представителей рода *Alchemilla* L. Нижегородского Поволжья : учеб.-метод. пособие. Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет, 2012. 46 с.
5. Василевич В. И. Функциональное разнообразие растительных сообществ. DOI: 10.1134/S0006813616070024 // Бот. журн. 2008. Т. 93. № 5. С. 776–795.
6. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья-95, 1995. 992 с.
7. Чкалов А. В. Новые виды рода *Alchemilla* (Rosaceae) из Среднего Поволжья // Бот. журн. 2011. Т. 96. № 12. С. 1633–1643.
8. Бакин О. В., Рогова Т. В., Ситников А. П. Сосудистые растения Татарстана. Казань : Изд-во Казанского ун-та, 2000. 496 с.
9. Чкалов А. В., Аверкиев Д. Д., Воротников В. П. Род Манжетка (*Alchemilla* L., Rosaceae) во флорах Нижегородской области и Республики Марий Эл // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Биология. 2019. Вып. 3. С. 264–279.
10. Жукова О. В., Хуснутдинова Н. Н. Микровиды манжетки (*Alchemilla vulgaris* L. s.l.) в разных местообитаниях Республики Марий Эл // Бот. журн. 2020. Т. 105. № 3. С. 45–52.
11. Жукова О. В., Гаврилова А. Ю. Микровидовой состав некоторых ценопопуляций манжетки (*Alchemilla vulgaris* L. s.l.) на территории Республики Марий Эл // Проблемы популяционной биологии: материалы XII Всерос. популяционного семинара памяти Николая Васильевича Глотова (1939–2016). Йошкар-Ола : ООО ИПФ «СТРИНГ», 2017. С. 95–96.

СЕКЦИЯ 10 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

A NETWORK APPROACH TO ASSESSING THE SPATIAL DIFFERENTIATION OF GROUND BEETLE COMMUNITIES (COLEOPTERA, CARABIDAE) IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS

D. S. Fedorov, K. Yu. Maksimovich

*Siberian Federal Scientific Centre of AgroBioTechnologies
of the Russian Academy of Sciences,*

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Novosibirsk, Russia, kiri-maksimovi@mail.ru

This study presents the results of applying network analysis to investigate the spatial organization of ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae). Connectance (C), modularity (Q), and nestedness (NODF) were calculated, and species co-occurrence networks were constructed on the basis of Spearman correlations ($p < 0.05$). The experimental plots under cereal crops were characterized by high modularity ($Q = 0.754\text{--}0.810$) and low nestedness ($NODF = 49.4\text{--}51.5$), indicating a stable block-like structure of the Carabidae assemblage. By contrast, the assemblages of the bare-fallow and pea plots showed the opposite trends, pointing to instability of community linkages. The proposed network-based approach is shown to be an effective analytical tool for studying the spatial organization of Carabidae assemblages in agroecosystems.

Keywords: Carabidae, ground beetles, spatial ecology, network analysis, modularity, agrocenosis, community stability.

One of the effective approaches to monitoring and assessing ecosystem functioning is the application of network analysis to study interactions between living communities and environmental factors [1, 2]. Network analysis can be used to identify key species (“hubs”) that play a major role in shaping living communities across various habitats [2–4]. The spatial organization of communities, with its specific patterns of ecological interactions – territorial partitioning, resource sharing, and the transfer of energy and nutrients – which ultimately determine ecosystem functioning, can be examined in detail through network analysis [3, 4]. Network complexity, in terms of either taxonomic or functional diversity, stabilizes communities and makes them more resilient [5–7]. Species with a greater number of strong links to other species, or those exhibiting higher eigenvector or betweenness centrality, can play a critical role in networks and in community sustainability. [5, 7]. Such species may therefore be pivotal in driving community change. Traditional ecological approaches and the mathematical tools widely used to compare

biotopes (diversity indices, classification methods, etc.) do not allow the architecture of interspecific interactions to be fully characterized. Co-occurrence network analysis enables a quantitative assessment of biotic network stability: high modularity (Q) reflects a block-like organization that limits the cascading propagation of disturbances, whereas high nestedness (NODF) indicates that the community depends on a few key species [4, 5]. Despite the importance and promise of ecological network analyses, the body of work in this area remains limited [8] and does not cover most taxonomic groups, which underscores the relevance of the present study.

The original entomological surveys conducted in 2025 included field counts at the experimental plots of the long-term field experiment of the Federal Altai Scientific Centre of Agrobiotechnologies, established in 2001 in the forest–steppe of the Altai Ob region (53°24'39" N, 83°28'33" E). Soil-surface invertebrates were collected following the standard pitfall-trap method (plastic cups, 0.5 L volume, 9.5 cm in diameter). The fields included in the study were sown with the following crops: continuous wheat (53°24'37" N, 83°28'47" E), wheat following oats (53°24'36" N, 83°28'41" E), pea (53°24'40" N, 83°28'33" E), and bare fallow (53°24'38" N, 83°28'18" E). At each experimental plot, five pitfall traps were installed in a line at 10 m intervals. A 10% ethylene glycol solution was used as a fixative. The plots were located in close proximity to one another and were similar in landscape characteristics. Sampling was carried out every 10 days (three surveys per season: June, July, and August). Specimen processing and preparation were performed at the Siberian Research Institute of Agriculture, Biologisation and Digitalisation of the Siberian Federal Scientific Centre of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences (SibRIABD SFSCA RAS), at the Laboratory of Biological Monitoring and Stability of Agroecosystems. Specimens were rinsed, dried, and mounted on cotton layers for fixation and subsequent species identification. Adult beetles were identified at the Laboratory of Phylogeny and Faunogenesis of the Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, under the supervision of Dr. R. Yu. Dudko (Cand. Sci. Biol.), a specialist in Coleoptera. The reference collection of the Siberian Zoological Museum of the Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS was used to confirm species identifications. Beetle abundance was expressed as activity density, calculated as the number of adult specimens per 100 trap-days (hereafter, ind./100 trap-days). To construct the networks, pairwise Spearman correlations (ρ) between species were calculated across traps; an edge was added when $p < 0.05$, and the sign of the edge defined the type of association (positive or negative). The following network metrics were calculated: connectance (C), modularity (Q; Newman–Girvan algorithm), nestedness (NODF), mean node degree, and the clustering coefficient. Statistical computations and graphical representations were performed using Python 3.9.

During the surveys of ground beetle populations in agrocenoses under southern forest-steppe conditions of the Altai Ob region, 39 species from 16 genera and 9 tribes were recorded: Carabini, Broscini, Bembidiini, Pterostichini, Zabrinini, Lebi-

ini, Harpalini, Platynini, and Sphodrini. The generic structure of the fauna was as follows: *Harpalus* and *Amara* – 7 species each, *Poecilus* – 5 species, *Pterostichus* and *Calathus* – 3 species each, *Calosoma*, *Bembidion*, and *Microlestes* – 2 species each. Eight genera were represented by a single species.

The highest species richness was recorded in the continuous-wheat plot ($S = 33$, $H' = 2.13$, $M = 4.80$), and the lowest in the bare-fallow plot ($S = 17$, $H' = 1.99$, $M = 2.60$). The dominant complex across all plots was formed by *Poecilus cupreus* (Linnaeus, 1758), *P. fortipes* (Chaudoir, 1844), and *Dolichus halensis* (Schaller, 1783); on the bare fallow, *Amara ingenua* (Duftschmid, 1812) accounted for 28.8% of the total catch.

Table

Diversity indices and network metrics of ground beetle assemblages across the experimental plots (Barnaul)

Experimental plot	S	H'	D	M	No. of edges	C	Q	NODF	+ / –
Bare fallow	17	1.99	0.82	2.60	10	0.074	0.319	66.2	10/0
Pea	22	1.90	0.76	3.16	20	0.087	0.351	66.9	9/11
Continuous wheat	33	2.13	0.79	4.80	23	0.044	0.810	51.5	22/1
Wheat after oats	26	1.86	0.78	3.64	18	0.055	0.754	49.4	16/2

Note: S – the number of species; H' – Shannon index; D – Simpson index; M – Margalef index; C – connectance; Q – modularity; NODF – nestedness index; + / – – number of positive and negative network edges.

Ground beetle assemblages of the continuous-wheat and wheat-after-oats plots showed high modularity ($Q = 0.810$ and 0.754) combined with low nestedness ($NODF = 51.5$ and 49.4). High modularity reflects a block-like organization of the assemblage: species clustered into 15 and 12 functional groups, respectively, that were weakly interconnected. Such a structure confers stability on the assemblage, since disturbance within one group does not propagate to the others [5–7]. Notably, in the network describing the continuous-wheat assemblage (Figure), 22 of the 23 edges had a positive sign, indicating that species within groups responded synchronously to environmental factors.

The bare-fallow and pea plots showed a fundamentally different network structure. Modularity here was low ($Q = 0.319$ and 0.351), and nestedness reached its maximum values ($NODF = 66.2$ and 66.9). The pea plot had the highest proportion of negative associations (11 of 20 edges), which may reflect competitive partitioning of resources among species under moderate agrotechnical pressure. High nestedness implies that the species composition of these plots represents a subset of richer assemblages and is largely defined by a few widespread species, whose loss could substantially alter community structure [4]. On the bare fallow, all edges were positive, indicating that species responded uniformly and pointing to a lack of functional differentiation within the assemblage.

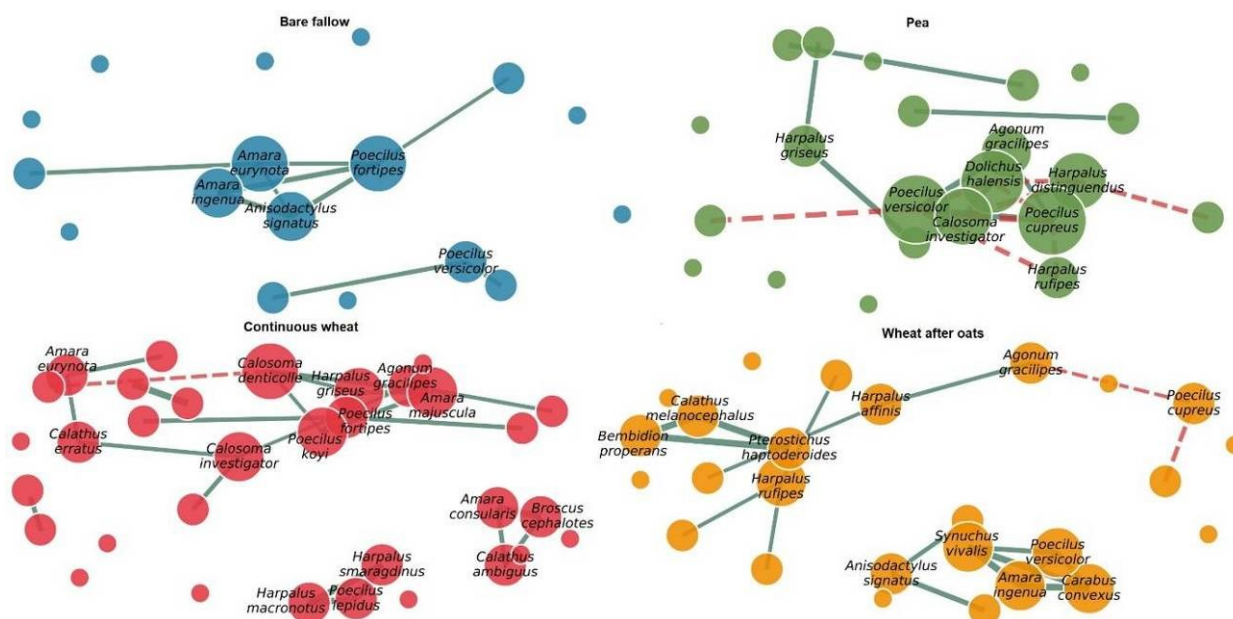


Figure. Co-occurrence networks of ground beetles across the experimental plots. Nodes represent species (size proportional to degree); edges: solid lines – positive Spearman correlations ($p < 0.05$), dashed lines – negative correlations

Thus, co-occurrence network analysis of ground beetles allows the assessment of an aspect of agrobiocenosis stability that is not captured by traditional diversity indices. Maximum stability of the network structure was characteristic of the plots under cereal crops. The modularity (Q) and nestedness (NODF) indices are recommended as supplementary informative criteria for the ecological monitoring of agricultural ecosystems.

Acknowledgments. The authors sincerely thank Dr. V.I. Usenko, Chief Researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution Altai Research Institute of Agriculture, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, for assistance in organizing and conducting summer entomological surveys at the long-term field experiment site of the Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies.

References

1. Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe / R. E. Creamer, S. E. Hannula., J. P. Van Leeuwen, et al. DOI: 10.1016/j.apsoil.2015.08.006 // Appl. Soil Ecol. 2016. Vol. 97. P. 112–124.
2. Bocharnikov V. N., Trufanov A. I., Yemelyanova L. G. A network approach in studying the spatial ecology of large predators and ungulates in southeastern Sikhote-Alin (Primorsky Krai) // The intercart. InterGIS. 2023. Vol. 29. No. 1. P. 668–681.
3. Network analysis of phenological units to detect important species in plant-pollinator assemblages: can it inform conservation strategies? / P. Biella, J. Ollerton, M. Barcella, S. Assini. DOI: 10.1556/168.2017.18.1.1 // Community Ecology. 2017. Vol. 18. No. 1. P. 1–10.
4. The influence of biotic and abiotic drivers on arthropod co-occurrence network topology in native forest remnants in the Azores / G. Pozsgai, P. Cardoso, F. Rigal, et al. DOI: 10.1101/2022.04.11.487852 // bioRxiv. 2022. 2022. Vol. 4. No. 11. Article No. 487852.

5. Complexity and stability of ecological networks: a review of the theory / P. Landi, H. O. Minoarivelo, Å. Brännström, et al. DOI: 10.1007/s10144-018-0628-3 // Popul. Ecol. 2018. Vol. 60. No. 4. P. 319–345.
6. From insect-plant interactions to ecological networks / T. M. Lewinsohn, M. Almeida Neto, A. Almeida, et al. DOI: 10.1590/1676-0611-bn-2022-1399 // Biota Neotropica. 2022. Vol. 22 (spe). Article No. e20221399.
7. Montoya D., Yallop M. L., Memmott J. Functional group diversity increases with modularity in complex food webs. DOI: 10.1038/ncomms8379 // Nat. Commun. 2015. Vol. 6. No. 1. Article No. 7379.
8. Katili M., Herdiyeni Y., & Hardhienata M. K. D. Leveraging biotic interaction knowledge graph and network analysis to uncover insect vectors of plant virus. DOI: 10.20473/jisebi.10.1.94-109 // Journal of Information Systems Engineering & Business Intelligence. 2024. Vol. 10. No. 1. P. 94–109.

ВЛИЯНИЕ ИНСЕКТИЦИДА ХЛОРФЕНАПИРА НА ТОЛЩИНУ РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКОВ КУТИКУЛЫ У ИМАГО *MUSCA DOMESTICA*

С. С. Бобрешова¹, Л. А. Шуман^{1,2}, Е. А. Силиванова¹

¹ ВНИИВЭА – филиал ТюмНЦ СО РАН,

г. Тюмень, Россия, kolyvanova93@mail.ru,

² Тюменский государственный университет,

г. Тюмень, Россия, leonidshuman@yandex.ru

В статье представлено гистоморфологическое исследование покровов тела имаго *Musca domestica* (лабораторная линия LabTY), подвергнутых на личиночной стадии воздействию инсектицида хлорфенапира в концентрациях 0,0025% и 0,005%. Реакцией на обработку инсектицидом в обеих группах мух стало утолщение несклеротизированной эндокутикулы брюшка и уменьшение толщины экзокутикулы грудного отдела по сравнению с контролем.

Ключевые слова: инсектицидное воздействие, хлорфенапир, экзокутикула, эндокутикула, *Musca domestica*.

Муха комнатная, *Musca domestica* L. является космополитным насекомым-распространителем возбудителей серьезных заболеваний [1], ухудшающим состояние животноводческих и птицеводческих комплексов [2]. В системе контроля численности насекомых широкое распространение получили инсектициды различных химических классов. Параллельно с их повсеместным использованием стремительно растет и ключевая проблема – развитие устойчивости у целевых популяций [2, 3]. Одним из фундаментальных механизмов такой резистентности является усиление барьерной функции многослойной наружной оболочки насекомого – кутикулы, снижающий скорость проникновения токсичных соединений [4, 5]. Снижение скорости проникновения через кутикулу уменьшает повреждение инсектицидом внутренних органов, давая возможность включиться метаболическим механизмам детокси-

кации [6, 7]. В работах [4, 8, 9] отмечено, что устойчивость к различного рода инсектицидам положительно коррелирует с толщиной кутикулярных слоев.

Несмотря на ключевую роль кутикулы, ее морфологические и гистологические изменения под действием инсектицидов изучены недостаточно. Целью нашей работы стало проведение гистоморфологического анализа слоев кутикулы имаго лабораторной культуры *M. domestica*, подвергнутой на личиночной стадии воздействию инсектицида хлорфенапира в концентрациях 0,0025% и 0,005%.

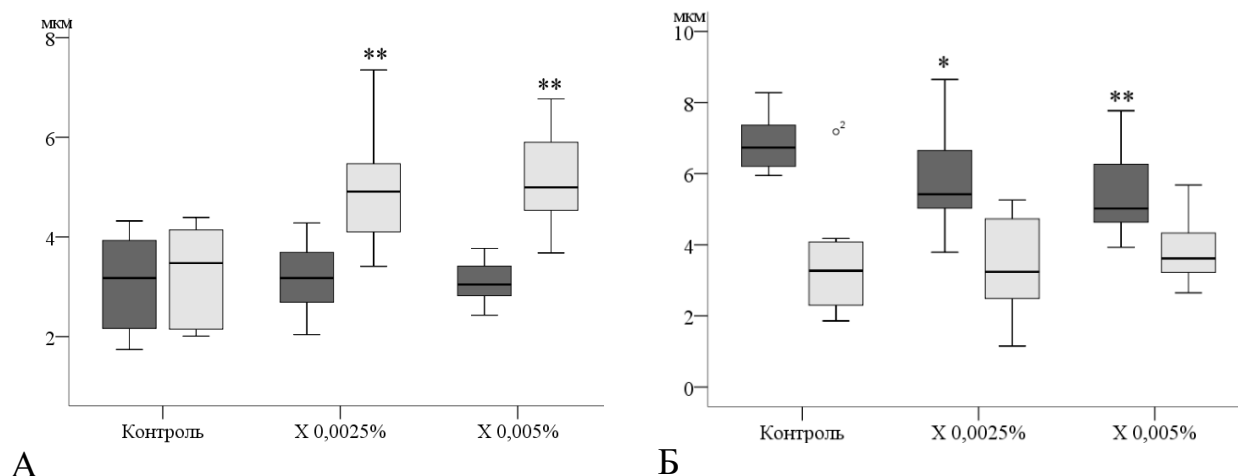
Исследования выполнены на имаго лабораторной, чувствительной к инсектицидам, культуры LabTY, полученной из Новосибирского аграрного университета и содержавшейся без контакта с инсектицидами более 150 поколений.

Был проведён гистоморфологический анализ покровов тела имаго *M. domestica*, подвергнутых на III личиночной стадии воздействию инсектицида хлорфенапира в концентрации 0,0025% и 0,005%. Для гистологического описания кутикулы мы использовали 38 взрослых особей (Группа Контроль (n = 10), Группа X0,0025% (n = 14); Группа X0,005% (n = 14)). Имаго мух в возрасте трёх суток фиксировали в жидкости Карнуа, дегидратировали в спиртах возрастающей концентрации, пропитывали гистологическим парафином и помещали в парафиновые блоки. Из блоков изготавливали саггитальные срезы толщиной 5–7 мкм. Срезы окрашивали азановым методом по Гейденгайну. Анализ гистоморфологии кутикулы проводили под световым микроскопом Zeiss Axio imager A1 (Германия) при иммерсионном увеличении 1000х. Исследовали толщину экзо- и эндокутикулы в тергитах второго сегмента груди, тергитах средних сегментов брюшка, а также в мягкой кутикуле межсегментных сочленовных мембран брюшка.

Для всех исследуемых элементов кутикулы у каждой особи измеряли толщину в 6 различных участках и рассчитывали средний для особи показатель. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета программы SPSS Statistics 23, для сравнения между независимыми выборками использовали непараметрический критерий Манна-Уитни, данные представлены в виде медианы и интерквартильного интервала (Me [Q25; Q75]). Статистическую степень значимости принимали при $p < 0,05$.

Кутикула насекомых состоит из эпикутикулы и прокутикулы. Последняя, в свою очередь, разделена на экзокутикулу и эндокутикулу. Достоверные отличия были выявлены в отношении более толстого слоя несклеротизированной эндокутикулы в обеих группах мух, обработанных инсектицидом хлорфенапиром по сравнению с контрольной группой в среднем на 41,1–43,7% (рис. А). Так, в контрольной группе толщина несклеротизированной эндокутикулы составила 3,48 [2,17; 4,10] мкм, тогда как в группе мух, подвергшихся воздействию хлорфенапира в концентрации 0,0025% данный показатель был равен 4,91 [4,14; 5,38] мкм ($p = 0,002$), а в группе с концентрацией 0,005% – 5,00 [4,64; 6,00] мкм ($p < 0,001$). В то же время, толщина внешнего слоя кутикулы межсегментарных мембран брюшка (экзокутикула) была прак-

тически одинакова у всех исследуемых групп и не имела статистически значимых отличий.



■ – экзокутикула

□ – эндокутикула

Рис. Гистологический анализ толщины несклеротизированных элементов кутикулы брюшка (А) и склеротизированных элементов кутикулы груди (Б) *M. domestica*, подвергнутых воздействию хлорфенапира в концентрации 0,0025% (X 0,0025%) и 0,005% (X 0,005%)

Примечание: * – $p < 0.05$ и ** – $p < 0.01$ – достоверность отличий по сравнению с контролем.

При анализе гистоморфологических срезов кутикулы груди (рис. Б) было выявлено, что показатели толщины экзокутикулы у групп, обработанных хлорфенапиром в двух разных концентрациях, не имели статистически значимых отличий между собой и составили 5,42 [5,05; 6,41] мкм в группе X0,0025% и 5,02 [4,64; 6,00] мкм в группе X0,005%, но достоверно отличались от контрольной группы, имеющей более высокие значения внешнего слоя кутикулы 6,74 [6,25; 7,32] ($p = 0,016$ и $p = 0,009$ соответственно). Толщина внутреннего слоя (эндокутикулы) у исследуемых групп статистически не отличалась.

При сравнении толщины кутикулярных слоев склеротизированных сегментов брюшка достоверных отличий между группами не выявлено.

Исходя из полученных данных, можно предположить, что одной из реакций на воздействие инсектицида хлорфенапира у *M. domestica* является утолщение эндокутикулы в слабосклеротизированных или изначально более тонких местах, таких как межсегментные мембраны брюшка. В то же время, со стороны утолщенных участков, таких как сегменты груди, выявляется обратная реакция на разовое воздействие на личинки данным инсектицидом, а именно, уменьшение толщины внешнего слоя (т. е. экзокутикулы).

Работа выполнена Всероссийским научно-исследовательским институтом ветеринарной энтомологии и арахнологии ТюмНЦ СО РАН в рамках

Библиографический список

1. Role of housefly (*Musca domestica*, Diptera; Muscidae) as a disease vector; a review / W. Iqbal, M. F. Malik, M. K. Sarwar, et al. // J. Entomol. Zool. Stud. 2014. Vol. 2. No. 2. P. 159–163.
2. Давлианидзе Т. А., Еремина О. Ю. Санитарно-эпидемиологическое значение и резистентность к инсектицидам комнатных мух *Musca domestica* (аналитический обзор литературы 2000–2021 гг.). DOI: 10.31993/2308-6459-2021-104-2-14984 // Вестник защиты растений. 2021. Т. 104. № 2. С. 72–86.
3. Чувствительность природной популяции *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) к пиретроидным инсектицидам / М. А. Левченко, Е. А. Силиванова, Т. А. Хлызова и др. // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2017. № 4 (24). С. 71–75.
4. Cuticle thickening associated with pyrethroid resistance in the major malaria vector *Anopheles funestus* / O. Wood, S. Hanrahan, M. Coetzee, et al. DOI: 10.1186/1756-3305-3-67 // Parasit Vectors. 2010. Vol. 3. Article No. 67.
5. Рославцева С. А. Алексеев М. А., Кривонос К. С. Роль покровов насекомых в механизме резистентности к инсектицидам // Современные проблемы зоологии и паразитологии : материалы VIII Междунар. науч. конф. «Чтения памяти проф. И. И. Барабаш-Никифорова» (г. Воронеж, 10 марта 2016 г.). Воронеж : Изд. дом ВГУ, 2016. С. 158–165.
6. Vannini L., Reed T. W., Willis J. H. Temporal and spatial expression of cuticular proteins of *Anopheles gambiae* implicated in insecticide resistance or differentiation of M/S incipient species. DOI: 10.1186/1756-3305-7-24 // Parasit Vectors. 2014. Vol. 7. Article No. 24.
7. Лопатина Ю. В., Еремина О. Ю. Механизмы резистентности членистоногих к пестицидам: снижение проницаемости кутикулы и роль АВС-транспортеров. DOI: 10.33092/0025-8326mp2018.4.42-52 // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 2018. № 4. С. 42–52.
8. Cytochrome P450 associated with insecticide resistance catalyzes cuticular hydrocarbon production in *Anopheles gambiae* / V. Balabanidou, A. Kampouraki, M. MacLean, et al. DOI: 10.1073/pnas.1608295113 // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2016. Vol. 113. No. 33. P. 9268–9273.
9. *Culex pipiens pallens* cuticular protein CPLCG5 participates in pyrethroid resistance by forming a rigid matrix / Y. Huang, Q. Guo, X. Sun, et al. DOI: 10.1186/s13071-017-2567-9 // Parasit Vectors. 2018. Vol. 11. Article No. 6.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ГЕРПЕТОБИОНТОВ ЛИСТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА

*Т. А. Гордиенко^{1, 2}, Р. А. Суходольская^{1, 3, 4},
Р. П. Горбунов^{1, 5}, Д. Н. Вавилов², Д. И. Майсейкова⁶*

¹ *Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Россия,*

² *Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования
«ЦДТ «Танкодром», г. Казань, Россия, t_a_gordienko2015@mail.ru,*

³ *Казанский государственный медицинский университет, г. Казань, Россия,*

⁴ *Волжско-Камский заповедник, г. Казань, Россия,*

⁵ *Государственный природный заповедник «Белогорье», г. Казань, Россия,*

⁶ *Муниципальное бюджетное образовательное учреждение школа № 144,
г. Казань, Россия*

Исследования проводили на территории лиственных фитоценозов Саралинского и Раифского участков Волжско-Камского государственного заповедника Республики Татарстан, расположенные в широколиственной и подтаежной подзонах соответственно. Установлено, что состояние сообщества герпетобионтов лиственных биоценозов заповедника устойчивое, но не стабильное. Сообщество герпетобионтов заповедника характеризуется высоким таксономическим богатством (по 30 таксонов на каждом участке), но подвержено сильным пространственным и временным флуктуациям. Роль факторов возрастает в градиенте биотоп – зональность – сезон – год – локалитет. Наблюдаются зональные отличия в сезонной динамике трофической структуры. В многолетнем аспекте наблюдается цикличность с пиками в 2016 и 2019 гг. и минимумами в 2022–2023 гг. В последние два года наблюдался некоторый рост динамической активности герпетобионтов заповедника.

Ключевые слова: герпетобионты, динамическая плотность, заповедник, факторы.

В настоящее время главными проблемами экологии являются глобальные изменения климата [1, 2], антропогенное воздействие (загрязнение пластиком, тяжелыми металлами и др.) [3–5] и сокращение биоразнообразия [6–7]. На уменьшение разнообразия и численности форм жизни влияют множество факторов, включая потерю среды обитания [8], загрязнение [9] и т. д. Эти угрозы часто взаимодействуют синергетически, повышая риск снижения биоразнообразия.

Роль герпетобионтов в экосистемных процессах многогранна. Одни участвуют в деструкции, трансформации опада и мертвых органических останков [10], другие участвуют в регуляции численности других организмов [11]. Сами беспозвоночные подстилки являются кормовой базой для позво-

ночных животных птиц, земноводных, млекопитающих и мелких млекопитающих.

Заповедники играют основную роль в сохранении биологического разнообразия животного и растительного мира, они являются «резервуаром генофонда» дикой природы. В связи с этим важно вести изучение фауны и населения беспозвоночных, наиболее многочисленного компонента наземных экосистем, проводить их мониторинг.

Работа посвящена изучению почвенно-подстилочных беспозвоночных (герпетобионтов) листовенных биотопов Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКЗ).

Цель работы – провести оценку пространственно-временной изменчивости герпетобионтов листовенных участков заповедника. Материал собирали на протяжении 15 лет с 2011 по 2025 гг. в двух удаленных на 100 км участках (Раифский и Саралинский).

Животных учитывали стандартным методом с помощью почвенных ловушек Барбера (pitfall traps), пробы собирали два раза за сезон весной (май-июнь) и осенью (август-сентябрь). За один учет выставляли по 10 ловушек в одну линию на расстоянии 10–15 метров, в большинстве биотопов животных учитывали один год, кроме нескольких, где учеты вели в течение 3 лет. Исследования вели в 22 биотопах, из них в Раифском участке 8 точек, в Саралинском – 14 точек. Выставлено 710 ловушек, отработано 3550 ловушко-суток, собрано 17172 особи беспозвоночных.

Были рассчитаны динамическая плотность (особей/10 ловушко-суток), таксономический состав на уровне семейства и отряда, трофическая структура. Проведен многомерный анализ (дискриминантный анализ, PCA, тест Краскела-Уоллиса, ANOVA), позволяющий оценить вклад различных факторов в пространственное распределение герпетобионтов. Использованы ПП Statist.

Показано, что в листовенных лесах заповедника доминируют насекомые (Insecta), среди которых ведущую роль играют жуки жужелицы (Carabidae) и стафилиниды (Staphylinidae) во всех биотопах, мертвоеды (Silphidae) и навозники (Geotrupidae, Scarabaeidae) особенно характерны для Саралинского участка. Среди других групп значимыми были паукообразные (Arachnida) и кивсяки (Diplopoda). Мокрицы (Isopoda) более характерны для Раифского участка. При этом выявлены ландшафтные различия. В Саралинском участке (широколиственная подзона) доля сапрофагов (кивсяки, мертвоеды, навозники) выше, а в Раифском участке (подтаежная подзона) доля хищников (пауков, жужелиц, стафилинид), среди сапрофагов здесь многочисленны мокрицы (Isopoda). Всего отмечено 33 таксона.

Наблюдается сильные колебания герпетобионтов в липняках в сезонном и пространственном аспекте: в Раифском участке плотность колеблется в первом случае от 9,7 до 222,6 особей/10 л.-с., а во втором – весной в пределах 23,6–222,6 особей/10 л.-с., осенью 9,7–63,1 особей/10 л.-с.; в Саралинском

участке – от 3,6 до 103,8 особей/10 л.-с. в вегетационный период, весной изменяется в пределах 10–103,8 особей/10 л.-с., осенью 3,6–136,8 особей/10 л.-с.

Средняя весенняя динамическая плотность в подтаежной подзоне в 3,4 раза выше осенней (117,3 и 34,6 особей/10 л.-с.), в широколиственной подзоне она одинаковая (41,1 и 42 особей/10 л.-с.).

Наблюдаются двукратные различия средней плотности герпетобионтов в зональном аспекте для липняков (в Раифском участке – 83,2 особи/10 л.-с., в Саралинском – 42,6 особи/10 л.-с.).

В 83% липняков и 100% березняков Раифского участка пик численности приходится на весну, в Саралинском участке это верно для 65% липняков и 75% березняков, но есть и участки с осенним пиком.

Трофическая структура сходна во всех биотопах: доминируют хищники (пауки, жуужелицы, стафилиниды, хищные многоножки) и сапрофаги (кивсики, мокрицы, мертвоеды, навозники, дождевые черви). В широколиственной подзоне наблюдается сезонная динамика трофической структуры – весной преобладают сапрофаги, а осенью – хищники. В подтаежной отмечено доминирование хищной группы над сапрофагами и фитофагами в оба сезона.

Индексы Жаккара указывают на умеренное сходство между большинством биотопов. Кластерный анализ выявил, что структура сходства сообществ герпетобионтов меняется от весны к осени.

Выявлены факторы, влияющих на сообщества подстилочных беспозвоночных. С помощью многомерного дисперсионного анализа ANOVA установлено, что на структуру сообщества герпетобионтов влияют факторы, но их вклад неодинаков. Наибольшее влияние оказывают локалитет и год исследования (табл.), то есть исследуемые сообщества подвержены существенным межгодовым флуктуациям, а пространственная неоднородность (локалитеты) вносит определяющий вклад в изменчивость структуры и численности герпетобионтов. Зональность (Раифа и Саралы) и тип биотопа (липняк, березняк, ивняк) также значимы, но их влияние часто перекрывается уникальными условиями конкретного года и места. Сезонный фактор важен, но его влияние проявляется в изменении обилия конкретных групп (например, хищных многоножек и сенокосцев осенью). Таким образом, роль факторов возрастает в градиенте биотоп – зональность – сезон – год – локалитет.

Таблица

Результаты ANOVA с зависимыми переменными участок, локалитет, биотоп, год и сезон

Фактор	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средняя суммы квадратов	Значение F	Уровень значимости, p
Сезон	1	758	758	0,378	0,541
Тип биотопа	2	5526	2763	1.408	0.252
Участок	1	4299	4299	2,204	0,143
Год	7	56384	8055	6,482	1.24e-05*
Локалитет	18	82941	4608	4,788	8.91e-06

Примечание: жирным выделены статистически значимые результаты.

Дискриминантный анализ также выявил наиболее сильный фактор, оказывающий влияние на структуру и плотность герпетобионтов лиственных фитоценозов заповедника. Наибольшая изменчивость квадрата расстояния Махаланобиса проявляется с предиктором локалитет. Таким образом, наибольшее влияние оказывают микроусловия конкретного местообитания локалитета – микроклимат, рельеф, растительность и т.д.

В многолетней динамике плотности беспозвоночных наблюдалась ярко выраженная флуктуация с пиками в 2016 и 2019 гг. и спадами в 2017–2018 гг. (рис.). Период 2022–2023 гг. отмечен минимумом общей численности беспозвоночных за весь период наблюдений. В 2024–2025 гг. наметился тренд к восстановлению численности, однако она не достигла пиковых значений прошлых лет.

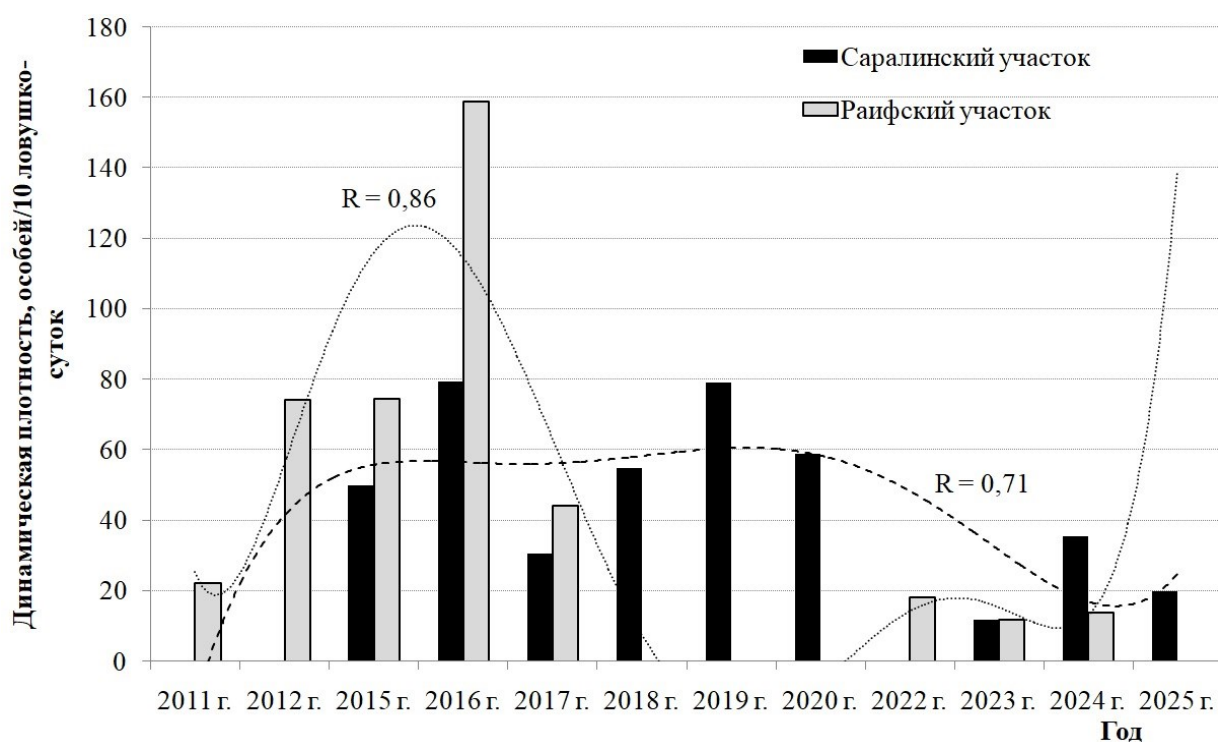


Рис. Колебания динамической плотности герпетобионтов в различных участках Волжско-Камского заповедника

Таким образом, состояние лиственных биоценозов заповедника устойчивое, но не стабильное, природные факторы оказывают большую роль, что полностью подтверждается математически. «Нестабильность» – это и есть проявление высокой пространственно-временной изменчивости, где главными факторами выступают локальные условия и погодно-климатические особенности конкретного года. Сообщество герпетобионтов ВКЗ характеризуется высоким таксономическим богатством, но подвержено сильным пространственным и временным флуктуациям. Наблюдаются некоторые зональные отличия в сезонной динамике трофической структуры. За 15-летний период отмечены сильные колебания численности с пиками в 2016 и 2019 гг. и спа-

дами в последующие годы, а в 2022–2023 гг. минимум за весь период наблюдений.

Полученные данные служат основой для дальнейшего экологического мониторинга, оценки состояния экосистем заповедника и понимания процессов, происходящих в почвенных сообществах на фоне глобальных изменений окружающей среды. Исследование подтверждает важность заповедников как эталонных территорий для изучения естественной динамики биоразнообразия.

Библиографический список

1. Глобальное изменение климата и его последствия / Л. В. Бондаренко, О. В. Маслова, А. В. Белкина, К. В. Сухарева // Вестник РЭА им. Г. В. Плеханова. 2018. № 2 (98). С. 83–94.
2. Директор ГГО им. А.И. Воейкова Владимир Катцов выступил на круглом столе ООН по вопросам климата // Российские полярные исследования. 2020. № 4. С. 26.
3. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution / S. B. Borrelle, J. Ringma, K. Lavender Law, et al. DOI: 10.1126/science.aba3656 // Science. 2020. Vol. 369. No. 6510. P. 1515–1518.
4. Rochman C. M., Hoellein T. The global odyssey of plastic pollution. DOI: 10.1126/science.abc4428 // Science. 2020. Vol. 368. No. 6496. P. 1184–1185.
5. Микропластик в морской среде / И. П. Чубаренко, Е. Е. Есюкова, Л. И. Хатмуллина и др. М. : Научный мир, 2021. 520 с.
6. Mora C., Sale P. F. Ongoing global biodiversity loss and the need to move beyond protected areas: a review of the technical and practical shortcomings of protected areas on land and sea. DOI: 10.3354/meps09214 // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2011. Vol. 434. P. 251–266.
7. Kolbert E. The sixth extinction: an unnatural history. New York : Henry Holt and Company, 2014. 319 p.
8. Limited protection and ongoing loss of tropical cloud forest biodiversity and ecosystems worldwide / D. N. Karger, M. Kessler, M. Lehnert, W. Jetz. DOI: 10.1038/s41559-021-01450-y // Nat. Ecol. Evol. 2021. Vol. 5. No. 6. P. 854–862.
9. Singh R., Verma A. K., Prakash S. The web of life: role of pollution in biodiversity decline. DOI: 10.22271/23940522.2023.v10.i3a.1003 // Int. J. Fauna Biol. Stud. 2023. No. 10. P. 49–52.
10. Горбунова Ю. С., Тиунов А. В. Роль почвенных животных в разложении растительного опада в лесных экосистемах // Журнал общей биологии. 2017. № 78 (1). С. 21–37.
11. Фасулати С. Р. Хищные жуки (Coleoptera, Carabidae) в агроценозах: структура группировок и регуляторная функция // Зоологический журнал. 2011. № 90 (2). С. 163–175.

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОСОБЕЙ СЕРОЙ ЖАБЫ, ЗАРАЖЕННЫХ ГЕЛЬМИНТАМИ, НА ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦЫНА

А. Н. Громова, Л. В. Мурадова

*Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия,
gromovaa251@gmail.com, mlv44@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования показателей крови особей *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758), зараженных гельминтами, на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына. Обнаружено всего три вида гельминтов, относящихся к двум типам *Nematoda* (Rudolphi, 1808) и *Platyhelminthes* (Gegenbaur, 1859). Изучены следующие показатели крови: концентрация глюкозы в крови, соотношение клеток крови и лейкоцитарная формула *Bufo bufo*.

Ключевые слова: амфибии, гематологические показатели, гемоглобин, глюкоза, лейкоцитарная формула, *Bufo bufo*, заповедник «Кологривский лес», гельминтозы

Представители группы бесхвостых амфибий очень часто заражены многими видами паразитов. Это связано с некоторыми особенностями их экологии – они обладают высокой численностью на различных территориях, а также быстрым темпом размножения, являются эвритопными и имеют жизненный цикл со сменой среды обитания [1]. Паразиты могут локализоваться в жизненно важных органах и тканях, что может приводить к изменению, как общего физиологического состояния особей, так и гематологических показателей. Поэтому степень нарушений, вызванных наличием паразитов и защитные реакции организма амфибий на гельминтофауну можно оценить с помощью анализа гематологических показателей особей, зараженных гельминтами.

Целью работы является оценка изменений гематологических показателей особей серой жабы (*Bufo bufo*), зараженных гельминтами, на территории заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына.

Исследования проводились в летний период 2025 г. на территории государственного природного заповедника. Сбор материала осуществлялся методом маршрутного учета [2] в вечернее время. Все половозрелые особи подвергались полному гельминтологическому вскрытию по общепринятой методике [3]. Для количественной характеристики зараженности земноводных паразитами использовались показатели: экстенсивность инвазии (%), которая рассчитывалась по формуле: $E = n / N \cdot 100$, где n – количество зараженных особей-хозяев, N – число исследованных особей-хозяев; интенсивность инвазии рассчитывалась по формуле: $I = m / n$, где m – число обнаруженных гельминтов, n – число зараженных особей-хозяев; индекс зараженности рассчитывался по формуле: $I = E \cdot I$, где E – экстенсивность инвазии, I – интенсивность инвазии.

тывался по формуле: $M = m / N$, где m – число обнаруженных гельминтов, N – число исследованных особей-хозяев. Определение содержания гемоглобина в крови проводили с помощью гемометра ГС-3 по методу Г. Сали [4]. Уровень глюкозы определяли глюкометром. Для изучения клеток крови изготавливали мазок по методике, предложенной Меньшиковым М. В. и др. [5], далее фиксировали клетки крови этиловым спиртом и окрашивали по методу Романовского-Гимзы. После полного высыхания окрашенного и зафиксированного мазка приступали к микроскопии и подсчёту лейкоцитарной формулы методом Шиллинга (четырёхпольный метод меандра).

За период исследования было отловлено 76 особей Земноводных, из которых 66% относилось к виду – серая жаба (*Bufo bufo*), а 34% – к виду травяная лягушка (*Rana temporaria*). В возрастной структуре *Bufo bufo* 32% особей относились к половозрелым, у которых была определена зараженность гельминтами и исследованы гематологические показатели. При изучении гельминтофауны серой жабы было обнаружено 3 вида гельминтов, относящихся к двум типам Nematoda (Rudolphi, 1808) и Platyhelminthes (Gegenbaur, 1859). Все отловленные взрослые особи были заражены *Haplometra cylindracea*, экстенсивность инвазии данного паразита составила 100% на обоих маршрутах исследования. *Haplometra cylindracea* – это трематодный паразит земноводных, располагающийся в легких, развивается через двух промежуточных хозяев, заражение амфибий происходит в воде церкариями трематоды в период размножения на стадии головастиков и их метаморфоза [6]. Экстенсивность инвазии *Oswaldocruzia filiformis* и *Pleurogenes claviger* в популяции серой жабы составила 75%. Оба вида являются паразитами кишечника, заражение происходит в основном на суше. Высокая экстенсивность инвазии данных гельминтов связана с тем, что жабы – это наземная группа организмов, связанных с водой только на стадии метаморфоза [6].

В ответ на любое воздействие факторов среды, в том числе заражение гельминтами, у амфибий появляются различные адаптации, происходят изменения гематологических показателей, направленные на обеспечение оптимального уровня жизнедеятельности [6].

Таблица 1

Содержание глюкозы и гемоглобина в крови особей серой жабы, зараженных гельминтами

Показатель	Вид гельминта		
	<i>Haplometra cylindracea</i>	<i>Oswaldocruzia filiformis</i>	<i>Pleurogenes claviger</i>
Концентрация глюкозы $X \pm S_x$, ммоль/л	3,7 $\pm$ 0,6	4,2 $\pm$ 0,7	2,7 $\pm$ 0,4
Cv, %	62,2	59,5	55,6

В норме концентрация глюкозы в крови амфибий составляет 2,8–8,3 ммоль/л, концентрация гемоглобина – 19–100 г/л [7]. В результате исследований (табл. 1) было установлено, что средний уровень глюкозы у всех особей амфибий находился в пределах нормы. Самая высокая концентрация глюкозы в крови наблюдается у особей, зараженных *Oswaldocruzia filiformis* –

4,2 ммоль/л. Зараженные *Pleurogenes claviger* особи имели низкий уровень глюкозы – 2,7 ммоль/л. Изменения концентрации глюкозы в крови могут возникать из-за дисбаланса метаболизма, вызванного действием различных стресс факторов, в том числе паразитарных инвазий во внутренних органах [7]. Коэффициент вариации составил 55,6–62,2, что указывает на значительную изменчивость данного показателя.

Изменения в лейкоцитарной формуле амфибий могут служить индикатором нарушений, вызванных наличием паразитов, так как лейкоциты играют важную роль в развитии защитных реакций организма. При заражении амфибий гельминтами наблюдается изменение соотношения клеток крови, происходит с перераспределение доли агранулоцитов и изменение содержания клеток гранулоцитарного ряда.

Таблица 2

Лейкоцитарная формула особей серой жабы, зараженных гельминтами

Показатель X±Sx	<i>Oswaldocruzia filiformis</i>	<i>Pleurogenes claviger</i>	Условная норма, %
Эозинофилы	10,0±1,5	10,8±2,2	3–10
Базофилы	16,5±1,9	20,3±1,3	10–20
Моноциты	6,6±0,8	8,2±1,3	1–3
Лимфоциты	68,5±2,1	62,5±2,6	40–60

В результате наших исследований (табл. 2) было установлено, что у особей, зараженных *Oswaldocruzia filiformis*, наблюдается значительное превышение нормы по количеству моноцитов – на 54,5% и лимфоцитов – на 12,4%. Особи, зараженные *Pleurogenes claviger*, имели следующие изменения, в сравнении с нормой: повышенное количество эозинофилов – на 7,4%, моноцитов – на 63,4%, а также лимфоцитов – на 4%.

Эозинофильные гранулоциты являются наиболее функционально активными элементами крови у амфибий, поэтому увеличение их количества в периферической крови обеспечивают защитные реакции организма к гельминтофауне. Превышение нормы содержания в крови моноцитов у особей серой жабы можно объяснить токсическим и аллергическим действием чужеродных белков гельминтов, которыми заражены исследуемые особи. Эозинофилы при этом выступают в роли эффекторных клеток, которые фагоцитируют чужеродные белки, участвуя в реакциях иммунитета [6], а моноциты, будучи фагоцитами, поглощают и переваривают распадающиеся или ослабевшие клетки тканей, в том числе и кровяные [8]. Увеличение лимфоцитов также является целенаправленной реакцией организма амфибий на наличие гельминта, так как данные клетки крови принимают участие в синтезе антител [8]. Однако, количество лимфоцитов зависит от обилия и особенностей паразитов в организме амфибий.

Таким образом, присутствие гельминтов у особей *Bufo bufo* запустило каскад реакций, направленных на повышение стабильности работы систем органов, что вызвало изменения в составе периферической крови, увеличение

количества эозинофилов, моноцитов и лимфоцитов, которые обеспечивают защитные реакции организма, активно фагоцитируя чужеродные вещества и выделяя антитела.

Библиографический список

1. Изменение лейкоцитарной формулы крови озерной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) при гельминтозах / Е. Б. Романова, Г. А. Фадеева, К. С. Вершинина, В. Ю. Николаев // Вестник ННГУ. 2013. № 5–1.
2. Зоология позвоночных животных: учебно-методическое пособие по полевой практике / М. В. Сиротина, Л. В. Мурадова, О. Н. Ситникова, Т. Л. Соколова. Кострома : Костромской государственный университет, 2022. 112 с.
3. Скрабин К. И. Метод полных гельминтологических вскрытий позвоночных, включая человека. М. : Изд-во МГУ, 1928. 45 с
4. Гуминский А. А., Леонтьева Н. Н., Маринова К. В. Руководство к лабораторным занятиям по общей и возрастной физиологии : учебное пособие для студентов биол. спец. пед. ин-тов. М. : Просвещение, 1990. 239 с.
5. Полозюк О. Н., Ушакова Т. М. Гематология : учебное пособие. Персиановский : Донской ГАУ, 2019. 159 с.
6. Федотова Е. Е., Мурадова Л. В. Изучение лейкоцитарной формулы амфибий, зараженных гельминтами, на территории Кологривского кластера государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Синицына // Научные труды государственного природного заповедника «Кологривский лес» : сб. науч. трудов. Кологрив, 2023. С. 133–138.
7. Карташев Н. Н., Соколов В. Е., Шилов И. А. Практикум по зоологии позвоночных : учебное пособие для студентов вузов. М. : Аспект Пресс, 2004. 383 с.
8. Шукшина К. В., Калашникова М. В. Филогенез клеток крови животных // Достижения молодой науки для агропромышленного комплекса : сб. LVI науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Тюмень, 01 марта 2023 г.). Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. С. 220–226.

ОСОБЕННОСТИ ЛЕЙКОЦИТАРНОГО СОСТАВА КРОВИ *RANA TEMPORARIA* ПРИ ГЕЛЬМИНТОЛОГИЧЕСКОЙ ИНВАЗИИ НА ТЕРРИТОРИИ ПАРКА КУЛЬТУРЫ И ОТДЫХА «БЕРЕНДЕЕВКА» г. КОСТРОМЫ

Д. А. Гурьянова¹, М. В. Сиротина^{1, 2}

¹ Костромской государственный университет,
г. Кострома, Россия, gury543255@gmail.com,

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

В статье представлены результаты исследования лейкоцитарной формулы периферической крови особей *Rana temporaria*, зараженных гельминтами, на территории парка культуры и отдыха «Берендеевка» города Костромы. Выявлено паразитарное поражение всех отловленных особей и наличие трёх видов гельминтов. Отмечено небольшое превышение нормы в лейкоцитарной формуле по юным нейтрофилам, базофилам и моноцитам.

Ключевые слова: земноводные, *Rana temporaria*, гельминтофауна, экстенсивность инвазии, лейкоцитарная формула, лейкоциты.

Амфибии, в том числе *Rana temporaria*, широко используются в качестве биоиндикаторов состояния среды из-за своей высокой чувствительности к её изменениям. Их физиологическое состояние и адаптационные возможности позволяют оценивать уровень антропогенной нагрузки и загрязнения окружающей среды [1]. О состоянии земноводных можно судить по лейкоцитарному составу крови. Особое значение имеют лейкоциты, которые выполняют защитную функцию и сигнализируют о наличии патологических процессов, в том числе о гельминтологической инвазии. Клетки лимфоидного ряда проявляют иммунологическую реакцию на внешние раздражители, помогая организму адаптироваться. Поэтому анализ гематологических показателей земноводных, прежде всего лейкоцитарной формулы и динамики лимфоцитов, служат важным инструментом биомониторинга.

Целью работы было изучение гематологических показателей травяных лягушек в условиях поражения их гельминтами.

Исследование проводилось в летний период 2025 года. Всего было исследовано 10 половозрелых особей травяной лягушки. У каждой особи была взята кровь и приготовлен мазок периферической крови по общепринятым методикам [2]. Для более детального изучения морфологии клеток крови производили окрашивание по Романовскому–Гимзе. После полного высыхания и фиксации мазка приступали к микроскопии и подсчёту лейкоцитарной формулы методом Шиллинга. В каждом мазке по установленной методике выбирали четыре участка и в каждом подсчитывали по 25 лейкоцитов, то есть всего 100 клеток. Лейкоцитарную формулу выражали в виде процентного соотношения отдельных видов лейкоцитов [2]. Для изучения гельминтофауны особей подвергали полному гельминтологическому вскрытию по методике Скрыбина [3]. После вскрытия легкие и кишечник измельчали до однородной массы и промывали водой методом последовательных смывов. Крупных гельминтов отбирали визуально, а мелких – с помощью лупы. Для количественной оценки зараженности использовали показатели экстенсивности инвазии (%), которая рассчитывалась по формуле: $E = n / N \cdot 100$, где n – количество зараженных особей-хозяев, N – число исследованных особей хозяев; индекс обилия, рассчитывался по формуле: $M = m / N$, где m – число обнаруженных гельминтов, N – число исследованных особей хозяев. Всю статистическую обработку данных выполняли общепринятыми методами [4].

В ходе гельминтологического анализа у *Rana temporaria* было выявлено, три вида паразитов: *Haplometra cylindracea* (Zeder, 1800) (заражено 70% особей), *Pleurogenes claviger* (Rudolphi, 1819) (50%), *Oswaldocruzia filiformis* (Goeze, 1782) (50%). Самый высокий уровень зараженности был у легочного паразита *Haplometra cylindracea*, общее количество гельминтов достигало 39, а число особей на одну лягушку колебалось от 1 до 11. *Pleurogenes claviger* обнаружены у половины исследованных особей, всего выявили 29 экземпля-

ров по 1–11 паразитов на одну особь. *Oswaldocruzia filiformis* также обнаружен у 50% особей, однако его численность оказалась заметно ниже по сравнению с другими обнаруженными гельминтами. Общее число паразитов этого вида составило 16 экземпляров, а диапазон заражения варьирует в узких пределах – от 1 до 3 гельминтов (табл. 1).

Таблица 1

Состав гельминтофауны и зараженность гельминтами

Rana temporaria

Виды гельминтов	Экстенсивность инвазии, Е, %	Индекс обилия, ИО	Количество гельминтов, мин.-макс. (всего)
<i>Oswaldocruzia filiformis</i>	50	1,6	1–3 (16)
<i>Pleurogenes claviger</i>	50	2,9	1–11 (29)
<i>Haplometra cylindracea</i>	70	3,9	1–11 (39)

Наибольшую среднюю интенсивность инвазии показали особи, заражённые *Haplometra cylindracea* и *Pleurogenes claviger* (0,6). Максимальный индекс обилия зафиксирован у *Haplometra cylindracea* – 3,9, что указывает на широкое распространение вида в популяции травяной лягушки. Напротив, *Oswaldocruzia filiformis* встречался редко, индекс обилия составил 0,1.

Гельминты, несут разнообразные поверхностные антигены, поэтому организм амфибий воспринимает их как чужеродные агенты. В ответ запускаются иммунологические реакции, что отражается на лейкоцитарном составе крови. При инвазии происходит активация лейкоцитов – клеток, обеспечивающих иммунный ответ. Изменения гематологических показателей, особенно лейкоцитарной формулы, выступают адаптивной реакцией организма амфибий на действие паразитарного фактора и направлены на поддержание оптимального уровня жизнедеятельности в условиях инвазии [5].

У особей, обитающих на территории парка, также выявлены изменения лейкоцитарного состава крови. Согласно данным таблицы 2, доля нейтрофилов оставалась в пределах нормы (22–34%), однако организм реагировал на паразитарную инвазию усиленной выработкой юных нейтрофилов: $1,1 \pm 0,31\%$ при норме 0–1%. Кроме того, были обнаружены небольшие отклонения от нормы по базофилам и моноцитам (табл. 2). Хотя, эозинофилы находились в пределах нормативов. Сдвиги в лейкоцитарной формуле могут указывать на активное участие базофилов и моноцитов в иммунных процессах и на активацию моноцитарно-макрофагальной системы в ответ на паразитов. Однако эозинофилы, напротив, заметной роли в борьбе с паразитарной инвазией не сыграли. Это может быть связано с тем, что паразиты меняют направление иммунного ответа. Уровень лимфоцитов остается в пределах нормы, что говорит о стабильной работе иммунной системы и сохранении способности вырабатывать антитела даже при паразитарном заражении. Соотношение гранулоцитов и агранулоцитов также практически оставалось в пределах нормы (табл. 2). Незначительное превышение нормы по гранулоцитам объясняется ростом доли нейтрофилов и базофилов в ответ на инвазию. Баланс между гранулоцитами и агранулоцитами сохраняется, что также указывает на нор-

мальную работу иммунной системы популяции *Rana temporaria* в парке «Берендеевка».

Таблица 2

Лейкоцитарный состав крови *Rana temporaria*

Показатели	X±Sx	Cv (%)	Min–max значения (%)	Условная норма (%)
Нейтрофилы	22,2±0,68	9	20–27	22–34
юные нейтрофилы	1,1±0,31	86	0–3	0–1
палочкоядерные нейтрофилы	2,5±0,27	32	1–4	1–3
сегментноядерные нейтрофилы	18,6±0,5	8	17–21	18–30
Эозинофилы	3,2±0,3	33	2–4	3–10
Базофилы	20,4±0,98	14	17–26	10–20
Моноциты	3,1±0,38	37	1–5	1–3
Лимфоциты	51,3±1,24	7	47–56	40–60
Гранулоциты	45,8±1,15	8	40–51	35–45
Агранулоциты	54,4±1,15	6	50–60	45–65

Таким образом, все отловленные особи травяной лягушки в той или иной степени были поражены паразитами. Одновременно отмечалось некоторое изменение лейкоцитарной формулы у исследованных экземпляров *Rana temporaria*. Полученные данные, отражают влияние гельминтов на состав крови травяной лягушки на территории парка «Берендеевка» города Костромы. Наиболее распространённым и многочисленным оказался *Haplometra cylindracea*. Нами отмечена активация нейтрофилов, базофилов и моноцитов, ответственных за первичный иммунный ответ. При этом уровни лимфоцитов и эозинофилов оставались в пределах нормы. Наблюдаемые изменения отражают успешную адаптацию популяции к паразитарной нагрузке.

Библиографический список

1. Чернышова Э. В., Старостин В. И. Периферическая кровь лягушек рода *Rana* – тест-система для оценки окружающей среды // Известия РАН. Сер. биол. 1994. № 4. С. 656–660.
2. Лабораторные методы исследования в клинике / В. В. Меньшиков, Л. Н. Делектораская, Р. П. Золотницкая и др. М. : Медицина, 1987. 368 с.
3. Скрябин К. И. Метод полных гельминтологических вскрытий позвоночных, включая человека. М. : Изд-во МГУ, 1928. 45 с.
4. Лакин Г. Ф. Биометрия: учебное пособие для биологических специальностей вузов. М. : Высшая школа, 1990. 352 с.
5. Малютина Т. А. Взаимоотношения в системе паразит – хозяин: биохимические и физиологические аспекты адаптации (ретроспективный обзор) // Российский паразитологический журнал. 2008. № 1. С. 24–40.

ВЛИЯНИЕ ЗАСУХОУСТОЙЧИВЫХ БАКТЕРИЙ НА ОНТОГЕНЕЗ ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД *CAENORHABDITIS ELEGANS* И *CAENORHABDITIS BRIGGSÆ*

Т. Б. Калининкова¹, К. А. Сапармырадов², А. В. Егорова¹,
А. Ф. Гатиятуллина¹, М. Д. Фролов², Ш. З. Валидов²

¹ Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан,

г. Казань, Россия, tbkalinnikova@gmail.com,

² Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр
Российской академии наук, г. Казань, Россия

В экспериментах со свободноживущими почвенными нематодами *Caenorhabditis elegans* и *Caenorhabditis briggsae* показано, что интактные бактерии *Streptomyces stramineus* ATM25 подавляют развитие личинок. Вторичные метаболиты *Streptomyces stramineus* ATM25 оказывали токсическое действие на взрослых особей.

Ключевые слова: *Caenorhabditis elegans*, *Caenorhabditis briggsae*, *Streptomyces stramineus* ATM25, вторичные метаболиты бактерий.

Галловые нематоды, обитающие на корнях растений, наносят существенный ущерб растениеводству, повреждая как травянистые культурные растения, так и саженцы плодовых культур [1]. Использование пестицидов для борьбы с почвенными нематодами эффективно, но обладает рядом недостатков. Прежде всего необходимо отметить, что при обработке почвы от нематод применяют гораздо более высокие дозы ядохимикатов, чем при обработке растений от насекомых-вредителей. Это оказывает негативное влияние на агроэкосистему, а возможное накопление пестицидов в растениях может представлять опасность для конечных потребителей продукции растениеводства. В качестве альтернативного метода борьбы с фитопатогенными нематодами предлагается использовать микроорганизмы, которые подавляют развитие нематод, но безопасны для других животных и человека [1–2].

Для тестирования нематоцидов *in vitro* в настоящее время во многих лабораториях в качестве модельного организма используется свободноживущая почвенная нематода *Caenorhabditis elegans*. Маленькие размеры тела взрослых особей (1 мм), высокая плодовитость (до 300 потомков от одной особи), высокая скорость развития (*C. elegans* достигают половой зрелости в течение 2,5–3 суток), удобство и безопасность выращивания в лаборатории [3] позволяют использовать в эксперименте практически неограниченное количество особей одного возраста. Эксперименты с *C. elegans* позволяют изучать действие микроорганизмов как на взрослых нематод, так и на разные стадии онтогенеза [4]. Помимо *C. elegans* в экспериментах нередко используют близкородственный вид нематод – *Caenorhabditis briggsae*. Целью насто-

ящей работы явилось изучение влияния засухоустойчивых штаммов микроорганизмов на онтогенез *C. elegans* и *C. briggsae*.

Штаммы бактерий и их культивирование. Все исследованные штаммы были выделены из ризосферы можжевельника туркменского *Juniperus turcomanica*, произрастающего в горах Туркменистана в окрестностях села Махтымкала. Для определения видовой принадлежности изолятов использовали анализ нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК. Видовая принадлежность штаммов приведена в таблице 1.

Таблица 1

Видовая принадлежность штаммов бактерий

Штамм	Видовая принадлежность
АТМ4	<i>Streptomyces plumbiresistens</i>
АТМ5	<i>Streptomyces koelreuteriae</i>
АТМ7	<i>Streptomyces</i> sp.
АТМ25	<i>Streptomyces stramineus</i>

Экстракция вторичных метаболитов. Штамм АТМ25 культивировали в жидкой среде Гаузе № 1 в течение 14 суток при температуре 28 °С на термошейкере с интенсивностью вращения 180 об/мин. Экстракцию вторичных метаболитов проводили путем добавления к культуральной жидкости смеси хлороформ–этилацетат (1:1) в равном объемном соотношении с последующей инкубацией в течение 6 ч при перемешивании (180 об/мин). Для отделения клеток культуральную жидкость центрифугировали при 5000 об/мин. Полученный экстракт замораживали при температуре –80 °С. После этого образцы высушивали в течение 72 ч с помощью лиофилизатора Martin Christ Alpha 2-4 LDplus (Christ, Frankfurt am Main, Germany) при температуре –50 °С и давлении 5 Па.

Линии нематод и их выращивание. В работе использовали лабораторные линии дикого типа: *C. elegans* линии N2 и *C. briggsae* линии AF16. Линии нематод предоставлены Caenorhabditis Genetics Center. Для выращивания нематод использовали стандартную среду, засеянную *E. coli* OP50 в качестве источника питания [5]. Нематод выращивали при 22 °С в стеклянных чашках Петри диаметром 100 мм.

Оценка влияния бактерий на онтогенез нематод. Для оценки влияния бактерий на развитие и рост нематод исследуемые штаммы высевали в чашки Петри со средой выращивания нематод и культивировали в течение 24 ч при 30 °С. Стерильные яйца нематод [6] носили в чашки Петри с исследуемыми бактериями и культивировали при 22 °С. В качестве контроля использовали культуры нематод, росшие на *E. coli* OP50. За развитием наблюдали в течение 7 дней с использованием панкратического микроскопа Saike Digital SK2500TH2.

Оценка токсичности вторичных метаболитов бактерий. Эксперименты проводили при 22 °С в М9 буфере [5] с 2–3-дневными нематодами, синхронизированными по возрасту [6]. Для каждого эксперимента нематод трижды отмывали от среды выращивания, бактерий и экзометаболических

М9 буфера. После этого нематод рассаживали по 50 особей в стеклянные центрифужные пробирки объемом 10 мл, куда добавляли свежий М9 буфер и вторичные метаболиты бактерий до конечного объема 1 мл. Раствор вторичных метаболитов готовили непосредственно перед экспериментом. Через 24 и 48 ч подсчитывали количество погибших нематод. Погибшими считали нематод, у которых отсутствовала как спонтанная локомоция, так и реакция на механический стимул. Все исследования выполняли в четырех повторностях, а результаты обрабатывали в соответствии с требованиями международных стандартов.

Наблюдение за культурами *C. elegans* и *C. briggsae*, выращиваемыми на разных штаммах бактерий, выявило различия в действии микроорганизмов на развитие нематод. Культуры, выращиваемые на бактериях АТМ4 и АТМ5, по скорости появления личинок и достижения половой зрелости не отличались от культур, росших на *E.coli* OP50. В этих культурах уже на третий день появлялись личинки. Бактерии АТМ7 не оказывали негативного влияния на нематод обоих видов. Более того, отмечалась стимуляция развития, и уже на третий день в культурах было большое количество молодых половозрелых особей. Особо следует отметить бактерии АТМ25, которые подавляли развитие нематод обоих видов. На третий день выращивания в культурах как *C. elegans*, так и *C. briggsae*, присутствовали лишь единичные личинки, большинство из них были погибшие. К седьмому дню наблюдений в культурах обоих видов, выращиваемых на АТМ25, не было живых нематод.

Бактерии штамма АТМ25 оказывали сильное негативное действие на личинок *C. elegans* и *C. briggsae*, подавляя их развитие. Поэтому в следующей серии экспериментов мы исследовали токсичность вторичных метаболитов бактерий АТМ25 для взрослых нематод *C. elegans* и *C. briggsae*.

Вторичные метаболиты бактерий штамма АТМ25 в диапазоне концентраций 31,2–500 мг/мл не вызывали гибели нематод за 24 ч. При концентрации вторичных метаболитов 5 мг/мл за 24 ч погибали 20% *C. elegans* и 17% *C. briggsae*. Более длительная (48 ч) экспозиция нематод к вторичным метаболитам в диапазоне концентраций 31,2 мкг/мл–5 мг/мл приводила к гибели 45–100% *C. elegans* и 70–100% *C. briggsae* (табл. 2).

Таблица 2

Влияние вторичных метаболитов *Streptomyces stramineus* АТМ25 на выживаемость *Caenorhabditis elegans* и *Caenorhabditis briggsae*

Вид нематод	Концентрация вторичных метаболитов бактерий АТМ25, мкг/мл					
	5000	500	250	125	62,5	31,2
	Доля нематод, погибших за 48 ч, %					
<i>C. elegans</i>	100	78±4	66±5	57±5	48±5	45±5
<i>C. briggsae</i>	100	100	96±2	86±3	82±4	70±4

В целом результаты этого исследования свидетельствуют о том, что бактерии *Streptomyces stramineus* АТМ25 продуцируют вторичные метаболиты, обладающие нематоцидной активностью. Идентификация этих метаболитов позволит разработать эффективные и безопасные средства защиты расте-

ний от фитопаразитических нематод. В дальнейшем эти средства могут быть использованы для борьбы с фитонематодами в открытом грунте и в тепличных хозяйствах, а также для снижения потерь урожая при хранении.

Библиографический список

1. Migunova V. D., Sasanelli N. Bacteria as biocontrol tool against phytoparasitic nematodes. DOI: 10.3390/plants10020389 // Plants. 2021. Vol. 10. Article No. 389.
2. In vitro evaluation of some isolated bacteria against the plant parasitic nematode *Meloidogyne incognita* / G. M. Soliman, H. H. Ameen, S. M. Abdel-Aziz, G. M. El-Sayed. DOI: 10.1186/s42269-019-0200-0 // Bulletin of the National Research Center. 2019. Vol. 43. P. 2–7.
3. Corsi A. K., Wightman B., Chalfie M. A Transparent window into biology: A primer on *Caenorhabditis elegans*. DOI: 10.1534/genetics.115.176099 // Genetics. 2015. Vol. 200. No. 2. P. 387–407.
4. Couillault C., Ewbank J. J. Diverse bacteria are pathogens of *Caenorhabditis elegans*. DOI: 10.1128/IAI.70.8.4705–4707.2002 // Infection and Immunity. 2002. Vol. 70. P. 4705–4707.
5. Brenner S. The genetics of *Caenorhabditis elegans*. DOI: 10.1093/genetics/77.1.71 // Genetics. 1974. Vol. 77. P. 71–94.
6. Basic *Caenorhabditis elegans* methods: synchronization and observation / M. Porta-de-la-Riva, L. Fontrodona, A. Villanueva, J. Cerón. DOI: 10.3791/4019 // J. Viz. Exp. 2012. No. 64. Article No. e4019.

ПРИМЕНЕНИЕ IBRV2 И IBR-T В ОТНОШЕНИИ БИОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЦЕТИЛХОЛИНЭСТЕРАЗЫ ПРИ РЕВЕРСИИ УСТОЙЧИВОСТИ КОМНАТНОЙ МУХИ К ДЕЛЬТАМЕТРИНУ

А. Г. Кинарейкина, Е. А. Силиванова

*Всероссийский научно-исследовательский институт
ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал ТюмНЦ СО РАН,
г. Тюмень, Россия, kinareickina@yandex.ru, sylivanovaea@mail.ru*

Для оценки динамики биомаркеров при реверсии устойчивости *Musca domestica* L. к дельтаметрину были применены интегральные индексы IBRV2 и IBR-T на основе биохимических характеристик ацетилхолинэстеразы. Отмена инсектицидного воздействия привела к уменьшению величины индексов. Отмечены значимые сильные положительные связи между индексами и полуметальной концентрацией дельтаметрина.

Ключевые слова: комнатная муха, ацетилхолинэстераза, инсектицидная устойчивость, биомаркер, IBRV2, IBR-T.

Для оценки ответа биологической системы на воздействие неблагоприятных факторов, включая инсектициды, применяют различные биомаркеры [1]. Определение включает биологические характеристики, которые могут быть объективно измерены и оценены как индикатор нормальных и патоло-

гических биологических процессов [2]. Например, изменение активности ацетилхолинэстеразы используется в качестве биомаркера воздействия отдельных групп пестицидов в экотоксикологии [3, 4, 5], а также при изучении механизмов инсектицидной устойчивости [6, 7]. Ацетилхолинэстераза (AChE; ЕС 3.1.1.7) относится к α/β -гидролазам, расщепляющим эфиры ацетилхолина [8] до холина и ацетата в холинергических синапсах [5]. Активность AChE служит для прекращения синаптической передачи в нервных окончаниях [2]. Белок непосредственно не относится к ферментам детоксикации инсектицидов, однако органофосфатные и карбаматные соединения являются специфическими ингибиторами фермента [2, 5, 8]. Указанные инсектициды связываются с каталитическим участком эстеразы с различной аффинностью, приводя к фосфорилированию или карбамоилированию фермента, соответственно [2], тем самым ингибируя его и вызывая накопление нейромедиатора в синапсах [9], что приводит к гибели насекомого [5].

Для интегрирования всех изменений биомаркеров в единый индекс при сравнении отдельных особей, популяций, поколений в больших географических и временных масштабах Sanchez W. с соавт. (2013) предложили вариант индекса IBRv2 (Integrated biomarker response version 2, IBRv2, Интегрированный ответ биомаркеров версия 2), которой основан на отклонении ответов биомаркеров от референтной группы. Однако IBRv2 имеет некоторые недостатки [10], в том числе и то, что результаты расчета не могут быть использованы в статистическом анализе, поскольку являются усреднёнными и единичными для каждой экспериментальной группы [1, 10]. Поэтому были предложены последующие вариации индекса, включая IBR-T, описанный в работе [10]. Отличие IBR-T состоит в том, что вводятся пороговые значения для биомаркеров на основе референтной группы (95% доверительный интервал) для исключения незначимых биологических колебаний [10].

Настоящее исследование направлено на апробацию индексов IBRv2 и IBR-T, интегрирующих биохимические характеристики ацетилхолинэстеразы, при изучении реверсии устойчивости *Musca domestica* L. к дельтаметрину на примере природной популяции Nik.

Объектом исследования выступали имаго *Musca domestica* L. Природная популяция Nik была собрана в 2023 г на территории с. Никулино Сладковского округа Тюменской области. В качестве высокочувствительной референтной группы были использованы имаго лабораторной линии Lab TY. Все линии содержались в инсектариях ВНИИВЭА – филиала ТюмНЦ СО РАН без контакта с инсектицидами. Для отслеживания реверсии устойчивости у имаго четырёх поколения Nik (F3, F11, F15, F19) и Lab TY проанализированы полулетальные концентрации дельтаметрина (табл. 1) в соответствии с рекомендациями [11].

Таблица 1

**Токсичность пиретроида дельтаметрина (Дельцид, 4%)
для имаго лабораторной (Lab TY) и природной популяций (Nik)
Musca domestica L.**

Параметр	Популяция				
	Lab TY	Nik F3	Nik F11	Nik F15	Nik F19
♀					
ЛК50	<u>2,08</u>	<u>38,80</u>	<u>14,88</u>	<u>14,62</u>	<u>5,71</u>
CI, 95%, мкг д.в./г сахара	1,29–3,33	25,42–59,22*	9,33–23,74*§	9,15–23,38§	3,81–8,55§
ПР	–	18,7	7,2	7,0	2,7
♂					
ЛК50	<u>1,00</u>	<u>46,79</u>	<u>14,66</u>	<u>16,96</u>	<u>6,73</u>
CI, 95%, мкг д.в./г сахара	0,69–1,47	25,42–59,23*	9,35–22,98*§	12,37–23,27*§	4,04–11,22*§
ПР	–	46,6	14,6	16,9	6,7

Примечание: ЛК50 – концентрация инсектицида, при которой погибает 50% насекомых; CI, 95% – 95% доверительный интервал; ПР – показатель резистентности, рассчитан как отношение ЛК50 исследуемой линии к ЛК50 чувствительной линии (Lab TY); * – отличия статистически значимы по сравнению с аналогичным показателем линии Lab TY, $p < 0,05$; § – отличия статистически значимы по сравнению с аналогичным показателем природной популяции Nik F3, $p < 0,05$. Прочерк означает отсутствие данных.

Также у имаго исследованных культур были определены удельная активность, V_{max} , K_m ацетилхолинэстеразы [12]. На основе результатов биохимических исследований AChE были рассчитаны индексы IBRv2 и IBR-T (табл. 2) в соответствии с методиками, описанными в первоисточниках [10, 13].

Таблица 2

**IBRv2 и IBR-T для нескольких поколений имаго *Musca domestica* L.
природной популяции (Nik) после отмены воздействия пиретроидами**

Индекс	Пол	Поколения популяции Nik			
		F3	F11	F15	F19
IBRv2	♀	3,36	2,88	2,99	1,34
	♂	2,70	2,39	1,65	0,37
IBR-T	♀	1,12	1,41	1,00	0,45
	♂	0,90	0,80	0,55	0,11

Из проанализированной литературы следует, что значение интегрированного индекса отражает степень пестицидной нагрузки или загрязнения. Например, в исследованиях в отношении пчел *Apis mellifera* L. [14] и *Osmia bicornis* L. [15] показано увеличение значений IBRv2 при повышении концентрации и длительности воздействия пестицидов. В результате апробации индекса IBR-T на мониторинговых данных по речному двустворчатому моллюску *Dreissena polymorpha* Catteau A. и соавт. (2023) пришли к выводу, что IBR-T более экологически значим, чем IBRv2, т.к. изменение IBR-T более точно отражал колебания степени загрязнения – увеличение индекса лучше

коррелировало с увеличением степени загрязнения воды. Расчёт индексов, выполненный в ходе текущей работы, показал ожидаемое снижение обоих вариантов IBR у имаго после отмены пестицидного воздействия. К поколению F19 значение IBRv2 снизилось у самок в 2,5 раза и у самцов в 7,3 раза по сравнению с F3. IBR-T также снижался у самок (в 2,5 раза) и самцов (в 8,2) к F19 по сравнению с F3.

Исходя из анализа корреляций Спирмена как у самок, так и у самцов, обнаружены значимые ($p < 0,05$) сильные положительные связи (0,9) между ЛК50 дельтаметрина и обоими индексами (IBRv2, IBR-T).

Таким образом, в текущей работе показано, что при реверсии устойчивости к дельтаметрину (снижении ЛК50) линейно снижаются IBRv2 и IBR-T, рассчитанные на основе биохимических характеристиках ацетилхолинэстеразы. Наличие линейных зависимостей между индексами и ЛК50 насекомых свидетельствует о полезности применения интегральных индексов в качестве инструментов отслеживания динамики изменения степени устойчивости *M. domestica* L.

Работа выполнена Всероссийским научно-исследовательским институтом ветеринарной энтомологии и арахнологии ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2025-0001).

Библиографический список

1. Mattos J. J., Siebert M. N., Bainy A. C. D. Integrated biomarker responses: a further improvement of IBR and IBRv2 indexes to preserve data variability in statistical analyses. DOI: 10.1007/s11356-023-31255-4 // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2024. Vol. 31. No. 1. P. 871–881.
2. Acetylcholinesterase as a biomarker in environmental and occupational medicine: new insights and future perspectives / M. G. Lionetto, R. Caricato, A. Calisi, et al. DOI: 10.1155/2013/321213 // Biomed. Res. Int. 2013. Vol. 2013. Article No. 321213.
3. Binary combinations of organophosphorus and synthetic pyrethroids are more potent acetylcholinesterase inhibitors than organophosphorus and carbamate mixtures: An in vitro assessment / S. Arora, S. Balotra, G. Pandey, A. Kumar. DOI: 10.1016/j.toxlet.2016.12.009 // Toxicol. Lett. 2017. Vol. 268. P. 8–16.
4. Badiou A., Meled M., Belzunces L. P. Honeybee *Apis mellifera* acetylcholinesterase – A biomarker to detect deltamethrin exposure. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2006.11.020 // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2008. Vol. 69. No. 2. P. 246–253.
5. Exposure to organophosphate insecticides induces behavioral changes and acetylcholinesterase inhibition in *Apis mellifera* / L. Ayoub, M. Yaqoob, R. H. Kanth, et al. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.117279 // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2024. Vol. 287. Article No. 117279.
6. Khan H. A. A., Akram W., Iqbal N. Selection and preliminary mechanism of resistance to profenofos in a field strain of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) from Pakistan. DOI: 10.1093/jme/tjv095 // J. Med. Entomol. 2015. Vol. 52. No. 5. P. 1013–1017.
7. Toxicological and biochemical characterizations of AChE in phosalone-susceptible and resistant populations of the common pistachio psyllid, *Agonoscena pistaciae* / A. Alizadeh, K. Talebi-Jahromi, V. Hosseiniaveh, M. Ghadamyari. DOI: 10.1093/jis/14.1.18 // J. Insect Sci. 2014. Vol. 5. P. 14–18.

8. Propoxur resistance associated with insensitivity of acetylcholinesterase (AChE) in the housefly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) / C. You, C. Shan, J. Xin, et al. DOI: 10.1038/s41598-020-65242-3 // Sci. Rep. 2020. Vol. 10. Article No. 8400.
9. Novel and viable acetylcholinesterase target site for developing effective and environmentally safe insecticides / Y. P. Pang, S. Brimijoin, D. W. Ragsdale, et al. DOI: 10.2174/138945012799499703 // Curr. Drug Targets. 2012. Vol. 13. No. 4. P. 471–482.
10. Integrative biomarker response – Threshold (IBR-T): Refinement of IBRv2 to consider the reference and threshold values of biomarkers / A. Catteau, A. Le Guernic, M. Palos Ladeiro, et al. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118049 // J. Environ. Manage. 2023. Vol. 341. Article No. 118049.
11. Руководство Р 4.2.3676-20. Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности. Утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 18.12.2020 г.
12. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity / G. L. Ellman, K. D. Courtney, V. Jr. Andres, R. M. Feather-Stone. DOI: 10.1016/0006-2952(61)90145-9 // Biochem. Pharmacol. 1961. Vol. 7. P. 88–95.
13. Sanchez W., Burgeot T., Porcher J. M. A novel «Integrated Biomarker Response» calculation based on reference deviation concept. DOI: 10.1007/s11356-012-1359-1 // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2013. Vol. 20. No. 5. P. 2721–2725.
14. First application of an Integrated Biological Response index to assess the ecotoxicological status of honeybees from rural and urban areas / I. Caliani, T. Campani, B. Conti, et al. DOI: 10.1007/s11356-021-14037-8 // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2021. Vol. 28. No. 34. P. 47418–47428.
15. Biochemical responses, feeding and survival in the solitary bee *Osmia bicornis* following exposure to an insecticide and a fungicide alone and in combination / C. A. H. Martins, I. Caliani, A. D'Agostino, et al. DOI: 10.1007/s11356-022-24061-x // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2023. Vol. 30. No. 10. P. 27636–27649.

ВСТРЕЧИ РЕДКИХ ВИДОВ ПТИЦ В ЗАПОВЕДНИКЕ «НУРГУШ» В 2024–2025 ГОДАХ

С. В. Кондрухова, Г. А. Борняков, С. В. Бакка
ФГБУ «Государственный заповедник «Нургуш»,
г. Киров, Россия, zapovednik@nurgush.org

В заповеднике «Нургуш», включающего в себя участки «Нургуш» и «Тулашор», за период 1995–2025 гг. было зарегистрировано 227 видов птиц. Из них 41 вид занесен в Красную книгу Российской Федерации и Красную книгу Кировской области. В публикации представлены материалы о встречах данной категории птиц, а также редких и малочисленных для территории заповедника видов.

Ключевые слова: заповедник, Нургуш, Красная книга, птицы, редкий вид.

Заповедникам отводится одно из центральных мест в системе мероприятий по охране и мониторингу популяций редких и находящихся под угрозой

исчезновения видов. Заповедник «Нургуш» включает в себя два участка – «Нургуш» в Котельничском и «Тулашор» в Нагорском районах Кировской области. Его территория является важнейшим резерватом для значительного числа редких и охраняемых видов животных.

За весь период исследований (1995–2025 гг.) в заповеднике и его окрестностях было зарегистрировано 227 видов птиц из 18 отрядов и 48 семейств. Из них 41 вид (18%) занесен в Красную книгу Российской Федерации (ККРФ) [1] и Красную книгу Кировской области (КККО) [2], что составляет 86% от числа видов птиц, занесенных в региональную Красную книгу.

Далее представлены сведения о встречах данной категории птиц, а также редких и малочисленных для территории заповедника и его окрестностей видах, собранные в 2024–2025 гг.

Серая куропатка *Perdix perdix*. Очень редкий зимующий (кочующий) вид участка «Нургуш», внесен в приложение 2 к КККО. В марте 2000 г. была известна единственная встреча стайки из 15 птиц на сопредельной с заповедником территории [3]. В 2025 г. 10 особей наблюдали 04.03 в охранной зоне заповедника на берегу р. Вятки неподалёку оз. Дубовое. Птицы держались на обрывистом берегу реки возле обнажившейся из-под снега земли.

Перепел *Coturnix coturnix*. Малочисленный гнездящийся вид участка «Нургуш». До 2000-х годов перепел был обычен на сельхозугодьях в окрестностях с. Боровка [3]. В последующие годы встречи стали редки. В 2024–2025 гг. токующие самцы отмечены 08 и 26.06 в пойменных лугах на берегу оз. Старица и 25.06 на залежи возле п. Разлив.

Лебедь-кликун *Cygnus cygnus*. Малочисленный пролетный вид, занесен в КККО (категория IV). На участке «Нургуш» в 2025 г. стайка из 10 птиц наблюдалась 27.05 и одиночная особь 23.10 на оз. Кривое. Кроме того, госинспекторами заповедника в апреле–мае 2025 г. на оз. Нургуш, р. Вятке в урочищах Холщовик и Молчальник были зарегистрированы встречи одиночной особи и группы (6 и 8 особей) не определенных до вида лебедей. Это могли быть как лебеди-кликуны, так и лебеди-шипунуны, также занесенные в КККО (категория IV).

Большой баклан *Phalacrocorax carbo*. Очень редкий залетный вид участка «Нургуш». Впервые большой баклан был встречен в заповеднике 20.05.2021 г. на оз. Кривое [3]. В 2025 г. одиночная птица наблюдалась 15.05 и 12.09 на р. Вятке в ур. Черная Ласка [4].

Чомга *Podiceps cristatus*. Редкий, возможно, гнездящийся вид участка «Нургуш», занесен в КККО (категория V). В 2025 г. одиночная птица была встречена 07.09 в охранной зоне заповедника на оз. Старица.

Дербник *Falco columbarius*. Редкий, нерегулярно гнездящийся вид участка «Тулашор». На участке «Нургуш» впервые был зарегистрирован 18.05.2024 г. в окрестностях заповедника. Пролетающую птицу наблюдали на окраине с. Боровка.

Скопа *Pandion haliaetus*. Редкий вид, возможно, гнездящийся в окрестностях участка «Нургуш», занесен в ККРФ (категория 3) и КККО (категория

II). Одинокных особей наблюдали 15–17.05.2024 г. и 09, 27.05.2025 гг. на озерах Старица, Кривое, Нургуш, 12, 14.09.2025 г. на р. Вятке.

Орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla*. Обычный гнездящийся, в отдельные годы зимующий вид участка «Нургуш», занесен в ККРФ (категория 5) и КККО (категория I). В гнездовое время 2024–2025 гг. его чаще всего отмечали на озерах Нургуш, Кривое; в ур. Прудыща, Холщовик, Лаптевские покосы; на р. Вятка у истоков озер Пыжики и Нургуш. Отмечали отдельных особей и пары, реже 3 особи. Наряду с взрослыми наблюдали молодых птиц и птенцов. На участке «Тулашор» орлан впервые зарегистрирован 04.05.2024 г. Пролетающая взрослая птица встречена на р. Федоровка возле бывшего п. Тулашор.

Болотный лунь *Circus aeruginosus*. Малочисленный гнездящийся вид, занесен в КККО (категория V). В 2024 г. на участке «Нургуш» одиночных особей наблюдали 25.04, 08.06 и 30.08 в пойменных лугах по берегам оз. Старица.

Большой подорлик *Aquila clanga*. Редкий гнездящийся вид, занесен в ККРФ (категория 2) и КККО (категория II). В 2025 г. большого подорлика наблюдали 10.09 в окрестностях участка «Нургуш» возле с. Боровка. Птица кружила над зарастающей залежью и автомобильной трассой.

Водяной пастушок *Rallus aquaticus*. Очень редкий, возможно, нерегулярно гнездящийся вид участка «Нургуш», занесен в КККО (категория III). Ранее была известна единственная встреча водяного пастушка 19.06.2011 г. в пойме р. Боровка близ с. Боровка [3]. В 2025 г. двух птиц слышали 17.05 в пойме этой же речки неподалёку от п. Разлив.

Кулик-сорока *Haematopus ostralegus*. Обычный гнездящийся вид, занесен в ККРФ (категория 3) и КККО (категория III). В 2024–2025 гг. встречался на участке «Нургуш» преимущественно по берегам р. Вятки, а также на озерах Нургуш, Старица, Черное. Летний показатель численности на р. Вятке в 2024 г. составил 2,5 ос./10 км, в 2025 г. – 1,9 ос./10 км маршрута.

Средний кроншнеп *Numenius phaeopus*. Малочисленный гнездящийся вид участка «Тулашор». Гнездится на крупных верховых болотах сопредельной территории. На весеннем пролете отмечается в охранной зоне заповедника [3]. На участке «Нургуш» впервые был зарегистрирован 15.05.2024 г. на оз. Старица возле п. Разлив. Две птицы пролетели над озером в сторону р. Вятки.

Малая крачка *Sterna albifrons*. Обычный гнездящийся вид участка «Нургуш», занесен в ККРФ (категория 2) и КККО (категория III). В 2024–2025 гг. встречалась на участке «Нургуш» преимущественно по берегам р. Вятки, а также на озерах Нургуш и Кривое. Летний показатель численности на р. Вятке в 2024 г. составил 2,5 ос./10 км, в 2025 г. – 2,1 ос./10 км маршрута.

Серая неясыть *Strix aluco*. Малочисленный гнездящийся вид участка «Нургуш», занесен в КККО (категория II). В 2024 г. вокализация серой неясыти регистрировалась преимущественно в сентябре (04, 22, 24.09) в окрестностях кордона на оз. Нургуш. В 2025 г. голоса самцов и самок, визуальные встречи отмечали с мая по октябрь в 102, 103, 104 кв. заповедника. Возле

кордона на оз. Нургуш 26.09 наблюдали одновременно три самца и одна самка. Птицы активно откликались на фонограмму голоса, подлетали к источнику звука.

Бородатая неясыть *Strix nebulosa*. Редкий гнездящийся вид участка «Тулашор», занесен в КККО (категория III). Визуальные встречи взрослых особей, их вокализация регистрировались возле бывшего п. Тулашор и в ур. Пожмашор в 2018, 2021, 2023 гг. [3]. В 2024 г. было доказано гнездование бородатой неясыти в окрестностях ур. Пожмашор: 18.07.2024 г. по голосу зарегистрирован один птенец. В 2025 г. на гнездовом участке 29.08 по вокализации было выявлено присутствие пары бородатых неясытей.

Удод *Uripa erops*. Очень редкий залетный вид окрестностей участка «Нургуш», занесен в КККО (категория III). Впервые удод был зарегистрирован 16.05.2018 г. в с. Боровка [3]. Вторая встреча произошла 12.04.2025 г. в п. Разлив.

Пёстрый дрозд *Zoothera varia*. Редкий гнездящийся вид участка «Тулашор». В разные годы регистрировали от 1 до 6 токующих самцов, плотность гнездования составляет 0,7 пар/км² [3]. В 2024 г. одного поющего самца наблюдали 8.06 в окрестностях ур. Пожмашор.

Горихвостка-чернушка *Phoenicurus ochruros*. Обычный гнездящийся вид окрестностей заповедника, занесен в КККО (категория III). Впервые поющий самец был обнаружен в с. Боровка в 2020 г., в 2021, 2022 гг. подтверждено гнездование [5–7]. В последующие годы вид стал активно расселяться и регулярно гнездиться в границах населенного пункта. В 2024–2025 гг. здесь наблюдали взрослых птиц, слетков, найдены гнезда с кладками и птенцами. На участке «Тулашор» горихвостка-чернушка впервые обнаружена в 2023 г. Токующий самец встречен 18.07.2023 г. на территории п. Бажелка. В 2025 г. горихвостка-чернушка отмечена в этом же поселке 09.10.

Соловьиный сверчок *Locustella luscinioides*. Очень редкий, возможно, гнездящийся вид участка «Нургуш». Впервые два поющих самца были зарегистрированы 10 и 11.05.2023 г. в охранной зоне на оз. Калеичи [8]. В 2025 г. поющий самец встречен 11.07 в самом заповеднике на оз. Кривое.

Ястребиная славка *Sylvia nisoria*. Очень редкий гнездящийся вид участка «Нургуш». Ранее была известна единственная встреча ястребиной славки в 1988 г. в окрестностях заповедника возле с. Вишкиль [3]. В 2025 г. пара птиц была встречена 26.06 в охранной зоне заповедника на берегу оз. Старица. Самка держалась в зарослях шиповника, а самец совершал токовые полеты над гнездовым участком.

Обыкновенный ремез *Remiz pendulinus*. Очень редкий, возможно, гнездящийся вид, внесен в приложение 2 к КККО. Пара ремезов, строящих гнездо, была обнаружена 24.04.2025 г. в окрестностях с. Боровка. Это гнездо птицы, к сожалению, не достроили и бросили. Вероятная причина – похолодание, наступившее 27.04.2025 г., сопровождавшееся минусовыми температурами с осадками в виде снега.

Серый сорокопут *Lanius excubitor*. Редкий пролетный вид, занесен в КККО (категория III). В 2024–2025 гг. одиночных особей наблюдали в августе–октябре в окрестностях участка «Нургуш» возле деревень Морозовы и Поздняки.

Кукша *Perisoreus infaustus*. Редкий гнездящийся вид участка «Тулашор», внесен в приложение 2 к КККО. Встречается в заповеднике единично, но регулярно. В 2025 г. выводок кукши (пара взрослых и не менее 2 молодых особей) держался на территории заповедника 20–24.07 возле кордона Пожмашор.

Дубровник *Ocyris aureolus*. Редкий гнездящийся вид участка «Нургуш», занесен в ККРФ (категория 2). В 1995–2000 гг. дубровник регулярно встречался в пойменных лугах р. Вятки, по луговым участкам р. Прость, озер Нургуш, Старица, Холщовик. Летом наблюдали одиночных особей, пары и группы по 3–6 особей [3]. В июне 2024 г. обилие дубровника в пойме р. Вятки составляло 6 пар/км маршрута, а в 2025 г. – 22 пары/км².

Овсянка-ремез *Ocyris rusticus*. Малочисленный гнездящийся вид, занесен в ККРФ (категория 2). На участке «Тулашор» доля овсянки-ремеза в составе птичьего населения тайги составляет 0,5%, а плотность гнездования – 3,6 (1,2–6,1) пар/км² [3]. В 2024 г. в ур. Пожмашор 22.07 были встречены слетки этого вида.

Библиографический список

1. Красная книга Российской Федерации. Животные. М. : ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. 1128 с.
2. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.
3. Позвоночные животные заповедника «Нургуш» / С. В. Кондрухова, С. В. Бакка, Е. В. Рогожникова, Н. Ю. Киселева // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Т. 7. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2023. 200 с.
4. Орнитологические новости из Кировской области / В. Н. Сотников, И. А. Степанов, Д. С. Анисимов и др. // Русский орнитологический журнал. 2025. Т. 34. № 2577. С. 4337–4352.
5. Кондрухова С. В. Гнездование горихвостки-чернушки *Phoenicurus ochruros* в окрестностях заповедника «Нургуш» (Кировская область) // Русский орнитологический журнал. 2020. Т. 29. № 2000. С. 5475–5477.
6. Горихвостка-чернушка *Phoenicurus ochruros* в Кировской области / В. Н. Сотников, С. Ф. Акуликин, Л. В. Батина и др. // Русский орнитологический журнал. 2021. Т. 30. № 2106. С. 4011–4018.
7. Дополнительные сведения о птицах Кировской области / В. Н. Сотников, И. А. Степанов, Е. А. Вотинцева и др. // Русский орнитологический журнал. 2023. Т. 32. № 2262. С. 57–87.
8. Орнитологические новости из Кировской области / В. Н. Сотников, Е. А. Вотинцева, С. В. Вотинцев и др. // Русский орнитологический журнал. 2023. Т. 32. № 2357. С. 4775–4790.

СОСТАВ МАКРОЗООБЕНТОСА ПОЙМЕННЫХ ОЗЁР ЗАПОВЕДНИКА «НУРГУШ» С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЗАРАСТАНИЯ

Т. И. Кочурова¹, Т. И. Кутявина², Т. Г. Шихова³

¹ Государственный природный заповедник «Нургуш»,
г. Киров, Россия, kochurovati@mail.ru,

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

³ ФГБНУ ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства
имени профессора Б. М. Житкова,
г. Киров, Россия, biota.vniioz@mail.ru

Приведены данные о таксономическом составе макрозообентоса (94 таксона видового и надвидового рангов) четырёх озёр-стариц заповедника «Нургуш» (бассейн р. Вятки), находящихся на разных стадиях сукцессионного ряда зарастания пойменных водоёмов. Отмечено снижение таксономического богатства по мере увеличения степени зарастания озёр, изменение индекса сапробности от β -мезосапробных до α -мезосапробных значений. На глубоких участках крупных озёр даже в условиях интенсивного развития прибрежно-водной растительности сохранялись более благоприятные условия для гидробионтов.

Ключевые слова: макрозообентос, таксономическое богатство, сапробность, пойменные озёра, заповедник «Нургуш».

В последние десятилетия во многих регионах отмечается усиление процесса деградации пойменных озёр-стариц. Он выражается в первую очередь в активизации процессов зарастания и ускорении илонакопления под влиянием комплекса причин природного и антропогенного характера, в том числе потепления климата, прекращения выпаса скота и др. [1]. В связи с этим возрастает актуальность мониторинга пойменных озёр государственного заповедника «Нургуш» (бассейн р. Вятки), являющихся важным компонентом его природных ландшафтов.

В августе 2025 г. на четырёх водных объектах участка «Нургуш» проводили исследования зообентоса – важной составной части озёрных экосистем и хорошего биоиндикатора их состояния. Изучали донные сообщества старичных озёр: Нургуш, Кривое, Нёфедово, Калеичи. Выраженность степени зарастания в этом ряду увеличивалась от относительно молодого и крупного оз. Нургуш к наиболее старому и небольшому оз. Калеичи. Цель данной работы – изучение таксономического состава макрозообентоса заповедных пойменных озёр, находящихся на разных стадиях сукцессионного ряда зарастания.

Пробоотбор зообентоса осуществляли гидробиологическим скребком по стандартным методикам [2]. Количественные пробы отбирали на донных

грунтах в литоральной зоне с площади 1/20 м², качественные – в зарослях прибрежно-водной растительности. Пробы промывали на сите из мельничного газа № 23 и фиксировали 70%-ным этиловым спиртом. Для идентификации организмов использовали определители [3–7]. Одновременно был выполнен отбор проб воды для физико-химического анализа. На основе определения таксономического состава зообентоса рассчитаны индексы: биотический Вудивисса [2, 7], сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека [7].

Результаты определения таксономического состава гидробионтов представлены в таблице. Данный перечень не содержит сведений о видовом составе и встречаемости моллюсков, т. к. они опубликованы ранее [8] и приведены в отдельной статье настоящего сборника.

Таблица

Таксономический состав и встречаемость макрозообентоса пойменных озёр заповедника «Нургуш» (2025 г.)

Таксон	Озера			
	Нургуш	Кривое	Нефёдово	Калеичи
1	2	3	4	5
Тип Porifera – Губки				
сем. Spongillidae n.det.	+	+	–	–
Тип Cnidaria – Кnidарии				
<i>Hydra</i> sp.	++	++	++	–
Тип Nematoda – Нематоды				
Nematoda n.det.	++	+++	++	++
Тип Annelida – Кольчатые черви				
п/класс Oligochaeta sp.	+++	+++	+++	+++
сем. Naididae sp.	++	++	++	–
<i>Chaetogaster</i> sp.	++	++	–	++
<i>Ophidonais serpentina</i> Müller, 1774	+	++	–	–
<i>Stylaria lacustris</i> Linnaeus, 1767	+++	++	+	–
<i>Ripistes parasita</i> Schmidt, 1847	+++	++	–	–
<i>Dero</i> sp.	–	–	++	++
сем. Tubificidae sp.	+++	+++	–	–
<i>Tubifex ignotus</i> Stolc, 1886	++	–	–	–
<i>Tubifex newaensis</i> Michaelsen, 1902	+	–	–	–
сем. Enchytraeidae n.det.	–	–	++	–
п/кл. Hirudinea				
сем. Glossiphoniidae sp. (juv.)	++	+	–	+
<i>Batracobdella paludosa</i> Carena, 1824	–	–	+	–
<i>Helobdella stagnalis</i> Linnaeus, 1758	++	++	–	–
<i>Hemiclepsis marginata</i> Müller, 1774	+	–	–	–
<i>Theromyzon tessulatum</i> Müller, 1774	+	+	–	–
сем. Erpobdellidae				
<i>Erpobdella</i> sp.	++	–	–	–

1	2	3	4	5
Тип Bryozoa – Мшанки				
сем. Paludicellidae				
<i>Paludicella articulata</i> Ehrenberg, 1810	+	–	+	–
сем. Cristatellidae				
<i>Cristatella mucedo</i> Cuvier, 1798	+	+	–	–
сем. Plumatellidae sp.	+	–	–	–
<i>Plumatella</i> sp.	–	–	+	–
Тип Arthropoda – Членистоногие				
класс Arachnida				
Hydrachnidia n.det.	+++	+++	++	++
Crustacea				
п/класс Cladocera n.det.	+++	+++	++	++
класс Copepoda n.det.	+++	+++	++	+
п/класс Branchiura				
сем. Argulidae				
<i>Argulus</i> sp.	+	+	–	–
отряд Isopoda				
сем. Asellidae				
<i>Asellus aquaticus</i> Linnaeus, 1758	++	+	+	–
класс Insecta				
отряд Ephemeroptera				
сем. Baetidae				
<i>Cloeon</i> гр. diptrerum	++	++	+	+
<i>Cloeon</i> sp. (juv.)	++	+++	++	+++
сем. Caenidae				
<i>Caenis robusta</i> Eaton, 1884	–	++	+	–
<i>C. horaria</i> Linnaeus, 1758	+++	++	–	–
<i>C. laceta</i> Burmeister, 1839	++	++	–	–
<i>Caenis</i> sp. (juv.)	++	+++	++	++
отряд Odonata				
сем. Coenagrionidae sp. (juv.)	+	++	+	++
<i>Erythromma najas</i> Hansemann, 1823	+	++	–	–
сем. Aeschnidae				
<i>Aeschna crenata</i> Hagen, 1856	–	–	+	–
сем. Corduliidae				
<i>Epithea bimaculata</i> Charpentier, 1825	+	–	+	–
<i>Somatochlora metallica</i> Van der Linden, 1825	+	–	–	–
отряд Hemiptera				
сем. Nepidae				
<i>Nepa cinerea</i> Linnaeus, 1758	+	–	–	–
сем. Pleidae				
<i>Plea minutissima</i> Leach, 1817	–	+	++	–

1	2	3	4	5
отряд Coleoptera				
сем. Haliplidae				
<i>Haliplus</i> sp.	++	+	+	—
сем. Noteridae				
<i>Noterus crassicornis</i> O.F. Müller, 1776	+	—	—	—
сем. Dytiscidae				
<i>Graptodytes</i> sp. (imago)	—	—	+	—
п/сем. Agabinae sp. (larv.)	++	—	—	—
сем. Hydrophilidae				
Hydrophilidae sp. (larv.)	+	—	—	—
<i>Laccobius</i> sp.	+	++	—	—
отряд Neuroptera				
сем. Sisyridae				
<i>Sisyra fuscata</i> Fabricius, 1793	—	—	+	—
отряд Megaloptera				
сем. Sialidae				
<i>Sialis sordida</i> Klingstedt, 1932	—	++	—	—
отряд Trichoptera				
сем. Polycentropodidae				
<i>Cyrnus</i> sp. (juv.)	—	—	+	—
<i>Holocentropus dubius</i> Rambur, 1842	—	—	+	—
сем. Hydroptilidae sp. (juv.)	+	++	—	—
<i>Oxyethira</i> sp.	++	++	—	—
<i>Orthotrichia</i> sp.	+	+	—	—
<i>Tricholeiochiton fagesii</i> Guinard, 1879	—	—	+	+
сем. Molannidae				
<i>Molanna angustata</i> Curtis, 1834	+	—	—	—
сем. Leptoceridae				
<i>Triaenodes</i> sp. (juv.)	+	—	—	—
<i>Mystacides</i> sp. (juv.)	++	+	++	—
отряд Lepidoptera sp. (pup.)	—	—	+	—
сем. Pyraustidae				
<i>Elophila nymphaeata</i> Linnaeus, 1758	+	—	—	—
<i>Cataclysta lemnata</i> Linnaeus, 1758	+	—	—	—
отряд Diptera				
сем. Chironomidae sp.	+	++	+	++
п/сем. Chironominae sp.	+++	+++	+++	+++
<i>Zavreliella marmorata</i> Kieffer, 1920	++	—	+	+
<i>Chironomus</i> sp.	—	—	+	—
<i>Omisus caledonicus</i> Edwards, 1932	—	—	+++	—
<i>Glyptotendipes</i> sp.	—	—	—	++
<i>Polypedilum</i> sp.	+++	—	—	—
Tanytarsini sp.	++	+++	++	++

1	2	3	4	5
<i>Tanytarsus</i> sp.	–	++	–	–
п/сем. Orthoclaadiinae n.det.	++	++	++	–
п/сем. Tanypodinae n.det.	+	++	++	++
сем. Ceratopogonidae n.det.	+	++	+	++
сем. Dixidae				
<i>Dixella</i> sp.	++	–	–	–
сем. Chaoboridae				
<i>Chaoborus</i> sp.	–	+	–	+
сем. Culicidae				
<i>Anopheles</i> sp.	++	++	–	–
сем. Stratiomyidae				
<i>Odontomyia</i> sp. (juv.)	–	+	–	–
сем. Tabanidae sp. (juv.)	++	+	–	–
Число таксонов: – общее	51(66*)	39(50*)	35(51*)	19(24*)
– в донных сообществах*	37	36	25	4
– в фитофильных сообществах*	48	32	28	24

Примечание: «+» – таксон представлен единичными особями, «++» – среднее обилие, «+++» – таксон представлен массово, «–» – таксон отсутствует; * – данные с учётом моллюсков.

Бентофауна озёр насчитывала 94 таксона видового и надвидового рангов, относящиеся к семи типам: Губки, Книдарии, Нематоды или Круглые черви, Кольчатые черви, Мшанки, Моллюски, Членистоногие. Наибольшим таксономическим богатством характеризовались моллюски (25 таксонов, в том числе 8 Bivalvia и 17 Gastropoda), кольчатые черви (13 таксонов, в том числе 8 Oligochaeta и 5 Hirudinea), из представителей насекомых – отряды двукрылых (Diptera) – 15 таксонов, ручейников (Trichoptera) – 8 таксонов, жесткокрылых (Coleoptera) и стрекоз (Odonata) – по 5 таксонов. В отрядах подёнок (Ephemeroptera) и полужесткокрылых (Hemiptera) насчитывалось 4 и 2 таксона соответственно. Наименьшей представленностью характеризовались большекрылые (Megaloptera) и сетчатокрылые (Neuroptera) – по 1 таксону. Видовая идентификация обычно широко представленной группы хирономид (Chironomidae) проводилась частично.

Состав зообентоса в оз. Нургуш насчитывал 66 таксонов, в оз. Кривое – 50, в оз. Нефёдово – 51, в оз. Калеичи – 24. В данном ряду водоёмов отмечено снижение таксономического богатства как в донных, так и в фитофильных (зарослевых) сообществах; обеднение затронуло большинство основных групп зообентоса. Наименьшим разнообразием характеризовались илистые с большим содержанием детрита грунты оз. Калеичи, где зарегистрированы лишь личинки мокрецов и двух видов хирономид. В мае 2023 г. и в июне 2024 г. состав гидробионтов оз. Калеичи был значительно шире, соответственно 43 и 47 таксонов [8]. Резкие сезонные различия обусловлены особенностями данного водоёма (обилие береговой и прибрежно-водной растительности, накопление большого количества ила и детрита в донных отложениях)

в сочетании с жаркими погодными условиями июля–августа 2025 г., повлекшими снижение уровня воды в озере, сокращение площади водного зеркала, формирование мощной сплавины из вахты трёхлистной, сабельника болотного и телореза алоэвидного. Это отразилось на качестве воды оз. Калеичи, которая по результатам химического анализа значительно выделялась среди исследуемых озёр высокими показателями цветности и мутности, содержанием органических веществ (определяемых по химическому потреблению кислорода – ХПК) и растворённого кислорода. Величина ХПК (87 ± 17 мгО₂/дм³) почти в 2 раза превышала соответствующие значения трёх других озёр, концентрация иона аммония ($1,88 \pm 0,39$ мг/дм³) – в 6–9 раз, а содержание растворённого кислорода ($2,5 \pm 0,4$ мг/дм³) было в 2–3 раза меньше. Данные факторы неблагоприятны для жизнедеятельности гидробионтов и могут вызывать токсическое воздействие и заморные явления. Одно из проявлений биологического отклика на данную ситуацию – низкая видовая представленность оксифильных групп гидробионтов в оз. Калеичи: из подёнок присутствовали только *Cloeon diptерum* и молодые представители рода *Caenis*, из ручейников – *Tricholeiоchiton fagesii*. В более крупном, но тоже сильно заросшем макрофитами оз. Нефёдово подобных негативных тенденций не выявлено, вероятно, из-за большей глубины (6,3 м – максимальная из четырёх озёр), что защищает воду летом от перегрева и обеспечивает более благоприятный кислородный режим.

Биоиндикация на основе данных таксономического состава зообентоса показала, что индекс Вудивисса в оз. Кривое составил 9, в оз. Нургуш – 8, в оз. Нефёдово – 7 баллов и характеризовал воды озёр вторым классом качества (чисто). В оз. Калеичи индекса Вудивисса (2 балла) соответствовал 5 классу качества вод (грязно), что обусловлено низким биологическим разнообразием обитателей илистых с обилием детрита грунтов, на которых в условиях недостатка кислорода способны выживать немногие организмы. Индекс сапробности Пантле-Букка в озёрах Нургуш, Кривое и Нефёдово составлял соответственно 2,20, 2,198, 1,91 баллов и характеризовал эти водоёмы как β-мезосапробные (умеренно загрязнённые органическими веществами). В оз. Калеичи данный показатель равнялся 2,71 (α-мезосапробный, загрязнённый водоём) и указывал на более высокую степень естественной эвтрофикации.

Таким образом, в августе 2025 г. отмечено снижение таксономического богатства зообентоса озёр в ряду увеличения выраженности их зарастания: Нургуш – Кривое – Нефёдово – Калеичи. Степень сапробности водоёмов при этом изменялась от β-мезосапробных до α-мезосапробных значений. Худшим состоянием оценивались бентосные сообщества илистых грунтов меньшего по размерам оз. Калеичи, что связано с его сильным зарастанием, накоплением большого количества органики в донных отложениях и менее благоприятным кислородным режимом. На более глубоком и крупном оз. Нефёдово даже в условиях интенсивного развития прибрежно-водной растительности сохранялись условия для большего богатства гидробионтов.

Библиографический список

1. Иванов А. И., Дудкин Е. А. Оценка экологического состояния водно-болотных угодий в системе агроландшафтов Пензенской области // Нива Поволжья. 2016. № 2. С. 21–27.
2. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
3. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб. : Наука, 1997. Т. 3. Паукообразные. Низшие насекомые. 439 с.
4. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб. : Наука, 1999. Т. 4. Высшие насекомые. Двукрылые. 998 с.
5. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб. : Наука, 2001. Т. 5. Высшие насекомые. 836 с.
6. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Зообентос / под ред. В. Р. Алексеева и С. Я. Цалолихина. М.-СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. Т. 2. 456 с.
7. Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С., Палатов Д. М. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод Восточной Европы и Кавказа. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2025. 469 с.
8. Кочурова Т. И., Шихова Т. Г. Макрозообентос пойменного озера Калеичи // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Т. 8. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2025. С. 5–15.

АМИНОКИСЛОТНЫЕ ВАРИАЦИИ ГЕНА *MdaE7* КАК МАРКЕР АДАПТАЦИИ *MUSCA DOMESTICA* L. (DIPTERA: MUSCIDAE) К ИНСЕКТИЦИДНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

К. С. Крестовошина, Е. А. Силиванова

Всероссийский научно-исследовательский институт
ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал ТюмНЦ СО РАН,
г. Тюмень, Россия, krutko.k.s@hotmail.com

На примере анализа замен в гене карбоксилэстеразы *MdaE7* у *Musca domestica* показана неравнозначность мутаций: замена триптофана в положении 251 на серин (W251S) ассоциирована с устойчивостью к пиретроидам и фосфорорганическим соединениям, в то время как замена на лейцин (W251L) является либо нейтральным полиморфизмом, либо маркером более сложных, комплексных механизмов резистентности. Мутации N274I, S250T, W251L, D273E, M303I не всегда ассоциированы с устойчивым фенотипом. Таким образом, качественный и количественный анализ мутаций основных ферментах детоксикации может служить индикатором селективного давления.

Ключевые слова: инсектициды, резистентность, биомаркеры, мутации, *Musca domestica*.

Проблема инсектицидной резистентности актуальна для медицины, ветеринарии и сельского хозяйства. Для ее преодоления необходимы данные о молекулярно-генетических механизмах устойчивости у насекомых, включая

профили точечных мутаций в генах молекулярных мишеней инсектицидов и частоту аллелей резистентности в популяциях. С экологической точки зрения формирование резистентности имеет долгосрочные последствия для агроценозов и естественных экосистем. Широкое применение инсектицидов создает селективное давление, приводящее к вытеснению чувствительных генотипов и формированию устойчивых популяций. При этом, инсектициды оказывают воздействие на нецелевые организмы, включая энтомофагов и насекомых-опылителей, что нарушает естественные трофические связи и снижает биоразнообразие [1]. Поэтому мониторинг точечных мутаций, ассоциированных с инсектицидной устойчивостью, в природных популяциях приобретает значение не только в контексте оптимизации стратегий борьбы с вредителями, но и для сохранения экологического баланса.

Комнатная муха *Musca domestica*, в настоящее время является одним из самых распространенных видов мух в мире, имеет санитарное и эпидемиологическое значение, обладает коротким жизненным циклом и высоким репродуктивным потенциалом, что делает её удобным модельным объектом для изучения различных генетических и популяционных процессов. В данной работе были использованы особи *Musca domestica* следующих культур и линий: Lab TY, Lab UF, Nik и ChlA. Культура Lab TY была получена из Новосибирского аграрного университета в 2009 году, культура Lab UF – из лаборатории биохимии адаптивности насекомых Института биохимии и генетики УФИЦ РАН в 2023 году. Особи природной популяции Nik были выловлены в мае – сентябре 2023 года в животноводческих помещениях Тюменской области (показатель резистентности к пиретроидам у самок 18,7, у самцов 46,6). Хлорфенапир-толерантная линия ChlA (показатель резистентности к хлорфенапиру 19,4) была получена ранее из культуры Lab TY в лаборатории ветеринарных проблем в животноводстве ВНИИВЭА-филиал ТюмНЦ СО РАН при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-016-00059 (2019–2021 гг.). Особи всех линий содержались в боксах с поддержанием постоянной температуры 27 ± 1 °C и относительной влажности воздуха $50 \pm 5\%$.

ДНК выделяли из имаго мух по методу, описанному ранее в статье А. Д. Мельничук и соавт. [2].

Для получения фрагментов гена *MdaE7* использовали праймеры: ESTf-TACCGTCTTCGGCGAAAGT и ESTr-TCTCTGATCGGTTTGGGCAC. Секвенирование ампликонов генов проводили в компании ООО «Евроген». Для биоинформатического анализа использовали программы Finch TV и Unipro Ugene, и сайт BLAST NCBI.

Ген неспецифической эстеразы *MdaE7* (эстераза B1) исследованных особей сравнивали с референсной последовательностью с сайта NCBI Gene ID:101896978. При сравнении консенсусных нуклеотидных последовательностей с указанной последовательностью лабораторная культура Lab UF имела наибольшее отличие в 3%, другие использованные в проекте культуры/линии/популяции отличались на менее, чем 2%. Для линии ChlA характерно высокое сходство с референсом и с чувствительными к хлорфенапиру

популяциями Lab TY и Nik. Наибольшее отличие линии ChlA по гену *MdaE7* отмечено в сравнении с линией Lab UF - 3%. Аминокислотные последовательности, полученные на основе фрагмента гена *MdaE7* сравнивали с референсной последовательностью NCBI ID: NP_001295905.1. Для особей пиретроид-устойчивой линии Nik были обнаружены следующие несинонимичные мутации: S250T, W251S, D273E, M303I. Для хлорфенапир-толерантной линии ChlA обнаружено четыре несинонимичные замены (S250T, W251S, D273E, M303I), которые также встретились в природной популяции Nik. Для чувствительной линии Lab TY были характерны мутации S250T, W251L, D273E, M303I. Несмотря на то, что для линии Lab UF наблюдались наибольшие различия в нуклеотидной последовательности (3%) относительно референса, большинство замен являлись синонимичными мутациями. Для чувствительной линии Lab UF обнаружено только две несинонимичные замены: N274I и M303I.

Устойчивость, опосредованная карбоксилэстеразой, была определена как один из основных механизмов устойчивости к ФОС среди насекомых. Считается что мутация W251S в гене *MdaE7* относится к несинонимичным однонуклеотидным заменам, которые играют важную роль в развитии резистентности к таким инсектицидам как ФОС и пиретроиды. При мутации W251S происходит замена аминокислоты триптофана (W) на серин (S) в позиции 251 белка. Эта мутация упоминается в источниках как один из вариантов замены в кодоне 251 наряду с заменой на лейцин (W251L). Механизм, с помощью которого мутации в гене *MdaE7* способствуют развитию устойчивости к ФОС, связан с изменением активного центра и следовательно активности карбоксилэстеразы.

Основываясь на полученных и литературных данных, можно сделать вывод, что мутация W251S, а не W251L, играет наиболее значимую и хорошо изученную роль в развитии устойчивости к инсектицидам у *Musca domestica*. Замена W251L, хотя и является распространенным аллелем в полевых популяциях и может быть частью комплексного ответа на селективное давление, как в случае со спиносадом, не выступает в качестве самостоятельного и определяющего фактора резистентности в большинстве исследований [3]. Исследование Zhang et al. (2010) на устойчивой к бета-циперметрину линии комнатных мух (CRR) показало, что замена Trp251Ser играет важную роль в формировании резистентности к пиретроидам и перекрестной устойчивости между фосфорорганическими соединениями и пиретроидами [4]. В турецких популяциях мух, устойчивых к малатиону, также была обнаружена именно замена Trp251Ser [5]. Исследования в Китае и Казахстане подтверждают наличие W251L в полевых популяциях комнатных мух, часто в сочетании с другими мутациями в генах ацетилхолинэстеразы (*Ace*) [6,7]. В нашем случае при селекции хлорфенапилом вариант W251S также более предпочтителен, чем W251L. Это указывает на то, что W251L является частью комплекса мутаций, ассоциированных с резистентностью, в тоже время мутации S250T, D273E, M303I, которые обнаружены в родительской линии Lab TY, сохраня-

ются при селекции хлорфенапиром, что может указывать на слабое включение гена *MdaE7* в процесс детоксикации этого инсектицида.

В настоящем исследовании культуры Lab TY и Lab UF в свое время были получены из природных популяций, и несмотря на длительную селекцию в лабораторных условиях и восстановление чувствительного статуса, проявили аминокислотные вариации N274I, S250T, W251L, D273E, M303I. Наличие идентичных несинонимичных замен как в устойчивых, так и в чувствительных линиях свидетельствует о том, что данные замены могут являться нейтральными полиморфизмами или не играть решающей роли в формировании устойчивости к конкретным классам инсектицидов. Феномен, когда мутация, позже ставшая маркером резистентности, изначально существует в популяции как нейтральный вариант, хорошо известен. Например, F. D. Rinkevich et al. [8] в своем обзоре обсуждают разнообразие и конвергенцию мутаций натриевого канала, отмечая, что некоторые мутации могут быть уникальными для конкретных видов или популяций, в то время как другие могут возникать независимо и распространяться под давлением отбора. Присутствие мутации в чувствительной к определенной группе инсектицидов линии указывает на, что сама по себе она не является достаточной для формирования устойчивого фенотипа и может быть частью естественного полиморфизма.

Таким образом, можно предположить, что не все несинонимичные замены имеют равный вклад в формирование резистентности. Для мониторинга и прогнозирования устойчивости важно выделять именно те мутации, которые коррелируют с устойчивым фенотипом. Подобные молекулярные маркеры имеют потенциал для включения в систему биоиндикации антропогенной нагрузки, однако для практической реализации этого подхода требуются дополнительные исследования по валидации метода.

Работа выполнена всероссийским научно-исследовательским институтом ветеринарной энтомологии и арахнологии ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2025-0001).

Библиографический список

1. Mineau P., Palmer C. The impact of the nation's most widely used insecticides on birds: neonicotinoid insecticides and birds. Washington, DC : American Bird Conservancy, 2013. 98 p.
2. Анализ инсектицидной устойчивости к пиретроидам, фосфорорганическим соединениям и карбаматам у *Musca domestica* L. методом ПЦР-ПДРФ / А. Д. Мельничук, К. С. Крестоношина, А. Г. Кинарейкина и др. DOI: 10.29326/2304-196X-2025-14-1-101-108 // Ветеринария сегодня. 2025. Т. 14. № 1. С. 101–108.
3. Esterase-mediated spinosad resistance in house flies *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) / Y. Zhang, M. Guo, Z. Ma, et al. DOI: 10.1007/s10646-019-02125-y // Ecotoxicology. 2020. Vol. 29. No. 1. P. 35–44.
4. Quantitative and qualitative changes of the carboxylesterase associated with beta-cypermethrin resistance in the housefly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) / L. Zhang, J. Shi,

X. Shi, et al. DOI: 10.1016/j.cbpb.2010.01.011 // Comp. Biochem. Physiol. B: Biochem. Mol. Biol. 2010. Vol. 156. No. 1. P. 6–11.

5. Taşkin V., Kence M. The genetic basis of malathion resistance in housefly (*Musca domestica* L.) strains from Turkey. DOI: 10.1023/B:RUGE.0000048663.17417.97 // Russ. J. Genet. 2004. Vol. 40. No. 11. P. 1215–1222.

6. Diversity and frequencies of genetic mutations involved in insecticide resistance in field populations of the house fly (*Musca domestica* L.) from China / Q. Wang, M. Li, J. Pan, et al. DOI: 10.1016/j.pestbp.2011.12.007 // Pesticide Biochem. Physiol. 2012. Vol. 102. No. 2. P. 153–159.

7. Multiple genetic mutations related to insecticide resistance are detected in field Kazakhstani house flies (Muscidae: Diptera) / R. Qu, J. Zhu, M. Li, et al. DOI: 10.1093/jme/tjab110 // J. Med. Entomol. 2021. Vol. 58. No. 6. P. 2338–2348.

8. Rinkevich F. D., Du Y., Dong K. Diversity and convergence of sodium channel mutations involved in resistance to pyrethroids. DOI: 10.1016/j.pestbp.2013.02.007 // Pestic. Biochem. Physiol. 2013. Vol. 106. No. 3. P. 93–100.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ О СОСТОЯНИИ ВИДОВ РЫБ, ОБИТАЮЩИХ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ АМУДАРЬИ И ЕЁ ДЕЛЬТЕ

А. К. Куватов

*Университет Альфрагануса, г. Ташкент, Узбекистан,
Научно-исследовательский институт*

*технологий охраны окружающей среды и природы,
г. Ташкент, Узбекистан, asqarquvatovxabb@mail.ru, a.quvatov@afu.uz*

В статье представлен анализ литературных источников научных исследований в области фауны и рыбного хозяйства, проведенных в нижнем течении реки Амударья и ее дельте за последние 90–100 лет. В данной статье анализируются ихтиофаунистические показатели, начиная с первоначальных и заканчивая последними годами научных исследований, проведенных в верхнем, среднем и нижнем течении р. Амударьи.

Ключевые слова: дельта Амударьи, низовья, ихтиофауна, обзор литературы.

Рыбы являются важной составляющей водных экосистем и биологического разнообразия, а также охраняемым природным ресурсом, требующим рационального использования. Одной из главных причин ухудшения состояния рыбных ресурсов, включая естественную среду обитания эндемичных и реликтовых видов, и вымирания некоторых видов, является тот факт, что среда их обитания подвержена экологическому кризису и находится под влиянием антропогенных интересов и технических связей хозяйствующих предприятий. Такие ситуации, в свою очередь, ухудшают стабильность водных экосистем и приводят к снижению биологического разнообразия.

В последние годы нарушение водного баланса Амударьи привело к изменениям биоразнообразия, особенно рыбной фауны, в нижнем течении реки

и ее дельте. Для анализа этих экологических кризисов планируется проведение ихтиологических исследований в нижнем течении Амударьи и ее дельте.

В ходе дальнейших научных исследований был определен видовой состав рыб Л. С. Берга (1948, 1949), К. Ф. Кесслера (1872, 1874, 1877), И. М. Мирабдуллаева и др. (2011) [1–7].

Новое развитие получили ихтиологические и гидробиологические исследования водоемов разного типа среднего и нижнего течения Амударьи в 80-х годах, после резкого снижения рыбодобычи в Аральском море и прилегающих к нему водоемах в связи с изъятием речного стока на орошение. Возникла потребность в создании новых рыбопромысловых водоемов на основе малоосвоенных и многоводных проточных и концевых сбросов оросительных систем.

Научные исследования, проведенные в среднем и нижнем течении р. Амударьи, позволили объяснить видовой состав рыб следующим образом: А. М. Никольский отметил 14 видов рыб для низовьев Амударьи, Л. С. Берг – 42 вида, Г. В. Никольский и Шаповникова – 40, Ф. А. Турдаков – 5 видов. В настоящее время в самой Амударье обитает 54 вида рыб, из них в низовьях – 36 видов, в среднем течение – 30, в верховьях – 21 [8].

Ихтиологические исследования в низовьях Амударьи были начаты во второй половине XIX века, со времени присоединения (в 1873 г.) Хивы к России. В 1874 г. в низовьях Амударьи и на Аральском море работала Арало-Каспийская экспедиция. В результате этих исследований К. Ф. Кесслер [6] зарегистрировал 38 видов рыб в Аральском море и нижнем течении Амударьи. Позже, в 1886 г. А. М. Никольский проводил научные исследования в Аральском море, Амударье и её дельте. Затем, с 1889 по 1906 гг. Л. С. Берг проводил масштабные ихтиологические исследования в Аральском море. Позже, в 1920–1921 гг. была организована крупная научная экспедиция по освоению рыбных ресурсов в Аральском море и дельте Амударьи. Эти исследования предоставили частичную информацию об ихтиофауне Аральского моря. Согласно [9], Г. Х. Шаповников зарегистрировал 29 видов рыб в ихтиофауне дельты Амударьи. Кроме того, Хакбердиев с 1965 по 1970 гг. зарегистрировал 26 видов и подвидов рыб в водоемах Хорезмской области.

Позже А. А. Аманов [10] отметил 51 вид и 1 подвид рыб в ихтиофауне верхнего течения Амударьи (табл.).

Список рыб в бассейна р. Амударьи

№	Виды	
	Русское название	Латинское название
1	2	3
1	Аральский шип	<i>Acipenser nudiventris</i> Lovetsky, 1828
2	Севрюга	<i>Acipenser stellatus</i> Pallas, 1771
3	Большой амударьинский лже-лопатонос	<i>Pseudoscaphirhynchus kaufmanni</i> Kessler, 1877
4	Малый амударьинский лжелопатонос	<i>Pseudoscaphirhynchus hermanni</i> Kessler, 1877
5	Аральский лосось	<i>Salmo trutta aralensis</i> Berg, 1908
6	Амударьинская форель	<i>Salmo trutta oxianus</i> Kessler, 1874
7	Щука	<i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758
8	Аральская плотва	<i>Rutilus aralensis</i> Berg 1905
9	Бухарская плотва	<i>Rutilus rutilus</i> Linnaeus, 1758
10	Зарафшанский елец	<i>Leuciscus lehmanni</i> , Brandt
11	Туркестанский язь	<i>Leuciscus idus oxianus</i> Kessler
12	Красноперка	<i>Scardinius erythrophthalmus</i> Linnaeus, 1758
13	Белый амур	<i>Ctenopharyngodon idella</i> Valenciennes, 1844
14	Черный амур	<i>Mylopharyngodon piceus</i> Richardson, 1846
15	Жерех-лысач	<i>Aspiolucius esocinus</i> Kessler, 1874
16	Аральский жерех	<i>Aspius aspius taeniatus</i> Eichwald
17	Амурский чебачок	<i>Pseudorasbora parva</i> Temminck et Schlegel, 1846
18	Туркестанский пескарь	<i>Gobio lepidolaemus</i> Kessler, 1872
19	Самаркандская храмуля	<i>Varicorhinus capoeta steindachneri</i> Kessler
20	Туркестанский усач	<i>Luciobarbus conocephalus</i> Kessler, 1872
21	Аральский усач	<i>Luciobarbus brachycephalus</i> Kessler, 1872
22	Обыкновенная маринка	<i>Schizothorax eurystomus</i> Kessler, 1872
23	Лжеосман	<i>Schizopygopsis stolichkai</i> Steindachner, 1866
24	Аральская шемая	<i>Chalcalburnus chalcoides aralensis</i> Berg, 1949
25	Восточная быстрянка	<i>Alburnoides eichwaldii</i> De Filippi, 1863
26	Полосатая быстрянка	<i>Alburnoides taeniatus</i> Kessler, 1874
27	Восточный лещ	<i>Abramis brama</i> ssp. <i>orientalis</i> Berg, 1949
28	Аральская белоглазка	<i>Ballerus sapa</i> Pallas, 1814
29	Остролучка	<i>Capoetobrama kuschakewitschi</i> Kessler, 1872
30	Обыкновенная востробрюшка	<i>Hemiculter leucisculus</i> Basilewsky, 1855
31	Чехонь	<i>Pelecus cultratus</i> Linnaeus, 1758
32	Серебряный карась	<i>Carassius gibelio</i> Bloch, 1782
33	Сазан	<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1759
34	Обыкновенный толстолобик	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> Valenciennes, 1844
35	Пестрый толстолобик	<i>Aristichthys nobilis</i> Richardson, 1845
36	Серый голец	<i>Triplophysa dorsalis</i> Kessler, 1872
37	Тибетский голец	<i>Triplophysa elegans</i> Kessler, 1874
38	Амударьинский голец	<i>Nemacheilus oxianus</i> Kessler
39	Таджикский голец	<i>Nemacheilus pardalis</i> Turdakov, 1941
40	Кафирниганский голец	неизвестно
41	Бухарский голец	<i>Nemacheilus amudarjensis</i> Rass

1	2	3
42	Хорезмский голец	неизвестно
43	Восточный гребенчатый голец	<i>Paracobitis longicauda</i> Kessler, 1872
44	Аральская шиповка	<i>Sabanejewia aralensis</i> Kessler, 1877
45	Сом	<i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758
46	Туркестанский сомик	<i>Glyptosternon oschanini</i> Herzenstein, 1889
47	Катайский бычок	неизвестно
48	Аральская колюшка	<i>Pungitius platygaster aralensis</i> Kessler
49	Гамбузия	<i>Gambusia affinis</i> Baird and Girard, 1853
50	Змеёголов	<i>Channa argus</i> Cantor, 1842
51	Судак	<i>Sander lucioperca</i> Linnaeus, 1758
52	Окунь	<i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758

Приведенные выше данные показывают, что основная часть научных исследований проводится в Аральском море, в то время как некоторые фаунистические исследования проводились в дельте Амударьи. Сегодня состояние видов рыб, обитающих (существующих) в естественных водоемах Аральского моря, остается неизвестным. Исходя из этого, такие актуальные проблемы, как биоэкологическое и систематическое состояние видов рыб в естественных водоемах нижнего течения Амударьи и ее дельты, их экономическое значение, а также рациональное и разумное использование, входят в число важных задач стоящих перед наукой.

Библиографический список

1. Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 1. М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1948. 466 с.
2. Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 2. М. : Изд-во АН СССР, 1949. С. 470–925.
3. Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 3. М. : Изд-во АН СССР, 1949. С. 930–1381.
4. Кessler К. Ф. Ихтиологическая фауна Туркестана М. : Катков и К°, 1872. 32 с.
5. Федченко А. П. Путешествие в Туркестан члена-основателя Общества А. П. Федченко, совершенное от Общества любителей естествознания по поручению Туркестанского генерал-губернатора К. П. фон-Кауфмана Т. 2. Ч. 6. Отд. 1 (вып. 3): Зоогеографические исследования. Т. 2. Ч. 6. Отд. 1. Рыбы (Pisces). СПб. ; М. : Тип. М. Стасюлевича, 1874. 63 с.
6. Кessler К. Ф. Рыбы, водящиеся и встречающиеся в Арало-Каспийско-Понтической ихтиологической области. СПб. : тип. М. Стасюлевича, 1877. 360 с.
7. Ўзбекистон ва кўшни ҳудудлар балиқлари аниқлагичи : ўқув кўлланма / И. М. Миравдуллаев, У. Т. Мирзаев, А. Р. Кузметов, З. О. Кимсанов. Тошкент: Сано стандарт, 2011. 108 бет.
8. Хакбердиев Б. Экология рыб водоемов среднего и нижнего течения реки Амударьи в условиях антропогенного воздействия : спец. 03.00.10 : дис. ... д-ра биол. наук. Ташкент, 1994. 249 с.
9. Хакбердиев Б. Ихтиофауна озер Хорезмской области : спец. 03.00.06 : дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 1971. 268 с.
10. Аманов А. А. Экология рыб водоемов юга Узбекистана и сопредельных республик. Ташкент : Фан, 1985. 160 с.

**ФАУНИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ ЖУЖЕЛИЦ (COLEOPTERA: CARABIDAE)
ЭКОЛОГО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН
В ГРАДИЕНТЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ
(НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОГО РАЙОНА)**

*К. Ю. Максимович¹, С. И. Гостева¹, Д. С. Федоров¹,
Р. Ю. Дудко², К. С. Голохваст¹*

¹ *Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий
Российской академии наук,*

п. Краснообск, Новосибирская область, Россия, kiri-maksimovi@mail.ru,

² *Институт систематики и экологии животных СО РАН,
г. Новосибирск, Россия, rdudko@mail.ru*

В данной работе представлены результаты экологического исследования по оценке воздействия урбанизации на формирование сообществ жуужелиц (Coleoptera, Carabidae), населяющих эколого-функциональные зоны (парковые и селитебные зоны) с различным уровнем антропогенной нагрузки. По результатам исследования установлены существенные различия в эколого-фаунистической структуре карабидокомплексов в зависимости от уровня антропогенного воздействия и типа модельного участка. Снижение численности, обеднение видового состава и нарушение структуры доминирования регистрировались в зонах с высоким уровнем антропогенной нагрузки, переуплотненной почвой и обедненным растительным покровом. Модельные площадки, имеющие устоявшийся многолетний почвенно-растительный режим и высокую гетерогенность, характеризовались наиболее разнообразными комплексами жуужелиц, относительно высокими показателями динамической плотности и значениями параметров биологического разнообразия.

Ключевые слова: Carabidae, жуужелицы, фаунистическая характеристика, экологическая структура сообщества, эколого-функциональные зоны, антропогенная нагрузка.

В настоящее время процесс урбанизации как часть антропогенных изменений, является определяющим фактором, оказывающим значительное влияние на глобальное биологическое разнообразие [1, 2]. Большая часть компонентов городской среды значительно преобразована вследствие деятельности человека [3], что в свою очередь создает специфические условия для обитания герпетобионтных жесткокрылых, которые активно заселяют все доступные и мозаично представленные местообитания в городской среде [1, 2, 4–7]. Биологический мониторинг эколого-функциональных зон в градиенте антропогенной нагрузки с использованием модельных тест-объектов на примере сообществ жуужелиц (Coleoptera, Carabidae), может дать интегрированную оценку их состояния, а также позволит оценить степень влияния факто-

ров антропогенной природы и сформировать рекомендации по улучшению экологической ситуации таких территорий. Однако понимание взаимосвязи между уровнем антропогенного воздействия, биологическим разнообразием и пространственными особенностями (эколого-фаунистические и структурно-функциональные особенности) организации сообществ данной таксономической группы остаётся ограниченным [4–7]. Неравномерность изученности фауны жужелиц эколого-функциональных зон Западной Сибири [8], для которой характерны значительные контрасты почвенно-растительных и климатических условий, а также высокая концентрация сложных урбанизированных территорий и опасных промышленных производств, обуславливают актуальность проведения мониторинговых работ в этом регионе.

Энтомологические учеты на территории эколого-функциональных зон Новосибирского района (включая территорию р.п. Краснообск) осуществляли в течение летнего периода 2025 года на восьми модельных участках с низкой, средней или высокой степенью антропогенной нагрузки, в зависимости от площади асфальтированной территории, степени озеленённости, проходимости, разнообразия растительного компонента и наличия подстилки верхнего яруса почвы (табл. 1).

Сбор энтомологического материала осуществляли с 1 июня по 30 августа стандартным методом почвенных ловушек. В качестве ловушки использовался стакан объемом 0,5 л., фиксирующий раствор – этиленгликоль 10%. Ловушки устанавливались по 5 штук в линию на расстоянии 10 метров друг от друга на каждом участке. Проверку ловушек осуществляли раз в 10 дней (проведено 3 учета). В качестве показателя обилия использовали динамическую плотность жужелиц, которую рассчитывали как количество экземпляров имаго на 100 ловушко-суток (далее экз./100 л.с.). Выделение жизненных форм жужелиц выполнено по методике, предложенной Шаровой И. Х., основанной на сочетании трофической специализации и ярусных групп [9]. Характеристика экологической структуры населения жужелиц включала биотопическую приуроченность, гигропреферендумы и трофическую группу видов [7–10]. Для исследования параметров биологического разнообразия и устойчивости сообществ жужелиц рассчитывали группу индикаторных индексов [7]: индекс разнообразия Симпсона ($1-D$), индекс разнообразия Шеннона (H), индекс Маргалефа (M). Сравнение сообществ жужелиц разных биотопов проводили методом кластерного анализа (метод UPGMA; коэффициент Жаккара). Для парных и множественных сравнений выборок, различающихся по градациям изучаемых факторов, использовали непараметрический критерий Манна-Уитни (критический уровень значимости: $p < 0,05$). Расчет параметров биологического разнообразия (индексы) осуществляли в PAST 4.0 (Paleontological Statistics Software for Education and Data Analysis). Статистические расчеты и графические построения выполняли средствами языка программирования Python.

Таблица 1

**Координаты и краткая характеристика модельных участков
для проведения энтомологических учетов**

№	Координаты	Краткое описание	Уровень антропогенной нагрузки
Урбанизированные (селитебные) зоны			
1у	54°55'03.0" N 82°59'15.0" E	Аллея вблизи дома ученых СФНЦА РАН (разнообразие растительности с различной ярусностью, наличие подстилки на поверхности почвы, большие площади зеленых насаждений и близость полей)	Низкий
2у	54°55'08.6" N 82°59'27.2" E	Аллея и палисадник (разнообразие растительности, наличие деревьев вблизи, газоны и цветы)	Высокий
3у	54°55'18.5" N 82°59'00.2" E	Центр р. п. Краснообск, палисадник между домами (участок с низкой растительностью и небольшим количеством деревьев, отсутствие подстилки на поверхности почвы)/ <i>высокий уровень антропогенной нагрузки</i>	Высокий
4у	54°55'36.5" N 82°58'30.9" E	Открытый участок многолетней густой растительности (естественной) и деревьев	Высокий
5у	54°55'56.9" N 82°59'21.9" E	Окраина Лесопарка имени академика И. И. Синягина ближе к р. п. Краснообск (разнообразие растительности с различной ярусностью, наличие подстилки на поверхности почвы, наиболее благоприятные условия для биоты за счет минимальной антропогенной нагрузки)	Низкий
Парковые (рекреационные) зоны			
6п	1. 54°59'15.3" N 82°52'36.4" E 2. 54°59'16.7" N 82°52'45.1" E	Сквер Славы: формализованный мемориальный сквер с регулярными насаждениями (аллея елей), ухоженными газонами, высокой посещаемостью и интенсивным благоустройством. Отсутствие естественной подстилки, уплотнённые почвы. Высокий уровень проходимости.	Высокий
7п	1. 54°58'16.4" N 82°57'22.0" E 2. 54°58'15.9" N 82°57'27.0" E	ПКиО Бугринская роща: крупный парк культуры и отдыха со смешанными посадками, прогулочными аллеями, элементами благоустройства и рекреационной инфраструктурой. Наличие фрагментов естественной растительности, но регулярная рекреационная активность. Средний уровень проходимости.	Средний
8п	1. 54°55'52.7" N 82°59'20.2" E 2. 54°56'07.3" N 82°59'05.5" E	Центр Лесопарка имени академика И. И. Синягина: обширная особо охраняемая природная территория (дендрарий) с разнообразной древесно-кустарниковой растительностью естественного типа, хорошо развитой лесной подстилкой, минимальным благоустройством. Низкий уровень проходимости	Низкий

За летний период исследования отработано 1650 ловушко-суток, собрано более 2000 экземпляров имаго жуžелиц, относящихся к 16 родам и 39 виду (табл. 2).

Таблица 2

Среднесезонная динамическая плотность и эколого-фаунистическая характеристика жуžелиц эколого-функциональных зон Новосибирского района

Название вида	Экологические характеристики			Модельный участок							
	1*	2*	3*	1у	2у	3у	4у	5у	6п	7п	8п
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Carabus granulatus</i> (Linnaeus, 1758)	з.	э.	мг.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33	1,00	0,00
<i>Carabus regalis</i> (Fischer von Waldheim, 1820)	з.	лс.	м.	14,7	27,3	12,7	15,3	32,7	45,33	68,0	47,7
<i>Carabus convexus</i> (Fabricius, 1755)	з.	лг.	м.	8,7	0,0	1,3	0,0	2,7	0,00	0,00	3,7
<i>Carabus schoenherri</i> (Fischer von Waldheim, 1820)	з.	лс.	м.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,67	2,33	0,0
<i>Loricera pilicornis</i> (Fabricius, 1775)	з.	лг.	мг.	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Broscus cephalotes</i> (Linnaeus, 1758)	з.	э.	м.	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,00	0,3	2,0
<i>Bembidion properans</i> (Stephens, 1828)	з.	лг. п.	м.	3,3	8,0	0,0	4,0	11,3	1,67	3,0	5,7
<i>Bembidion quadrimaculatum</i> (Linnaeus, 1760)	з.	лг. п.	м.	4,7	6,0	2,0	0,0	7,3	3,67	1,00	4,7
<i>Poecilus cupreus</i> (Linnaeus, 1758)	з.	лг. п.	м.	0,0	0,0	1,3	0,7	3,3	9,7	1,67	5,7
<i>Poecilus versicolor</i> (Sturm, 1824)	з.	лг. п.	м.	15,3	38,7	3,3	12,0	14,0	7,0	30,7	22,3
<i>Poecilus fortipes</i> (Chaudoir, 1850)	з.	лг. с.	м.	0,0	0,0	0,7	2,0	0,7	11,7	0,3	0,3
<i>Poecilus lepidus</i> (Leske, 1758)	з.	лг.	м.	0,7	0,0	1,3	0,0	1,3	0,0	0,0	0,7
<i>Pterostichus niger</i> (Schaller, 1783)	з.	пр.	мг.	3,3	2,0	14,0	8,7	4,0	1,3	3,7	2,0
<i>Pterostichus strenuus</i> (Panzer, 1797)	з.	лс.	мг.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
<i>Pterostichus oblongopunctatus</i> (Fabricius, 1787)	з.	лс.	м.	2,0	3,3	0,0	1,3	5,3	0,0	21,7	2,7

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Pterostichus melanarius</i> (Illiger, 1798)	3.	э.	м.	5,3	1,3	8,7	5,3	10,7	0,7	2,0	8,7
<i>Pterostichus magus</i> (Mannerheim, 1825)	3.	лс.	м.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,3
<i>Pterostichus altainus</i> (Jedlicka, 1958)	3.	лс.	мг.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,7
<i>Calathus erratus</i> (C.R. Sahlberg, 1827)	3.	лг.	м.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
<i>Calathus melanocephalus</i> (Linnaeus, 1758)	3.	лг.	м.	0,0	0,7	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,3
<i>Dolichus halensis</i> (Schaller, 1783)	3.	лг. п.	м.	0,0	0,0	0,0	0,7	1,3	5,0	0,0	2,3
<i>Synuchus vivalis</i> (Illiger, 1798)	3.	лг.	м.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,3
<i>Agonum gracilipes</i> (Duftschmid, 1812)	3.	лг.	м.	0,0	0,7	0,0	0,7	0,0	0,7	1,7	1,7
<i>Agonum versutum</i> (Sturm, 1824)	3.	пр.	г.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,33	0,00
<i>Limodromus assimilis</i> (Paykull, 1790)	3.	пр.	г.	1,3	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	1,0	1,0
<i>Amara aenea</i> (DeGeer, 1774)	м.	лг.	м.	2,7	4,0	0,0	2,0	6,0	3,0	4,0	6,3
<i>Amara communis</i> (Panzer, 1797)	м.	э.	м.	10,7	5,3	1,3	0,0	6,0	1,0	2,7	3,3
<i>Amara nitida</i> (Sturm, 1825)	м.	лс.	м.	2,0	0,0	0,0	0,0	6,7	1,3	2,3	4,3
<i>Amara apricaria</i> (Paykull, 1790)	м.	лг. п.	м.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3
<i>Curtonotus gebleri</i> (Dejean, 1831)	м.	лс.	м.	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Harpalus griseus</i> (Panzer, 1797)	м.	лг.	м.	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	3,0
<i>Harpalus rufipes</i> (De Geer, 1774)	м.	лг. п.	м.	2,7	7,3	6,7	4,7	10,0	7,0	14,3	10,7
<i>Harpalus calceatus</i> (Duftschmid, 1812)	м.	лг. п.	м.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	3,0	5,7
<i>Harpalus tardus</i> (Panzer, 1797)	м.	лг.	м.	0,7	0,0	0,0	0,7	1,3	0,0	0,0	0,7
<i>Harpalus tarsalis</i> (Mannerheim, 1825)	м.	лг.	м.	2,0	8,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Harpalus latus</i> (Linnaeus, 1758)	м.	лс.	м.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Harpalus affinis</i> (Schrank, 1781)	м.	лг. п.	м.	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,7	4,7	3,3
<i>Badister bullatus</i> (Schrank, 1798)	з.	пр.	мг.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,3
<i>Microlestes minutulus</i> (Goeze, 1777)	з.	лг.с.	мк.	0,0	0,0	0,7	0,0	0,7	0,0	0,0	0,3

Примечание. Экологические характеристики: 1 – трофическая группа; 2 – биотопическая приуроченность; 3 – отношения к влажности. Трофические группы: з. – зоофаги, м. – миксофитофаги. Биотопическая приуроченность: лс. – лесная, пр. – приводная, лг. – луговая, лг. п. – лугово-полевая, лг. с. – лугово-степная, ст. – степная, э. – эвритопная. Отношение к влажности: м. – мезофилы, г. – гигрофилы, мг. – мезогигрофилы, мк. – мезоксерофилы.

Наибольшим видовым разнообразием характеризовались следующие роды (табл. 1): *Harpalus*, *Amara* и *Pterostichus*. Численно преобладали представители родов *Carabus*, *Poecilus*, *Pterostichus* и *Harpalus*.



Рис. Видовое богатство и среднесезонная динамическая плотность жуков по модельным участкам

Максимальная среднесезонная динамическая плотность жуков отмечена на участках 7п и 8п, а минимальная – на участке 3у (U-критерий, $p < 0,05$) (рис.). В течение периода проведения учетов видовое богатство и динамическая плотность жуков на участках с меньшей антропогенной нагрузкой (1у, 5у, 7п, 8п) был достоверно выше, чем в биотопах с высокой (2у, 3у, 4у и 6п) (U-критерий Манна–Уитни, $p < 0,05$). В состав ядра доминантов и субдоминантов изученных биотопов входит 4 – 5 видов, чья доля участия в среднем составляла 64 от общей численности. В пяти биотопах (4у, 5у, 6п, 7п, 8п) наиболее часто встречаемым доминантом являлся *Carabus regalis*. На территории биотопов 1у и 2у *Poecilus versicolor* являлся супердоминантом. *Harpalus rufipes* являлся доминантом на участках 3у, 4у, 5у, а также на терри-

тории всех рекреационных объектов (6 – 8 п). *Pterostichus melanarius* входил в состав доминантов на участках учета – 1у, 3у, 4у, 5у, 8п. Также некоторые виды входили в состав доминантами в единичных участках (например, *Amara communis* в 1у и *Pterostichus oblongopunctatus* в 7п).

При анализе трофической структуры сообществ выявлено абсолютное доминирование таксоценоза хищных видов – 79,6% (U-критерий, $p < 0,05$). В частности, наиболее многочисленный среди хищников был вид *Carabus regalis* (супердоминант на участках 4у, 5у, 6п, 7п, 8п, составляющий в среднем 30,54%) относится к бегаящей жизненной форме. Доля участия миксофитофагов на территории биотопов из группы с меньшей антропогенной нагрузкой была в 1,7 раза выше, чем в группе биотопов с высокой нагрузкой (U-критерий Манна–Уитни, $p = 0,057$ – на границе статистической значимости). Среди миксофитофагов наиболее многочисленными были *Harpalus rufipes* и *Amara communis*.

По гигропреферендуму зафиксировано доминирование мезофильных форм – 91% на всех участках (U-критерий, $p < 0,05$). Также отмечалось наличие мезогигрофильных видов (например, *Pterostichus niger* (на всех биотопах) и *Badister bullatus* (5у и 8п), единично представленных гигрофильных (*Limodromus assimilis*) и мезоксерофильных (*Microlestes minutulus*) форм.

Значительную долю участия в экологической структуре сообществ жу-желиц составляли представители лугово-полевой (36,6%) и лесной (34,5%) групп. Максимальный показатель численного участия лугово-полевых видов был зафиксирован на урбанизированных территориях – 52,3% (2у), а лесных – 56,4% (7п), на территории парковых зон.

Наибольшие индивидуальные показатели среднесезонной динамической плотности были характерны для видов – *Carabus regalis* (группа лесных видов) и *Poecilus versicolor* (группа лугово-полевых видов). Минимальные показатели численного участия в сложении экологической структуры сообществ жу-желиц были характерны для лугово-степных видов (в среднем 3,2%).

Кластерный анализ исследуемых биотопов позволил сформировать 4 отдельные группы при пороге разделения 0,54. Первые два кластера 5у, 7п, 8п и 1у, 2у, 4у – формировали обособленные группы в независимости от расположения участков (фаунистическое сходство – 60%). Для этих групп были характерны умеренная или низкая антропогенная нагрузка, высокое видовое богатство и высокие показатели среднесезонной динамической плотности видов. Биотопы 6п и 3у с характерным уровнем высокой антропогенной нагрузки образовали одиночные кластеры, что свидетельствует об их значительном отличии от остальных площадок учета за счет обедненного видового состава.

При анализе двух групп биотопов по индексу видового богатства Маргалефа выявлены достоверные различия между биотопами с высокой и низкой антропогенной нагрузкой (U-критерий, $p < 0,05$).

По индексу Шеннона группа биотопов с низкой антропогенной нагрузкой разнообразнее, чем группа с высокой, что было на границе статистической значимости (U-критерий, $p = 0,057$). Данные показатели могут говорить

о том, что в биотопах, подверженных большей антропогенной нагрузке (например участок бп), снижается количество видов и структура сообществ смещается в сторону нескольких видов-доминантов с явным преобладанием хищных форм, а для биотопов с повышенной гетерогенностью местообитаний (участки 5у и 8п) отмечается сохранение общего биоразнообразия.

Таким образом, комплексное исследование сообществ жужелиц эколого-функциональных зон Новосибирского района позволило выявить существенные различия в эколого-фаунистической структуре карабидокомплексов в зависимости от уровня антропогенного воздействия и типа модельного участка (парковые/селитебные зоны). Эффект влияния факторов антропогенной природы, выраженный в первую очередь снижением численности, обеднением видового состава и нарушением структуры доминирования, усиливался в зонах с высоким уровнем антропогенной/рекреационной нагрузки, переуплотненной почвой и обедненным растительным покровом. Биотопы, испытывающие меньшую антропогенную нагрузку, имеющие устоявшийся многолетний почвенно-растительный режим и высокую гетерогенность (периферийные части р.п. Краснообска, Лесопарк имени академика И. И. Синягина), характеризовались наиболее разнообразными комплексами жужелиц, относительно высокими показателями динамической плотности и значениями параметров биологического разнообразия. Благоприятные условия таких биотопов для сообществ жужелиц были связаны с оптимальным соотношением микроклиматических и эдафических условий, которые сформированы здесь в процессе неинтенсивного, многолетнего использования территории с сохраненным комплексом лугово-степного разнотравья.

Библиографический список

1. Beninde J., Veith M., Hochkirch A. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. DOI: 10.1111/ele.12427 // *Ecol. Lett.* 2015. Vol. 18. No. 6. P. 581–592.
2. Small parks in residential neighborhoods as habitats for ground-dwelling beetles, spiders, and ants / S. Koji, S. Furukawa, N. Ichijo, et. al. DOI: 10.1007/s11252-024-01605-2 // *Urban Ecosystems*. 2024. Vol. 27. No. 6. P. 2437–2451.
3. Чердинцева Т. М., Чердинцев А. А. Фауна жужелиц (Coleoptera, Carabidae) эколого-функциональных зон города Оренбурга // *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал*. 2015. № 3. С. 33–38.
4. Короткова А. А. Системные механизмы адаптации энтомокомплекса в урбанистических условиях: спец. 05.13.01 : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Тула, 2004. 39 с.
5. Чарина Е. В. Экологические аспекты энтомофауны парков г. Тулы : спец. 03.00.16 : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калуга, 2002. 17 с.
6. Еремеева Н. И. Структура и экологические механизмы формирования мезофауны членистоногих урбанизированных территорий: на примере г. Кемерово : спец. 03.00.16 : автореферат дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2006. 38 с.
7. Максимович К. Ю. Комплексы жужелиц (Coleoptera, Carabidae) агроценозов с разным уровнем интенсификации агротехнологий в условиях лесостепи Приобья : спец. 1.5.15. : дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2024. 190 с.

8. Бабенко А. С., Еремеева Н. И. Особенности населения жуужелиц урбанизированных территорий в условиях сибирских городов // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2007. № 1. С. 5–17.

9. Шарова И. Х. Жизненные формы жуужелиц. М. : Наука, 1981. 360 с.

10. Дудко Р. Ю., Любечанский И. И. Фауна и зоогеографическая характеристика жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) Новосибирской области // Евразийский энтомологический журнал. 2002. Т. 1. № 1. С. 30–45.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИСАХАРИДОВ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ *LAETIPORUS SULPHUREUS* И *FOMES FOMENTARIUS* ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СПЕРМАТОЗОИДОВ БЫКА К НЕГАТИВНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ -80 °С

**О. Н. Соломина¹, М. И. Сергушкина², А. Н. Худяков¹,
Т. В. Полежаева¹, О. О. Зайцева¹, Д. В. Попыванов³**

¹ Институт физиологии Коми научного центра
Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар, Россия, gameta@mail.ru,

² Вятский государственный университет,
г. Киров, Россия, tara.kovalkova@mail.ru,

³ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Россия, lfast@mail.ru

В статье представлены результаты исследования применения полисахаридов базидиальных грибов *Laetiporus sulphureus* и *Fomes fomentarius* в составе криопротекторов на параметры спермы быков голштинской породы при ее замораживании и хранении в условиях –80 °С в течение 28 суток.

Ключевые слова: полисахариды, криоконсервация, криоустойчивость, сперматозоиды, базидиальные грибы, *Laetiporus sulphureus*, *Fomes fomentarius*.

С момента открытия возможности сохранения функций у размороженных клеток прошло не одно десятилетие. Все это время ведется активный научный поиск оптимального раствора для повышения устойчивости клеток к криодеструкции. В основе большинства криоконсервирующих растворов присутствуют глицерин, стабильный буферный раствор, энергетические субстраты, желток или обезжиренное молоко. Известно, что в процессе замораживания-отогрева клеток происходит увеличение образования активных форм кислорода, в связи с этим в криоконсервирующие среды включают антиоксидантные добавки. Не смотря на большое разнообразие антиоксидантов [1], поиск их остается актуальным. В ряде статей авторы [2, 3] показывают антиоксидантную активность некоторых базидиальных грибов, что побудило нас к исследованиям с их использованием в криоконсервирующих растворах.

Целью настоящего исследования явилось изучение возможности применения полисахаридов базидиальных грибов *Laetiporus sulphureus* и *Fomes fomentarius* для повышения устойчивости сперматозоидов быка к негативному воздействию отрицательной температуры -80°C .

В работе использовали штаммы базидиальных грибов *Laetiporus sulphureus* и *Fomes fomentarius*, культуры которых выделяли методом изоляции мицелия из плодового тела. Собранные плодовые тела грибов были разрезаны стерильным скальпелем в условиях ламинарного бокса. Фрагмент, извлечённый из внутренней части каждого базидиокарпа, обработан 3% пероксидом водорода и помещён на агаризованное (2% агара) пивное сусло, разведённое до 4° по Баллингу [4].

Объектом исследования была сперма быков-производителей голштинской породы ($n = 20$; возраст – 2–3 г.), находящихся на предприятии ОАО «КировПлем» (Россия). Условия содержания поддерживались оптимальными и одинаковыми для каждого быка. Сперму собирали с использованием искусственного влагалища (42°C). Свежеполученную сперму разбавляли в соотношении 1:5 с контрольным или опытным раствором, в составе которого (вес/объем): 2,75 г ТРИС (AppliChem, Германия), 0,8 г глюкоза (NeoFroxx, Германия), 0,3 г мальтоза (NeoFroxx, Германия), 1,4 г лимонная кислота (CDH, Индия), 6 мл глицерин (АО Химреактив, Россия), 20 мл желток куриный, бидистиллированная вода до 100 мл. В опытный раствор добавляли по 0,25 г полисахаридов *Laetiporus sulphureus* или *Fomes fomentarius*.

Далее для оценки криозащитных свойств полисахаридных фракций смесь разливали по криопробиркам по 500 мкл и помещали в воздушную среду холодильника ТВЛ-К 050Б (ЗАО «ИнСовт», Россия) при температуре $+5^{\circ}\text{C}$ на 2 часа, после чего переносили в электрический морозильник Vestfrost (Дания) при температуре -80°C для хранения. Отогрев осуществляли в водяной ванне при $+37^{\circ}\text{C}$ через 28 суток хранения.

Анализ биологических параметров спермы до и после охлаждения проводили с помощью системы Аргус-CASA [5], которая включала фазово-контрастный микроскоп (CX43RF Olympus, Япония), программное обеспечение, цифровую камеру, ПК. Для этого каплю сперматозоидов быков вносили в счетную камеру Маклера (Counting chamber Makler®, Sefi Medical, Israel) и накрывали покровным стеклом. Исследовали каплю спермы на следующих этапах: нативную, после смешивания с растворами до консервации и после отогрева. Подвижность сперматозоидов, распределение скорости и кинематика были проанализированы 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 $25\text{ }\mu\text{m/s}$, низкий уровень VAP 5,0, VSL $0,05\text{ }\mu\text{m/s}$). Вся совокупность зафиксированных клеток делилась по характеру движения на три популяции – прогрессивные, непрогрессивные и неподвижные. У популяции прогрессивно подвижных сперматозоидов оценивали следующие показатели: криволинейную скорость

VCL (микрон/сек), прямолинейную скорость VSL (микрон/сек), среднюю скорость пути VAP (микрон/сек), амплитуду бокового смещения головы ALH (микрон), среднее угловое смещение MAD (град), линейность LIN (%), колебание WOB (%), прямолинейность STR (%), перекрестная частота биений BCF (Гц). Оценивали не менее 200 сперматозоидов по каждому параметру подвижности из предусмотренных протоколом исследования программы AprycCASA.

Оценку целостности ДНК сперматозоидов проводили по методу Martins et al., 2007 с использованием акридинового оранжевого [5] и микроскопа тринокулярного люминесцентного Микромед 3 ЛЮМ (Россия). Для этого на предметном стекле при 37°C 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 °C) в гистологических банках. Затем предметные стёкла высушивали на воздухе вертикально, обрабатывали буфером (15 ммоль/л $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и 80 ммоль/л лимонной кислоты; pH = 2,5) в течение 10 мин при 75 °C. Далее окрашивали раствором акридинового оранжевого (0,2 мг/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 повреждённой, тогда как при зелёной флуоресценции ДНК считали неповрежденной. Подсчёт проводили на 100 клеток (%).

С использованием красителя пропидий йодида (Servicebio, Китай) выполнена оценка целостности мембран сперматозоидов до и после криоконсервации [6]. К 1 мл клеточной суспензии в PBS (200 мкл спермы, 800 мкл PBS) добавляли 20 мкл раствора пропидия йодида (100 мкг/мл, Servicebio, Китай) и инкубировали 30 мин при температуре +37 °C. Суспензия клеток спермы была нанесена мазком на стеклянную пластинку и высушена на воздухе. Мазки исследовались с помощью люминесцентного микроскопа Микромед 3 ЛЮМ (Россия). В каждом мазке было оценено 100 сперматозоидов, окрашенные пропидий йодидом считали нежизнеспособными, с повреждённой мембраной. Неокрашенные клетки оценивались как жизнеспособные.

Статистическая обработка данных проведена на предмет нормального распределения в тесте Шапиро-Уилка. Оценка различий выполнена по непараметрическому критерию Манна-Уитни при $p < 0,05$. Результаты исследования представлены в виде медианы, 25 и 75 центилей (Me, Q1, Q3).

Согласно таблице 1, исходно показатели движения сперматозоидов достоверных различий при смешивании с контрольным и опытными растворами не имеют.

Таблица 1

**Количество сперматозоидов (%) с разным характером движения
после смешивания спермы с разбавителем ТРИС
до замораживания (Me, Q1-Q2)**

Серия	Характер движения		
	прогрессивные подвижные	непрогрессивные подвижные	неподвижные
Сперма с контрольным раствором	40 (40÷53)	43 (23÷43)	17 (17÷25)
Сперма с полисахаридами <i>Laetiporus sulphureus</i>	39 (39÷47)	46 (39÷46)	14 (14÷15)
Сперма с полисахаридами <i>Fomes fomentarius</i>	43 (43÷55)	36 (30÷36)	15 (15÷21)

Примечание: * – отличие от показателя «сперма с контрольным раствором» статистически значимо $p < 0,05$.

Из данных, представленных в таблице 2, следует, что количество подвижных сперматозоидов через 28 суток хранения при -80°C было выше в опытных средах с полисахаридами *L. sulphureus* и *F. fomentarius*.

Таблица 2

**Количество сперматозоидов (%) с разным характером движения
после смешивания спермы с контрольным и опытными растворами
после 28 суток хранения при -80°C (Me, Q1-Q2)**

Серия	Характер движения		
	прогрессивные подвижные	непрогрессивные подвижные	неподвижные
Сперма с контрольным раствором	7 (6÷12)	5 (5÷8,75)	85 (84,25÷89)
Сперма с полисахаридами <i>Laetiporus sulphureus</i>	22 (19÷28)*	9 (6÷11)	70 (69,25÷74,75)*
Сперма с полисахаридами <i>Fomes fomentarius</i>	14 (14÷32,25)*	7 (7÷13,25)*	74 (65,75÷80,5)*

Примечание: * – отличие от показателя сперма с контрольным раствором статистически значимо $p < 0,05$.

При этом у всех подвижных сперматозоидов прямолинейная (VSL) и средняя траекторная (VAR) скорости движения были одинаковыми, согласно данным таблицы 3. Однако показатели криволинейной скорости (VCL), перекрестной частоты биения (BCF), среднего углового смещения (MAD), линейности движения (LIN) были выше в пробах с раствором, в составе которого были использованы полисахариды *L. sulphureus*.

При определении целостности ДНК сперматозоидов при окраске акридиновым оранжевым после размораживания через 28 суток хранения выявлено достоверно большее количество сохраненных сперматозоидов при использовании опытных растворов по сравнению с контрольным.

Таблица 3

Показатели подвижности сперматозоидов быка (Me, Q1-Q3, %) через 28 суток хранения (-80 °С) в контрольной и опытной средах

Показатель подвижности	Сперма в растворе		
	контроль	с полисахаридами <i>F. fomentarius</i>	с полисахаридами <i>L. sulphureus</i>
VAP (µm/s)	31,5 (22,8–42,7)	33,2 (23,2–43,6)	34,5 (28,8–43,2)
VSL (µm/s)	31,5 (23,8–38,3)	30,1 (21,2–43,1)	29,6 (20,4–41,2)
VCL (µm/s)	64,3 (52,7–74,0)	67,5 (60,0–74,6)	69,4 * (58,4–80,2)
MAD (°)	52,8 (44,8–62,1)	49,7 (43,6–64,5)	47,0 * (44,1–56,7)
LIN (%)	40,1 (31,7–53,4)	44,1 (31,7–55,0)	47,7 * (32,5–56,3)
BCF (Hz)	51,4 (32,7–63,5)	49,1 (32,0–65,5)	52,3 (38,0–72,6)

Примечания: VAP – средняя траекторная скорость; VSL – прямолинейная скорость; VCL – криволинейная скорость; MAD – средний угловой градус; LIN (VSL/VCL) – линейность; BCF – перекрёстная частота биений; * – отличие от показателя с глицерином статистически значимо $p < 0,05$; $n = 60$.

Также установлено, что при использовании в среде полисахаридов любого из базидиальных грибов (*L. sulphureus* / *F. fomentarius*) проницаемость для пропидия йодида была достоверно ниже по сравнению с использованием контрольного раствора.

Таким образом, при исследовании выявлены способности полисахаридов базидиальных грибов *Laetiporus sulphureus* и *Fomes fomentarius* сохранять важнейшие показатели сперматозоидов на достаточном уровне после негативного воздействия отрицательной температуры –80 °С.

Библиографический список

1. 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. No. 4. P. 745–756.
2. Kalko E. I. Antioxidant activity of submerged mycelium extracts from higher *Basidiomycetes mushrooms* // International scientific review of the problems of natural sciences and medicine : II international correspondence scientific specialized conference. (April 27–28, 2018). Boston : Problems of science, 2018. P. 17–20.
3. Unleashing the Biological Potential of *Fomes fomentarius* via Dry and Wet Milling / A. K. Darkal, M. M. Zuraik, Y. Ney, et al. DOI: 10.3390/antiox10020303 // Antioxidants (Basel). 2021. Vol. 10. No. 2. P. 1–21.
4. Попыванов Д. В., Широких А. А., Злобина Ю. А. Находка теплолюбивого гриба *Laetiporus sulphureus* на территории г. Кирова. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-181-189 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 181–189.
5. Применение полисахаридов базидиальных грибов для криоконсервации спермы быков голштинской породы / Т. В. Полежаева, А. Н. Худяков, О. Н. Соломина и др.

DOI: 10.25750/1995-4301-2025-2-198-207 // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 2. С. 198–207.

6. Сравнительная характеристика методов выделения клеток сперматогенного эпителия / Е. А. Пономаренко, О. В. Макарова, А. М. Косырева и др. DOI: 10.31088/SEM2019.08.03.08 // Клиническая и экспериментальная морфология. 2019. Т. 8. № 3. С. 55–63.

ОЦЕНКА ПЛОДОВИТОСТИ ПОЛЕВОК-ЭКОНОМОК, ОТЛОВЛЕННЫХ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ И КОНТРОЛЬНОМ УЧАСТКАХ

Н. Н. Старобор, О. В. Раскоша

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

В работе представлены результаты по оценке плодовитости у полевкок-экономок (*Alexandromys oeconomicus* Pall.) из природной популяции в фазу максимальной численности, обитающей на территориях с различным уровнем естественного радиационного фона в Ухтинском районе Республики Коми, а также у животных в условия вивария.

Ключевые слова: плодовитость, полевки-экономки, малые дозы, ионизирующее излучение, морфометрия, сперматозоиды.

Территории с повышенным радиационным фоном антропогенного происхождения привлекают внимание специалистов из разных научных областей. В отделе радиоэкологии Института биологии уже много лет изучают, как животные адаптируются к обитанию в условиях радиоактивного загрязнения. Одним из признанных объектов такого мониторинга являются мелкие грызуны, для которых характерен быстрый темп размножения. В связи с этим их репродуктивные характеристики представляют особый интерес при изучении механизмов адаптации к изменившейся среде.

Цель работы заключалась в изучении плодовитости у самок и оценке качества сперматозоидов у самцов полевкок-экономок (*Alexandromys oeconomicus* Pall., 1776), обитающих в условиях нормального и повышенного радиационного фона.

Плодовитость полевкок-экономок проанализирована по результатам вскрытия 168 самок; 56 с контрольного участка (1984, 1995, 1998, 2005 и 2009 гг.), 59 с радиевого участка (1984, 1995, 1998 и 2009 гг.) и 53 с урано-радиевого участка (1987, 1995 и 1998 гг.). Отлов животных в годы исследований проводили во второй половине июля, в период максимальной численности на контрольном (γ -фон – 0,10–0,15 мкЗв/ч), радиевом (0,50–20,0 мкЗв/ч) и урано-радиевом участках (2,0–40,0 мкЗв/ч). Фазы численности популяций полевки-экономки на участках представлены в работах [1, 2]. Анализ плодови-

тости у самок проводили с учетом их возраста (сеголетки или перезимовавшие особи), подсчет плацентарных пятен осуществляли согласно [3], количество эмбрионов в матке, число желтых тел в яичниках определяли по [4].

У самок, отловленных с контрольного и радиевого участков в 2009 и 2022 гг. плодовитость изучали в условиях вивария в УНУ «Научная коллекция экспериментальных животных» (<https://ckp-rf.ru/catalog/usu/471933/>). Для разделения возрастных и сезонных эффектов на плодовитость полевок, подвергавшихся радиационному воздействию, мы использовали перекрёстную схему (в оба года отлова одни и те же самки были оценены в разном возрасте). В 2009 г. оценивали плодовитость у молодых сеголеток зимой (с декабря по февраль), и у этих же самок в более старшем возрасте – в весенне-летний период (с мая по июль); в 2022 г. — наоборот (у молодых – летом, у старшей возрастной группы – зимой). Для этого в 2009 г. неполовозрелых животных с участков доставляли в виварий, где после достижения половозрелого состояния их скрещивали для получения потомства. Плодовитость у всех самок оценивали по числу детенышей. В этом же году у самцов-сеголеток проводили морфометрический анализ сперматозоидов (по 50 на каждую особь) по схеме Т. Г. Аксеновой [4] с применением программы ImageJ (USA) [5]. В 2022 г. из сеголеток самцов и самок в 1–3 день после отлова формировали пары. В этом случае плодовитость оценивали по числу детенышей, родившихся в течение 25 дней после образования пары, а также у отловленных беременных самок. Статистический анализ данных проводили с применением ф-критерия Фишера и t-критерия Стьюдента.

Полученные результаты показали, что средние значения плодовитости у самок из природных популяций, установленные по числу плацентарных пятен и эмбрионов, не зависели от возраста животных и участка отлова. У сеголеток со всех исследуемых участков число плацентарных пятен на одну самку составляло от $6,4 \pm 0,4$ до $7,1 \pm 0,4$, у перезимовавших самок – $6,3 \pm 0,7$ до $6,5 \pm 0,6$. Среднее число эмбрионов на одну самку у сеголеток было от $6,8 \pm 0,3$ до $7,4 \pm 0,5$, у перезимовавших – от $6,8 \pm 0,4$ до $7,7 \pm 0,6$. Несоответствие между числом плацентарных пятен и эмбрионов может быть обусловлено сроками сохранения пятен [6].

При изучении плодовитости (2009 г.) в условиях вивария обнаружено, что в период с декабря по февраль у молодых самок с контрольного ($n = 7$) и радиевого участков ($n = 9$) показатели плодовитости были схожи ($7,0 \pm 1,7$ и $6,8 \pm 1,1$ детенышей на одну самку соответственно). При этом у самок с обоих исследуемых участков максимальное число детенышей в пометах не превышало 6 особей. В период с мая по июль у контрольных самок ($n = 3$) суммарно родилось $8,0 \pm 1,2$ детенышей на самку, а у самок ($n = 6$) с радиевого участка число родившихся детенышей на одну самку возрастало – $12,5 \pm 2,5$. Оказалось, что у самок с радиевого участка 26,7% пометов состояли из 7–8 детенышей, тогда как у контрольных животных число детенышей в одном помете по-прежнему не превышало 6 особей.

В 2022 г. у самок сеголеток, отловленных с радиевого участка, родилось $6,7 \pm 0,4$ детенышей на самку и было выше ($p \leq 0,001$), чем у контрольных ($5,1 \pm 0,2$). При этом у полевок с радиевого участка 75% пометов, состояли из 7–8 детенышей, тогда как у контрольных полевок число детенышей в помете было не более 6 особей. Полученные данные свидетельствуют в пользу того, что для животных, обитающих на радиоактивно загрязненном участке, в летний период размножения характерно повышение плодовитости. Оценка плодовитости у этих же животных в зимний период показала, что у самок ($n = 5$) с контрольного участка суммарно родилось $15,4 \pm 1,9$ детеныша на одну самку, а у животных с радиевого участка было меньше ($10,5 \pm 1,5$; $p \leq 0,05$). Несмотря на снижение плодовитости у самок с радиевого участка, у них по-прежнему появлялись пометы, в которых рождается по 7–8 детенышей (10,5%), тогда как у контрольных животных число детенышей в одном помете было не более 6 особей.

При морфометрическом анализе сперматозоидов у самцов, отловленных на радиевом участке, по сравнению с контрольными животными, выявленные изменения, такие как уменьшение длины головки сперматозоида ($p \leq 0,05$), более длинные средняя часть хвоста и общая длина хвоста, направлены на увеличение скорости их передвижения и фертильности [7]. С другой стороны, у облученных самцов была повышена частота встречаемости сперматозоидов с морфологически дефектными головками ($p \leq 0,05$), что может отразиться на снижении оплодотворяющей способности этих половых клеток.

Таким образом, у полевок-экономок, отловленных из природных популяций на территориях с повышенным радиационным фоном в фазу максимальной численности, отличий в плодовитости у самок сеголеток и перезимовавших не обнаружено. В условия вивария у молодых сеголеток, отловленных с радиевого участка в летний период, выявлено увеличение плодовитости. Кроме того, у самок с радиевого участка в обеих возрастных группах появлялись пометы с 7–8 детенышами, тогда как у самок с контрольного участка в пометах было не более 6 детенышей. Обнаруженные изменения некоторых линейных параметров сперматозоидов у самцов, обитающих на радиевом участке, направлены на поддержание их фертильности в условиях повышенного радиационного фона.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН теме «Формирование ответных реакций на действие малых доз ионизирующего излучения и механизмы трансформации форм нахождения радионуклидов в биосистемах», № 125020501526-3.

Библиографический список

1. Биологические эффекты радиоактивного загрязнения в популяциях мышевидных грызунов / А. Г. Кудяшева, Л. Н. Шишкина, О. Г. Шевченко и др. Екатеринбург : Изд-во УрО РАН, 2004. 214 с.
2. Ермакова О. В., Раскоша О. В. Популяционная характеристика полёвки-экономки в радиоэкологических исследованиях. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-101-107 // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 101–107.

3. Тупикова Н. В. Изучение размножения и возрастного состава популяции мелких млекопитающих // Методы изучения природных очагов болезней человека. М. : Медицина, 1964. С. 154–191.
4. Аксенова Т. Г. Особенности строения сперматозоидов и их значение в систематике серых полевок (*Rodentia, Microtus*) // Труды Зоологического института АН СССР. 1978. Т. 79. С. 91–101.
5. Collins T. J. ImageJ for microscopy. DOI: 10.2144/000112517 // BioTechniques. 2007. Vol. 43. No. 1. P. 25–30.
6. Ермакова О. В. Сроки сохранения плацентарных пятен у полевки-экономки (*Alexandromys oeconomus*). DOI: 10.1134/S0044513419040056 // Зоологический журнал. 2019. Т. 98. № 6. С. 714–718.
7. Morphological diversity of sperm: A mini review / S. Prakash, E. Prithiviraj, S. Suresh, et al. // Iran J. Reprod. Med. 2014. Vol. 12. No 4. P. 239–242.

МОЛЛЮСКИ ПОЙМЕННЫХ ОЗЁР ЗАПОВЕДНИКА «НУРГУШ»

Т. Г. Шихова¹, Т. И. Кочурова², Т. И. Кутявина³

¹ ФГБНУ ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства
имени профессора Б. М. Житкова,
г. Киров, Россия, biota.vniioz@mail.ru,

² Государственный природный заповедник «Нургуш»,
г. Киров, Россия, kochurovati@mail.ru,

³ Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
г. Сыктывкар, Россия, kutyavinati@gmail.com

Анализируются видовое разнообразие и количественные показатели моллюсков в зообентосе четырёх озёр поймы среднего течения р. Вятки в 2022–2025 гг. Выявлено 45 видов 8 семейств (*Bivalvia* – 17, *Gastropoda* – 28). Наименьшее сходство малакофаун отмечено в озёрах более удалённых в сукцессионном ряду (Нургуш–Кривое–Нефёдово–Калеичи): Калеичи–Кривое и Калеичи–Нургуш (0,34 и 0,39). Доля моллюсков в общей численности зообентоса нарастала в этом ряду озёр от 1,9 до 45,7%. По биомассе моллюски входили в субдоминантные и доминантные группы зообентоса.

Ключевые слова: малакофауна, бассейн Вятки, сукцессия озёр, Кировская область.

Видовое разнообразие гидробионтов пойменных озёр зависит от комплекса биотических и гидрохимических факторов, обусловленных естественными процессами эвтрофирования, от морфометрии водоёмов, зоогенных и антропогенных воздействий и погодно-климатических условий [1, 2]. Надёжными индикаторами отдельных стадий развития пойменных водоёмов, а также их экологического состояния служат беспозвоночные макрозообентоса.

С целью выявления особенностей видового состава моллюсков, а также их количественного присутствия в озёрно-старичных экосистемах среднего

течения Вятки были исследованы водоёмы государственного природного заповедника «Нургуш», расположенного на участке широкой поймы реки. Отбор гидробиологических проб проведён в весенне-летний период 2022–2025 гг. по стандартной методике [3] на четырёх озёрах-старицах разного сукцессионного статуса зарастания по луго-болотному типу: оз. Нургуш – третье по величине озеро заповедника (длина 1,3 км, максимальная глубина 5,9 м), самое молодое из исследуемых озёр; оз. Кривое – самое крупное озеро заповедника (длина 4,4 км, максимальная глубина – 2,2 м) с более выраженной степенью зарастания в сравнении с оз. Нургуш; оз. Нефёдово – среднее по величине (длина около 1 км) с высокой степенью зарастания в северной части и сохранением больших глубин (до 6,3 м в южной части); оз. Калеичи – самое маленькое (длина около 300 м) и наиболее заросшее с мощной сплавиной вдоль береговой линии.

По классификации П. В. Иванова [4] водные объекты относятся к очень малым озёрам (Нургуш, Кривое, Нефёдово) и озеркам (Калеичи), иллюстрирующим последовательный эволюционный ряд их развития: увеличение степени зарастания, уменьшение водного зеркала и обмеление. В летнюю межень 2025 г. выполнен отбор проб воды для физико-химического и биологического анализа. Идентификация моллюсков проведена с использованием определителей [5–7]. Рассчитан индекс сходства Чекановского-Сёренсена [8].

Малакофауна пойменных водоёмов, как правило, отличается высоким видовым разнообразием. Изученность её в заповеднике «Нургуш», включающем более 80 малых водоёмов, ещё недостаточно полная [9–12]. Результаты проведённых исследований существенно дополняют таксономический перечень пресноводных моллюсков данного участка бассейна Вятки. В рассматриваемых озёрах, с учётом ранее опубликованных данных, установлено обитание 45 видов 24 родов 8 семейств Bivalvia и Gastropoda (табл. 1).

В зообентосных пробах моллюски характеризовались высокой встречаемостью – более 80%, и большим таксономическим разнообразием – от 23% (в оз. Нургуш и Кривое) до 38% (в оз. Нефёдово и Калеичи) видового состава бентосных гидробионтов.

В целом количество таксонов мягкотелых во всех озёрах сходно. Большинство видов (80%) принадлежит β-мезосапробной группе организмов, обитающих в водоёмах с умеренным присутствием органических веществ. Виды, выдерживающие существенное органическое загрязнение (β-α-мезосапробы), составляют 12%, а из олигосапробных и о-β-мезосапробных – 8%.

Сравнение видового состава с применением индекса общности Чекановского-Сёренсена показало большое сходство малакофаун в озёрах Нефёдово–Калеичи $K_{C-S} = 0,65$, а наименьшее сходство в озёрах Кривое–Калеичи $K_{C-S} = 0,34$ и Нургуш–Калеичи $K_{C-S} = 0,39$. Между территориально удалёнными озёрами (Нургуш–Калеичи, Кривое–Калеичи, Нургуш–Нефёдово) отмечалась меньшая общность малакофаун $K_{C-S} < 0,5$. В то время как в озёрах, расположенных рядом в сукцессионном ряду (Нургуш–Кривое–Нефёдово–Калеичи), таксономическая общность превышала 0,5. Индекс сходства в оз. Нургуш–

Кривое $K_{C-S} = 0,52$; в оз. Кривое–Нефёдово $K_{C-S} = 0,56$; в оз. Нефёдово–Калеичи $K_{C-S} = 0,65$.

Таблица 1

Малакофауна озёр заповедника «Нургуш»

Таксоны	Озера			
	I	II	III	IV
1	2	3	4	5
сем. Unionidae				
<i>Unio (Crassiana) crassus</i> (Philipsson in Retzius, 1788)	+	–	–	–
<i>U. (Unio) tumidus</i> (Philipsson in Retzius, 1788)	+	–	–	–
<i>U. (Unio) pictorum</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	–	–
<i>Anodonta (Anodonta) cygnea</i> (Linnaeus, 1758)		+	–	–
<i>A. (Colletopterum) anatina</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	–	–
сем. Sphaeriidae				
<i>Sphaerium (Sphaerium) corneum</i> (Linnaeus, 1758)	+	–	–	–
<i>Sph. (Nucleocyclus) nucleus</i> (Studer, 1820)	+	–	+	+
<i>Sph. (Parasphaerium) nitidum</i> Clessin in Westerlund, 1877	–	–	–	+
<i>Sph. (Rivicoliana) rivicola</i> (Leach in Lamarck, 1818)	+	–	–	–
<i>Sphaerium</i> sp.	+	–	–	+
<i>Musculium (Musculium) creplini</i> (Dunker, 1845)	–	–	–	+
<i>Euglesa (Henslowiana) suecica</i> (Clessin in Westerlund, 1873)	–	+	–	–
<i>E. (Henslowiana) baudonii</i> (Clessin in Westerlund, 1873)	+	–	–	–
<i>E. (Cingulipisidium)</i> sp.	–	–	+	+
<i>E. (Roseana) silesiaca</i> Starobogatov et Korniushev, 1991	–	–	–	+
<i>E. (Euglesa) likharevi</i> (Korniushev, 1991)	+	–	+	+
<i>E. (Euglesa)</i> sp.	–	–	+	
<i>E. (Pseudeupera) subtruncata</i> (Malm, 1855)	–	+	+	+
<i>E. (Pseudosphaerium) pseudosphaerium</i> (Favre, 1927)	–	–	+	+
<i>E. (Cyclocalyx) scholtzii</i> (Clessin, 1873)	–	–	–	+
сем. Viviparidae				
<i>Viviparus (Contectiana) contectus</i> (Millet, 1813)	+	+	+	+
сем. Valvatidae				
<i>Valvata (Valvata) cristata</i> Müller, 1774	+	+	+	–
<i>V. (Atropidina) macrostoma</i> Mörch, 1864	–	–	–	+
<i>V. (Atropidina) depressa</i> C. Pfeiffer, 1821	+	+	+	+
<i>V. (Atropidina)</i> sp.	–	+	–	–
<i>V. (Sibirovalvata) sibirica</i> Middendorff, 1851	–	–	+	+
сем. Bithyniidae				
<i>Bithynia (Bithynia) tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	–
<i>B. (Codiella) leachii</i> (Sheppard, 1823)	–	+	+	–
<i>B. (Opistorchophorus) troschelii</i> (Paasch, 1842)	+	–	+	+
сем. Lymnaeidae				
<i>Lymnaea (Lymnaea) stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	–	–
<i>Ampullaceana (Peregriana) ampla</i> (Hartmann, 1821)	+	–	–	–
<i>A. (Peregriana) balthica</i> (Linnaeus, 1758)	+	–	–	–
<i>A. (Peregriana) lagotis</i> (Schränk, 1803)	+	–	–	–
<i>Stagnicola (Stagnicola) palustris</i> (O.F. Müller, 1774)	–	+	–	–
<i>Radix (Radix) parapsilia</i> Vinarski et Glöer, 2009	+	+	–	–
<i>Galba (Galba) truncatula</i> (O.F. Müller, 1774) s. lato	–	–	+	+

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
сем. Acroloxiidae				
<i>Acroloxus (Acroloxus) lacustris</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+
сем. Planorbidae				
<i>Planorbarius corneus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+
<i>Planorbis (Planorbis) planorbis</i> (Linnaeus, 1758)	–	+	–	+
<i>Anisus (Disculifer) vortex</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	+	+
<i>A. (Anisus) spirorbis</i> (var. <i>dazuri</i>) (Linnaeus, 1758)	–	–	+	–
<i>Armiger crista</i> (Linnaeus, 1758)	–	+	+	+
<i>Bathyomphalus crassus</i> (Da Costa, 1778)	–	–	+	+
<i>Gyraulus (Gyraulus) albus</i> (O.F. Müller, 1774)	+	+	+	
<i>Gyraulus (Gyraulus) stroemi</i> (Westerlund, 1881)	–	–	–	+
<i>G. (Gyraulus) stelmachotius</i> (Bourguignat, 1860)	–	+	+	–
<i>Lamorbis (Lamorbis) riparius</i> (Westerlund, 1865)	–	–	–	+
<i>Segmentina nitida</i> (O.F. Müller, 1774)	+	–	–	+
<i>Hippeutis complanatus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+
Количество таксонов	25	21	23	26

Примечание: озера I, II, III, IV – соответственно Нургуш, Кривое, Нефёдово, Калеичи; * – по литературным данным [9]; прочерк означает, что вид не обнаружен.

Сравнение малакофаун относительно молодого и глубокого оз. Нургуш и мелководного зарастающего оз. Калеичи показало существенное различие таксономического состава при почти одинаковом количестве видов. В них выявлено только десять общих таксонов (табл. 1). Причём, если в оз. Калеичи обнаружено четыре β - α -мезосапробных вида: *Sphaerium nucleus*, *S. nitidum*, *Euglesa subtruncata*, *Anisus spirorbis*, то в оз. Нургуш из них только два: *S. nucleus* и *S. corneum*.

Это согласуется с результатами физико-химического и биологического анализа воды. Озеро Калеичи значительно выделяется из исследуемых озёр высоким показателем цветности воды, а также содержанием органических веществ и растворённого кислорода, что свидетельствует о более высокой степени эвтрофированности данного водоёма. В этом озере величина химического потребления кислорода почти в 2 раза больше, чем в трёх других озёрах, а содержание растворённого кислорода, напротив, почти в 2–3 раза меньше, что оказывает неблагоприятное воздействие на жизнедеятельность гидробионтов и может служить причиной заморных явлений. В то же время во всех озёрах присутствуют и олигосапробные виды – показатели чистых вод: *Acroloxus lacustris*, *Armiger crista* (табл. 1).

В бентосных сообществах исследуемых водоёмов в 2023–2025 гг. моллюски играли весьма существенную роль. Их средняя численность находилась в пределах от 100 экз./м² (оз. Нургуш) до 720 экз./м² (оз. Кривое). Доля в общей численности зообентоса нарастала в ряду оз. Нургуш – оз. Кривое – оз. Нефёдово – оз. Калеичи от 1,9 до 45,7 % (табл. 2).

Таблица 2

Доля моллюсков в составе озёрного макрозообентоса

Доля в составе макрозообентоса	Озера			
	Нургуш	Кривое	Нефёдово	Калеичи
Mollusca в общем видовом составе, %	22,7	23,1	38,9	38,3
Gastropoda в общем видовом составе, %	12,1	12	25,5	34
Mollusca в общей численности, %	1,9	2,3	12,3	45,7
Bivalvia в общей численности, %	1,7	1,1	4	16,4
Gastropoda в общей численности, %	0,2	1,2	8,3	29,3
Mollusca в общей биомассе, %	54,1 (99,6*)	8 (96,3*)	30	34,8
Bivalvia в общей биомассе, %	53,8 (99,6*)	4,7 (96,2*)	9,9	19
Gastropoda в общей биомассе, %	0,3	3,3	20,1	15,8
Mollusca в численности фитофильных (зарослевых) сообществ, %	5,6	4,7	2	1,8

Примечание: * – с учётом крупных двустворчатых моллюсков.

Средняя биомасса моллюсков изменялась от 0,88 г/м² (оз. Нефёдово) до 2 г/м² (оз. Нургуш и Кривое), а с учётом крупных двустворчатых моллюсков достигала 412 г/м² в оз. Нургуш и 611 г/м² – в оз. Кривое. По биомассе моллюски входили в число субдоминантных и доминантных групп зообентоса всех озёр, а в бентосных сообществах озёр Нургуш и Кривое выступали как абсолютные доминанты. Доля двустворчатых моллюсков в биомассе общего бентоса снижалась в ряду от более молодого оз. Нургуш к меньшим по площади и зарастающим (Нефёдово, Калеичи) (табл. 2). Наиболее ярко эта тенденция обозначилась в отношении биомассы крупных Unionidae. Доля брюхоногих моллюсков в общей биомассе, видовом составе и общей численности увеличивалась от оз. Нургуш к озёрам Нефёдово и Калеичи.

Таким образом, в рассмотренных четырёх озёрах разного сукцессионного статуса выявлено 45 видов 8 семейств (Bivalvia – 17, Gastropoda – 28). Наименьшее сходство малакофаун отмечено в озёрах, более удалённых в сукцессионном ряду развития: Калеичи–Кривое и Калеичи–Нургуш (индекс сходства Чекановского-Сёренсена 0,34 и 0,39). Доля моллюсков в общей численности зообентоса нарастала в сукцессионном ряду озёр от молодого к более старому (Нургуш – Кривое – Нефёдово – Калеичи) от 1,9 до 45,7%. По биомассе моллюски во всех озёрах входили в число субдоминантных и доминантных групп зообентоса. Согласно результатам физико-химического и биологического анализа воды оз. Калеичи значительно отличается от других озёр высоким показателем цветности воды, повышенным содержанием органических веществ и меньшим количеством растворённого кислорода, что свидетельствует о более высокой степени эвтрофированности данного водоёма.

Библиографический список

1. Алимов А. Ф. Связь количества видов гидробионтов с морфометрическими характеристиками озёр и их продуктивностью // Доклады Академии наук. 2000. Т. 375. № 2. С. 268–271.

2. Трансформации экосистем пойменных водоемов в условиях современных природных и антропогенных изменений и возможные природоохранные стратегии / И. В. Башинский, Н. Г. Кадетов, В. А. Сенкевич и др. DOI: 10.31857/S0042132424010063 // Успехи современной биологии. 2024. Т. 144. № 1. С. 80–96.
3. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
4. Иванов П. В. Классификация озёр по величине и по их средней глубине // Бюллетень ЛГУ. 1948. № 21. С. 29–36.
5. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 6. Моллюски, Полихеты, Немертины. СПб. : Наука, 2004. 528 с.
6. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / под ред. В. Р. Алексеева и С. Я. Цалолихина. М.; СПб. : Тов-во науч. изданий КМК, 2016. 457 с.
7. Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С., Палатов Д. М. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод Восточной Европы и Кавказа. М. : Тов-во научных изданий КМК, 2025. 469 с.
8. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. Л. : Наука, 1982. 286 с.
9. Шихова Т. Г., Целищева Л. Г. Краткие сведения о фауне моллюсков участка «Нургуш» заповедника «Нургуш» // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Киров : ООО «Типография «Старая Вятка», 2013. Т. 2. С. 164–174.
10. Кочурова Т. И. Макрозообентос поверхностных водных объектов государственного природного заповедника «Нургуш» (участок «Нургуш») // Научные исследования как основа охраны природных комплексов заповедника «Нургуш» : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 30-летию гос. природного заповедника «Нургуш» (г. Киров, 11–13 сентября 2024 г.). Киров : ООО «Кировская областная типография», 2024. С. 62–87.
11. Шихова Т. Г., Целищева Л. Г. Новые факты о популяции *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) в реке Вятке (бассейн Волги). DOI: 10.35885/1996-1499-17-2-172-179 // Российский журнал биологических инвазий, 2024. Т. 15. № 2. С. 172–179.
12. Кочурова Т. И., Шихова Т. Г. Макрозообентос пойменного озера Калеичи // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Т. 8. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2025. С. 5–15.

Научное издание

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Материалы III Международной научно-практической конференции
22–23 апреля 2026 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 15.06.2026. Формат 60 x 84/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Усл. п. л. 21,18. Тираж 30 экз. Заказ 24.

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