



БИОДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

МАТЕРИАЛЫ

XXIII Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием
г. Киров, 17–19 ноября 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Вятский государственный университет»

Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук

Региональный оператор по обращению с ТКО – АО «Куприт»

**БИОДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ
ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ
СИСТЕМ**

Материалы
XXIII Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием

г. Киров, 17–19 ноября 2025 г.

Киров 2025

УДК 502.1(082)
Б632

Печатается по рекомендации Научного совета ВятГУ

Ответственный редактор:

Т. Я. Ашихмина, д-р техн. наук, профессор, зав. НИЛ биомониторинга Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук и Вятского государственного университета

Редакционная коллегия:

И. Ф. Чадин, директор, канд. биол. наук, **С. Г. Литвинец**, проректор, канд. с.-х. наук, **Л. И. Домрачева**, профессор, д-р биол. наук, **Л. В. Кондакова**, профессор, д-р биол. наук, **А. С. Олькова**, профессор, д-р биол. наук, **И. Г. Широких**, в. н. с., д-р биол. наук, **Т. А. Адамович**, доцент, канд. геогр. наук, **Е. В. Дабах**, с. н. с., канд. биол. наук, **М. А. Зайцев**, доцент, канд. пед. наук, **Г. Я. Кантор**, с. н. с., канд. техн. наук, **Е. А. Клековкина**, доцент, канд. геогр. наук, **Т. И. Кутявина**, с. н. с., канд. биол. наук, **С. В. Пестов**, доцент, канд. биол. наук, **В. В. Рутман**, м. н. с., **М. Л. Сазанова**, н. с., канд. биол. 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.

Б632 Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы ХХIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. (г. Киров, 17–19 ноября 2025 г.). – Киров : Вятский государственный университет, 2025. – 307 с.

ISBN 978-5-98228-293-4

В книгу вошли материалы ХХIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем», целью которой является обсуждение современных методов мониторинга состояния окружающей природной и природно-техногенной среды. Основное внимание уделено применению методов биоиндикации и биотестирования в оценке качества окружающей среды. Представлены результаты исследований химии и экологии почв. Рассмотрены особенности экологии различных организмов.

Материалы конференции предназначены для научных работников, преподавателей, специалистов природоохранных служб и ведомств, аспирантов, студентов высших и средних учебных заведений.

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

Конференция проводится в рамках Программы развития ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» и Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук.

УДК 502.1(082)

ISBN 978-5-98228-293-4

© Вятский государственный университет
(ВятГУ), 2025

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

Булдаков М. С., Пыстрина Т. Н. Материалы к вопросу удельной активности естественных радионуклидов в эпифитных лишайниках на примере <i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.	9
Герцен М. М., Переломов Л. В. Поглощение окситетрациклина глинистыми минералами.....	13
Жилина Д. А., Зыкина А. А., Земцова Е. А. Оценка загрязненности поверхностных вод и донных отложений реки Чахловицы.....	16
Загирова С. В., Дитц А. А., Дубровский Ю. А., Елсаков В. В., Кузнецов М. А., Лаптева Е. М., Манов А. В., Мигловец М. Н., Мыльникова Т. А., Осипов А. Ф. Мониторинг пуллов и потоков углерода в лесных биогеоценозах тестового полигона «Ляльский» (Республика Коми): основные итоги и перспективы	22
Каненкин Е. И. Влияние засоления почвы на рост, физиологию и фитотоксичность у растений	26
Лиханова И. А., Денева С. В., Пыстрина Т. Н., Железнова Г. В., Рудь А. А., Лаптева Е. М. Техногенез и специфика восстановления природных экосистем в условиях Арктической зоны Европейского северо-востока России.....	31
Мирненко Н. С. Экологическая устойчивость и индикаторная роль травянистых растений в урбанизированных экосистемах Донбасса	35
Мирненко Э. И. Современные тенденции в динамике фитопланктона Азовского моря и их связь с изменением гидрохимического режима.....	38
Перчиков Р. Н. Влияние модификации поверхности электродов углеродными нанотрубками на формирование электроактивной биоплёнки как основа биосенсора для экологического мониторинга.....	41
Сафонов А. И. Презентация книги «Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций»	44
Фокина А. И., Тропникова Т. Н. Изучение антиоксидантных свойств пары «витамин С – глутатион»	49
Фомина А. А., Немерюк В. И., Тихомирова Е. И. Биодиагностика техногенно загрязненных водоемов с помощью высшей растительности	52
Хето М. Х., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я. Динамика содержанияmonoоксида углерода в атмосферном воздухе городской среды.....	57
Хето М. Х., Рутман В. В. Исследование запахообразующих веществ на примере меркаптанов в атмосферном воздухе города.....	62
Шевкунова Т. В., Патова Е. Н. Оценка воздействия коммунально-бытовых сточных вод на рекреационный водоем в бассейне реки Сысолы (Республика Коми).....	66

СЕКЦИЯ 2 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

<i>Астанин С. С., Назаренко Н. Н., Свистова И. Д.</i> Оценка содержания нефтепродуктов и бенз(а)пирена в почвах рекреационных зон г. Воронежа.....	71
<i>Кочергина Д. Б., Пушкирева Е. А., Коваль Е. В.</i> Влияние зоогумуса <i>Hermetia illucens</i> на химические показатели обедненной почвы в условиях Северного Зауралья.....	75
<i>Михалицына Ю. С., Погудина Я. П.</i> Угольная зола как удобрение для городского озеленения на примере территории бывшего КВАТУ	80
<i>Олькова А. С., Черезова А. Т., Корякина А. С., Шеромов А. М.</i> Оценка качества почв еловых лесов методами биотестирования	85
<i>Перминова Е. М., Ковалева В. А., Лаптева Е. М., Виноградова Ю. В.</i> Диагностическая значимость почвенного микробиологического комплекса при оценке функционирования лесных экосистем в условиях техногенеза	88
<i>Прокашев А. М., Матушкин А. С., Пупышева С. А., Бородатый И. Л., Чепурнов Р. Р.</i> Дерново-карбонатные почвы Атарской Луки.....	92
<i>Скребенков Е. А., Бондаренко Н. Н., Денева С. В., Лаптева Е. М.</i> Запасы углерода в органогенных горизонтах в почвах на двучленных отложениях средней тайги	96
<i>Хето М. Х.</i> Влияние органических добавок на эффективность мелиорантов для щелочных засоленных почв	100
<i>Abdukholikov F. B., Karshibaev H. K., Abduraimov A. S., Jumanov J. A., Xujamkulov O. R., Norkulov M. M.</i> Ecological and technological principles of soil reclamation in degraded areas	105

СЕКЦИЯ 3 ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<i>Боков Н. А., Широких И. Г.</i> Местоположение актинобактерий в филогенетической структуре почвенных микробиомов Вятско-Камского Предуралья.....	111
<i>Кондакова Л. В., Ашихмина Т. Я.</i> Почвенные водоросли и цианобактерии Немдинского комплекса	116
<i>Кондакова Л. В., Коротких А. И., Домрачева Л. И.</i> Видовой состав фототрофов и сапротрофные группировки природных биопленок <i>Nostoc</i> <i>comptine</i>	119
<i>Концевая И. И., Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф., Дайнеко Д. В.</i> Использование эколого-трофических коэффициентов почвы для оценки состояния агроценоза	123

Кувичкина Т. Н., Ячкула А. А., Вайнштейн М. Б., Решетилов А. Н.	
Амперометрический метод оценки влияния солей меди и цинка на дыхательную активность хемолитотрофных ацидофильных бактерий <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	127
Лановая О. Д., Полиниченко А. Е., Хмелевцова Л. Е., Сазыкин И. С.	
Микробиом моллюска <i>Anadara kagoshimensis</i> как возможный индикатор загрязнения среды генами устойчивости к антибиотикам.....	130
Махлачева А. С. Биосинтетический и гидролитический потенциал стрептомицетов из аридных почв ГПЗ «Дагестанский».....	133
Миндубаев А. З., Чапоргина А. А., Мязин В. А., Бабынин Э. В., Балымова Е. С. Действие трибутилfosфата на близкородственные штаммы <i>Aspergillus niger</i>	138
Мокрушина С. Э., Широких И. Г. Оценка характера взаимодействий штаммов стрептомицетов	142
Ревякина К. В., Тарасов С. Е., Плеханова Ю. В., Быков А. Г., Хохлова Г. В., Вайнштейн М. Б., Решетилов А. Н. Влияние условий формирования биопленок <i>Rhodococcus ruber</i> на эффективность микробных топливных элементов	145
Седова Д. А., Егорова Е. А., Хмелевцова Л. Е., Березинская И. С., Сазыкин И. С. Оценка распространения генов бета-лактамаз у энтеробактерий, выделенных из сточных вод и поверхностной воды реки Дон.....	150
Тимербаева З. З., Шумилова М. А., Чaucов Ф. Ф. Культивирование цианобактерий Ижевского пруда	154
Широких А. А. Эпифитные миксомицеты Тулашора	157
Широких И. Г., Бородулина М. А. Антимикробная активность <i>Streptomyces</i> в почвах различного хозяйственного назначения	160
Широких И. Г., Махлачева А. С. Актиномицетные комплексы плауна годичного (<i>Lycopodium annotinum</i>)	163
Широких И. Г., Мокрушина С. Э. Продукция ауксинов изолятами стрептомицетов из разных субстратов скального обнажения известняка.....	167

СЕКЦИЯ 4

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ

В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Абдураимов А. С. Растительный покров Джизакской области (Республика Узбекистан)	172
Адамович Т. А., Белослудцева П. К. Цветки аронии, боярышника и рябины как перспективное сырье для косметики.....	174
Андрянова Ю. М., Мохонько Ю. М., Сергеева И. В. Биоиндикационный анализ экологической обстановки в некоторых городах Саратовской области	177

Бакулина А. В., Шуплецова О. Н. Цитологическая оценка генотипов ячменя в условиях токсичности ионов алюминия	182
Ефремова А. С., Адамович Т. А. Получение и изучение физико-химических свойств эфирного масла из цветков чубушника обыкновенного	186
Калинина А. В. Особенности распространения <i>Oxybaphus pustagineus</i> (Michx.) Sweet на трансформированных ландшафтах Донецкой Народной Республики	189
Калинина Ю. С. Экологические особенности декоративных весеннецветущих растений в Донбассе	193
Краев К. Ю., Соловьёва Е. С. Оптимизация метода экстракции беталаиновых пигментов свеклы обыкновенной	197
Ожегина С. Д., Мезрина М. С., Гаврюшева А. Ю., Волокитина Н. А., Фокина А. И. Изучение состава гидролатов зверобоя и тысячелистника	201
Окулова В. В., Товстик Е. В., Романова А. С., Шуплецова О. Н. Влияние продолжительности проращивания семян ячменя на накопление полифенолов в проростках	204
Осташева Т. В., Адамович Т. А. Получение хлорофилло-каротиновой пасты и изучение ее свойств	208
Романова А. С., Товстик Е. В., Окулова В. В., Шуплецова О. Н. Морфометрия листа как показатель накопления полифенолов в овсе	211
Смотрина Ю. А., Лаптева Е. М., Даљкэ И. В., Захожий И. Г. Продуктивность и биологический круговорот химических элементов в постагротенных экосистемах с сообществами <i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden.	216
Сошинков В. И., Ложкина А. О., Хохлова Д. А., Шабалкина С. В., Коледаева Е. В. Палинологический состав образцов мёда	220
Товстик Е. В., Шуплецова О. Н. Влияние почвенных стрессоров на функциональные признаки листьев растений-регенерантов ячменя	224
Тоинова С. А., Коледаева Е. В., Козвонин В. А. Выбор маркерных последовательностей ДНК для идентификации лекарственных растений <i>Rosa acicularis</i> L. и <i>Rosa majalis</i> L.	228
Фардеева М. Б., Шафигуллина Н. Р. Редкие виды растений как индикаторы перспективных природных комплексов для организации особо охраняемых территорий	232
Шутова Д. В., Соловьёва Е. С. Методика выделения индивидуального β -каротина для оценки биохимических процессов в растениях	237

СЕКЦИЯ 5
ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ
В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Горбунов Р. П., Автаева Т. А., Суходольская Р. А.

Изучение изменчивости формы насекомых методами геометрической морфометрии 241

Гордиенко Т. А., Суходольская Р. А., Горбунов Р. П., Вавилов Д. Н.

Структура сообщества герпетобионтов лиственных лесов Волжско-Камского заповедника 244

Гурьянова Д. А., Сиротина М. В. Оценка состояния популяции

Rana temporaria по комплексу признаков 249

Кутявина Т. И. Оценка степени загрязнения малого городского

водоёма по индикаторным организмам макрозообентоса 253

Максимович К. Ю., Домель А. Е., Федоров Д. С., Гостева С. И.

Жужелицы (Coleoptera, Carabidae) как объекты биологического мониторинга урбанизированных территорий (на примере р. п. Краснообск) 256

Марамохин Э. В., Голубев В. С. Редкий представитель энтомофауны

Chalcophora mariana L. на территории Костромского района Костромской области 262

Марченко М. Н. К методике биоиндикационных исследований почв, загрязненных пестицидами, с использованием дождевых червей 264

Пестов С. В., Обухов И. Д. Полевой сверчок (*Gryllus campestris*) –

новый вид насекомых для Кировской области 268

Таскаева А. А., Конакова Т. Н., Накул Г. Л., Фильчагина А. А.

Разнообразие и структура населения коллембол (Collembola) в почвах, подвергшихся воздействию сточных вод (на примере г. Воркуты, Республика Коми) 270

Фильчагина А. А., Таскаева А. А. Динамика таксоценов коллембол

(Collembola) в районе влияния очищенных сточных вод (на примере АО «Сыктывкарский ЛПК») 273

СЕКЦИЯ 6

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Джима С. В., Бродский В. А., Мое Н. Ч. Очистка сточных вод,

содержащих тяжелые металлы и пищевые красители, комбинированными методами сорбции и электрофлотации 277

Ивашикина Н. С., Христолюбов П. В., Жданова О. Б., Часовских О. В.,

Катаргина Н. И., Рассохин Д. В. Сравнительное изучение нематоцидного эффекта и действия на организм лабораторных животных эпифитных лишайников Кировской области 282

Красновских М. П., Никифоров Г. А., Курунова Е. А.,	
Ожегов Н. А., Мокрушин И. Г. Пиролиз под давлением полиэтилена и	
полипропилена	285
Летова М. И., Попыканов Д. В. Оптимизация питательной среды	
на основе растительных отходов для культивирования лекарственного гриба	
<i>Laetiporus sulphureus</i>	289
Мягкова А. С., Песцов Г. В., Третьякова А. В., Прокудина О. В.,	
Воронцов В. С. Использование целлюлозосодержащих отходов	
для культивирования мицелия гриба <i>Lentinula edodes</i> (шиитаке).....	293
Прокудина О. В., Песцов Г. В., Третьякова А. В., Мягкова А. С.	
Влияние некондиционного корма для аквакультуры на радиальный рост	
мицелия гриба <i>Hericium erinaceus</i>	296
Прокудина О. В., Песцов Г. В., Третьякова А. В., Мягкова А. С.	
Выращивание мицелия съедобных грибов на субстратах	
с добавлением корма для аквакультуры.....	299
Сырчина Н. В., Кропачева С. А. Оценка возможности использования	
побочных продуктов производства кальциевой селитры для раскисления	
верхового торфа	301

СЕКЦИЯ 1

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

МАТЕРИАЛЫ К ВОПРОСУ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКАХ НА ПРИМЕРЕ *XANTHORIA PARIETINA* (L.) TH. FR.

М. С. Булдаков¹, Т. Н. Пыстиня²

¹ Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН,
buldakov-m@yandex.ru,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
t.pystina@ib.komisc.ru

В статье приведены результаты измерения удельной активности гамма-излучающих естественных радионуклидов в талломах *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., произрастающих на фоновых, селитебных и промышленных территориях востока Европейской части России.

Ключевые слова: эпифитные лишайники, *Xanthoria parietina*, естественные радионуклиды, природные радионуклиды, удельная гамма-активность, биомониторинг.

В структуре современного биомониторинга большое место занимает лихеноиндикация, в частности использование обилия и разнообразия лишайников в качестве индикаторов загрязнения атмосферы, а также применение их в качестве устойчивых накопителей аэробиогенных поллютантов – тяжелых металлов [1]. При этом накоплению лишайниками радиоактивных изотопов тяжелых металлов уделяется мало внимания, что наиболее характерно для природных радионуклидов [2, 3]. Данная работа ставит целью частично восполнить этот пробел в радиоэкологических исследованиях в свете непрекращающегося давления на среду обитания человека.

Были изучены талломы нитрофильного, умеренно устойчивого к загрязнению атмосферы эпифитного листоватого лишайника *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., собранные со стволов тополей в 12 местообитаниях: в охранной зоне государственного природного заповедника «Нургуш» на берегу р. Вятки в Котельничском районе Кировской области (1 точка); на опушке крупного массива леса около д. Татарские Парзи Глазовского района Республики Удмуртии (1 точка); на жилых территориях г. Глазова и их ближайших

окрестностях (5 точек); на территории производственных площадок в пределах г. Глазова (5 точек).

Талломы 1–3 см диаметром, собранные в одной точке, тщательно очищали от субстрата, сушили на воздухе при комнатной температуре и компоновали в счетный (измерительный) образец массой 2 г: полиэтиленовый квадрат 4×4 см, герметично запечатанный клейкой лентой. После выдержки в течение месяца (для равновесия между материнскими нуклидами и продуктами распада радона) в образцах измеряли удельную активность естественных радионуклидов гамма-спектрометрическим методом (коаксиальный детектор на основе кристалла из особо чистого германия с относительной эффективностью 35% и разрешающей способностью 2 кэВ по линии ^{60}Co). Время измерения – 4 ч. при общей неопределенности не более 30% ($P = 0,05$).

Полученные данные (табл.) свидетельствуют о широком разбросе значений удельной активности радионуклидов, содержащихся в эпифитных лишайниках. Тем не менее, результаты спектрометрии показывают, что на сильно антропогенно измененных территориях талломы эпифитного лишайника *X. parietina* накапливают в среднем в 2–4 раза (от 1,5 до 6 раз) большее количество радиоизотопов тяжелых металлов, чем на слабо нарушенных участках.

Достоверно известно об увеличении содержания в природной среде продуктов распада ^{226}Ra (а также продуктов распада ^{228}Th и, соответственно, его материнского радионуклида ^{228}Ra) в районах добычи и переработки полезных ископаемых [4]. Выявленное нами соотношение активностей радионуклидов хорошо отражает характер антропогенной нагрузки в местах сбора эпифитов.

При этом крайне члены наблюдаемой матрицы соотношений, скорее всего, представляют собой результат систематических методологических погрешностей: максимальные различия наблюдаются в отношении ^{235}U на территориях с разной антропогенной нагрузкой. Это, в первую очередь, объясняется повышенной неопределенностью при расчетах результатов измерений в области очень низких значений гамма-активности. При этом известно, что соотношение активностей материнских радионуклидов двух радиоактивных рядов распада в природном уране постоянно: активность ^{238}U всегда выше активности ^{235}U в $21,7 \pm 0,4$ раза [5, 6]. Возможно, (при условии равновесия ^{234}Th с материнским радионуклидом ^{238}U) активности ^{235}U в талломах из мест с различной степенью антропогенной нагрузки тоже отличаются в 2–3 раза, по аналогии с активностями ^{234}Th .

Таблица

**Удельная гамма-активность естественных радиоизотопов тяжелых металлов
в талломах *Xanthoria parietina***

		Удельная активность воздушно-сухих талломов ($УА \pm \delta УА$, Бк/г)		
		Th-234	Ra-226	U-235
Фоновые участки	Охранная зона ГПЗ «Нургуш»	< 0,55	0,31±0,09	< 0,03
	Окрестности д. Татарские Парзи	< 0,52	0,15±0,05	< 0,03
	Среднее	< 0,54	0,23±0,07	< 0,03
Селитебные территории г. Глазова	Точка 1	1,9±0,6	0,39±0,12	< 0,21
	Точка 2	< 1,1	0,32±0,10	< 0,18
	Точка 3	< 1,1	0,23±0,04	< 0,18
	Точка 4	< 1,2	0,41±0,09	< 0,20
	Точка 10	1,4±0,4	0,34±0,08	< 0,14
	Среднее	1,1±0,4	0,34±0,09	< 0,18
Промышленные территории г. Глазова	Точка 5	< 1,2	0,44±0,13	< 0,19
	Точка 6	2,5±0,8	0,37±0,08	< 0,20
	Точка 7	< 0,96	0,36±0,07	< 0,17
	Точка 8	1,8±0,5	0,36±0,08	< 0,18
	Точка 9	2,4±0,7	0,39±0,12	< 0,24
	Среднее	1,6±0,6	0,38±0,10	< 0,20
				0,88±0,28

Примечание: жирным выделены средние арифметические значения активностей и средние квадратические их неопределенностей (для расчета средних значений случаи неопределенности типа « $\leq A$ » для Th-234 консервативно представляли в виде суммы максимально возможной активности с минимально возможной относительной неопределенностью в 40%: « $(A+0,4A)$ »).

Известно, что растения могут накапливать щелочноземельный элемент радиий (в первую очередь ^{226}Ra) ввиду его биогеохимического поведения, сходного с поведением другого макроэлемента – кальция [7]. При этом наблюдающееся пониженное содержание ^{226}Ra относительно материнского радионуклида ^{234}Th в одних и тех же талломах вызывает сомнения, и может объясняться повышенной эманацией из образцов дочернего ^{222}Rn (активность ^{226}Ra в подавляющем большинстве случаев при гамма-спектрометрии определяется по активности короткоживущих продуктов распада ^{222}Rn). Выяснить истинное соотношение ^{226}Ra в талломах лишайников из мест с различной степенью антропогенной нагрузки помогает радиохимический анализ содержания в исследованных образцах дочерних долгоживущих продуктов распада ^{222}Rn (^{210}Pb и ^{210}Po) [8].

Очевидно, что проведенный нами анализ активности естественных радионуклидов в эпифитных талломах требует продолжения исследования с применением радиохимических методик.

Авторы выражают искреннюю благодарность директору ГПЗ «Нургуш» Е. М. Тарасовой, инспекторам В. А. Брагину и А. В. Михалицыну за возможность проведения работ в заповеднике и неоценимую помощь в транспортировке, а также к. б. н., зав. лаб. миграции радионуклидов и радиохимии Института биологии Коми НЦ УрО РАН Н. Г. Рачковой за ценные замечания, сделанные ею при просмотре рукописи.

Библиографический список

1. Шапиро И. А. Лишайники: удивительные организмы и индикаторы состояния окружающей среды. СПб. : Крисмас+, 2003. 108 с.
2. Бязров Л. Г. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения. М. : Изд-во КМК, 2005. 476 с.
3. Нифонтова М. Г. Лихено- и бриоиндикация радиоактивного загрязнения среды : спец. 03.00.16 : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Пермь, 2003. 50 с.
4. Тематика научных исследований Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П. В. Рамзаева: Природное облучение [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.niirg.ru/NatExp.htm> (дата обращения: 30.10.2025).
5. Екидин А. А., Васянович М. Е., Наливайко А. В. Применение гамма-спектрометрии для выявления техногенного загрязнения почвы ураном // Принципы экологии. 2013. № 2. С. 29–35.
6. Доклад Комиссии по экологии Общественного совета ГК «Росатом» Обедненный гексафторид урана (современная ситуация, вопросы безопасного обращения и перспективы). 2020. 54 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rosatom.ru/ogfu_report_2020.pdf (дата обращения: 30.10.2025).
7. Радиоэкология: учебник для вузов / М. Г. Давыдов, Е.А. Бураева и др. Ростов-на-Дону : Феникс, 2013. 635 с.
8. Radionuclides, macro- and microelements in the thalli of taiga fruticose lichens of the European Northeast / L. M. Shaposhnikova, N. G. Rachkova, T. N. Pystina, A. P. Karmannov. DOI: 10.1007/s11270-024-07568-6 // Water Air Soil Pollut. 2024. Vol. 235. Article No. 749.

ПОГЛОЩЕНИЕ ОКСИТЕТРАЦИКЛИНА ГЛИНИСТЫМИ МИНЕРАЛАМИ

М. М. Герцен, Л. В. Переломов

*ФГБОУ ВО Тульский государственный педагогический университет
имени Л. Н. Толстого, mani.gertsen@gmail.com*

Изучена адсорбция окситетрациклина на глинистых минералах: бентоните и каолините сорбционными моделями Ленгмюра, Фрейндлиха и Дубинина – Радушкевича. Максимальное значение предельной адсорбции получено для бентонита. Константы адсорбции и энергия взаимодействия подтверждают более сильное и химически обусловленное связывание антибиотика с бентонитом.

Ключевые слова: окситетрациклина гидрохлорид, бентонит, вермикулит, каолинит, адсорбция, гидрофильность.

Антибиотики часто усваиваются организмом человека и животных лишь частично (от 10 до 70%). В результате значительная часть этих лекарственных препаратов попадает в окружающую среду. Поэтому основными путями поступления антибиотиков в окружающую среду являются городские сточные воды (включая сточные воды лечебных учреждений), навоз и сточные воды животноводческих ферм, а также сточные воды фармацевтических и промышленных предприятий.

Группа тетрациклических антибиотиков – это антибиотики широкого спектра действия, основным механизмом которых является ингибирование процесса трансляции у восприимчивых бактерий путем предотвращения связывания аминоацил-тРНК с А-участком рибосомы. С химической точки зрения базовой структурой всех антибиотиков этой группы является тетрациклическая нафтацен-карбоксамидная кольцевая система. По сравнению с другими группами антибиотиков тетрациклины обладают широким спектром антибактериальной активности и являются относительно недорогими препаратами [1].

Окситетрациклин, наряду с тетрациклином, хлортетрацикливом и доксициклином, – наиболее часто используемый антибиотик этой группы [2]. Окситетрациклин – сложное цвиттер-ионное органическое соединение, включающее четырехкольцевую тетрациклическую систему и ряд функциональных групп, ионизация которых происходит при различных значениях pH (рис.). Молекула имеет три константы диссоциации (pK_a), равные 3,3; 7,3 и 9,1.

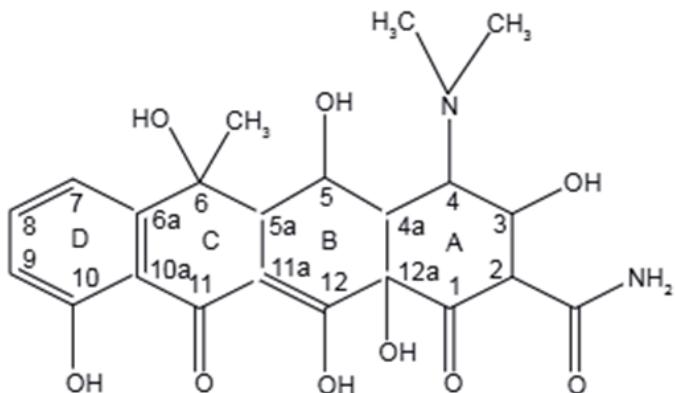


Рис. Схематическое изображение молекулы окситетрациклина

Благодаря своей уникальной структуре глинистые минералы имеют самую высокую удельную площадь поверхности среди известных минералов в природе. Общая удельная поверхность смектитовых минералов может составлять 450–850 м²/г, при этом внешняя удельная поверхность этих минералов достигает 40–70 м²/г [3].

Основным свойством молекулы антибиотика, определяющим его способность поглощаться глинистыми минералами, является ее гидрофильность, которую можно оценить по значению коэффициента распределения в системе октанол–вода (K_{ow}). В то же время наличие ароматических фрагментов в молекуле антибиотика, очевидно, затрудняет их поглощение трехслойными набухающими минералами. Очевидно, что основными механизмами адсорбции антибиотиков глинами являются ионный обмен и комплексообразование; преобладание этих процессов зависит от свойств минерала и антибиотика. Целью работы являлось изучение поглощения окситетрациклина гидрохлорида двухслойным (каолинит) и трехслойным (бентонит) глинистыми минералами с помощью адсорбционных моделей Ленгмюра, Фрейндлиха и Дубинина – Радушкевича [4].

В работе использованы два глинистых минерала: каолин мокрого обогащения (АО «Веско», Донецкая обл.), бентонит Саригюхского месторождения Армении (BentoGroupMinerals, Москва). Модельный токсикант – окситетрациклина гидрохлорид. Образцы минералов (0,5 г бентонита или 1 г каолинита/вермикулита), высушенные при 90 °С, помещали в конические колбы объемом 100 мл, с растворами антибиотика различной концентрации (0,3–15 мМ). Экспозиция проводилась на шейкере при 180 об./мин в течение 3 ч при комнатной температуре (< 20 °С). После центрифугирования (10 мин, 10000 об./мин) раствор фильтровали через нейлоновый шприцевой фильтр и анализировали методом ВЭЖХ.

Условия ВЭЖХ по European Pharmacopoeia: подвижная фаза – 0,01 М раствор щавелевой кислоты : ацетонитрил : метанол (150 : 20 : 20), колонка Luna C18(2) (250×4,6 мм, 5 мкм), температура 20 °С, УФ-детектор 360 нм,

скорость потока 1,3 мл/мин. Хроматограф SHIMADZU Prominence 20 LC с диодной матрицей (DAD).

Адсорбция окситетрациклина на поверхности глинистых минералов изучалась с использованием теоретических моделей Ленгмюра, Фрейндлиха и Дубинина – Радушкевича. Высокие коэффициенты корреляции ($R \approx 0,94$ – $0,99$) как для бентонита, так и для каолинита подтверждают использование моделей для описания экспериментальных данных (табл.).

Таблица

**Параметры адсорбции окситетрациклина
на анализируемых глинистых минералах**

Минерал	Модель Ленгмюра		
	R	A_{∞} , ммоль/г	K_L , л/ммоль
Бентонит	0,98	$0,883 \pm 0,007$	$3,2 \pm 0,2$
Каолинит	0,99	$0,726 \pm 0,006$	$0,19 \pm 0,03$
Модель Фрейндлиха			
Минерал	R	K_F , л/ммоль	$1/n$
Бентонит	0,99	$0,774 \pm 0,007$	$0,561 \pm 0,009$
Каолинит	0,98	$0,091 \pm 0,005$	$0,881 \pm 0,004$
Модель Дубинина – Радушкевича			
Минерал	R	A_{∞} , ммоль/г	k , ммоль ² /кДж ²
Бентонит	0,98	$0,54 \pm 0,03$	$0,014 \pm 0,002$
Каолинит	0,94	$0,23 \pm 0,04$	$0,093 \pm 0,007$
			E , кДж/моль,
			$6,0 \pm 0,2$
			$2,3 \pm 0,4$

По уравнению Ленгмюра максимальная адсорбционная емкость A_{∞} равна $0,883 \pm 0,007$ ммоль/г для бентонита и $0,726 \pm 0,006$ ммоль/г для каолинита. Бентонит относится к группе смектитов и обладает более высокой удельной площадью поверхности и межслоевой пористостью, что обеспечивает большую локализацию сорбционных центров, доступных для связывания с антибиотиком, по сравнению с каолинитом. Константа Ленгмюра K_L , определяющая сродство адсорбата к сорбционной поверхности, значительно различается у анализируемых минералов: $3,2 \pm 0,2$ л/ммоль для бентонита, $0,19 \pm 0,03$ л/ммоль для каолинита, что указывает на более прочное связывание молекул окситетрациклина на поверхности бентонита, вероятно, из-за наличия отрицательно заряженных поверхностных групп, обеспечивающих ионный обмен.

Фактор гетерогенности $1/n$, полученный по уравнению Фрейндлиха, ниже для бентонита ($0,561 \pm 0,009$), что указывает на более разнообразный и энергетически неоднородный набор активных центров на поверхности минерала. Слоистая структура бентонита содержит различные типы функциональных групп и дефектов, обеспечивающих различную энергию связи. Напротив, каолинит имеет более однородную структуру с гладкой поверхностью, и значение $1/n$ для этого материала ближе к 1 ($0,881 \pm 0,004$), что свидетельствует об однородности сорбционных центров.

Для понимания механизма процесса адсорбции проводили расчеты с помощью изотермической модели Дубинина – Радушкевича [5]. Значение

предельной адсорбции A_{∞} , отражающей максимальную емкость адсорбента по отношению к модельному токсиканту, также оказалось наибольшей для бентонита – $0,54 \pm 0,03$ ммоль/г (табл.). С помощью константы Дубинина – Радушкевича рассчитали свободную энергию адсорбции E , характеризующую энергию взаимодействия молекул окситетрациклина с поверхностью минерала. Наибольшая энергия адсорбции наблюдалась у бентонита ($6,0 \pm 0,2$ кДж/моль), что свидетельствует о более сильных связывающих взаимодействиях по сравнению с каолинитом ($2,3 \pm 0,4$ кДж/моль) (табл.) и, вероятно, преимущественно химическую адсорбцию антибиотика данной глиной.

Исследование выполнено в рамках Гранта РНФ № 25-17-20037, проводимого совместно с органами власти субъекта Российской Федерации (Тульская область).

Библиографический список

1. Scaria J., Anupama K. V., Nidheesh, P. V. Tetracyclines in the environment: an overview on the occurrence, fate, toxicity, detection, removal methods, and sludge management. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145291 // Sci. Total Environ. 2021. Vol. 771. Article No. 145291.
2. Monitoring and detection of antibiotic residues in animal derived foods: solutions using aptamers / Y. Liu, Y. Deng, S. Li, et al. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.04.008 // Trends Food Sci. Technol. 2022. Vol. 125. P. 200–235.
3. The synthesis of organoclays based on clay minerals with different structural expansion capacities / L. Perelomov, S. Mandzhieva, T. Minkina, et al. DOI: 10.3390/min11070707 // Minerals. 2021. Vol. 11. No. 7. Article No. 707.
4. Saleh T. A. Surface science of adsorbents and nanoadsorbents. London : Academic Press, 2022. 316 p.
5. Saeidi N., Parvini M. Accuracy of Dubinin–Astakhov and Dubinin–Radushkevich adsorption isotherm models in evaluating micropore volume of bentonite. DOI: 10.3311/PPch.8374 // Period. Polytech., Chem. Eng. 2016. Vol. 60. No. 2. P. 123–129.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ЧАХЛОВИЦЫ

Д. А. Жилина, А. А. Зыкина, Е. А. Земцова
Вятский государственный университет, ea_zemtsova@vyatsu.ru

В статье представлен анализ участков реки Чахловицы по качеству ее вод по некоторым санитарно-гигиеническим показателям и уровню загрязненности донных отложений. Оценка санитарно-гигиенических показателей включала исследование проб воды по таким показателям, как pH, перманганатная окисляемость, уровень жесткости, содержание ионов железа, хлоридов, сульфатов, фосфатов, нитратов и нитритов. Для оценки загрязненности донных отложений использовался сапробиологический анализ по методу Пантле–Бука в модификации Сладечека. Установлено, что большинство обследуемых участков реки Чахловицы относятся к бета-мезосапробной зоне, а анализ поверхностных вод показывает, что и в зоне наименьшего антропоп-

генного влияния имеется превышение концентраций относительно предельно-допустимых по железу, полифосфатам и сульфат-ионам.

Ключевые слова: загрязнение, донные отложения, сапробность, концентрация химических веществ в воде.

Антропогенные воздействия приводят к деградации водных экосистем, затрагивая как поверхностные воды, так и сообщества донных организмов. Токсичные химические вещества не только непосредственно загрязняют водную толщу, но и депонируются в донных отложениях, становясь источником вторичного и пролонгированного загрязнения. Под их влиянием экосистема становится неустойчивой, из состава биоценозов выпадают наиболее чувствительные виды, нарушается кормовая база и места обитания, что ведет к потере водоемом своего хозяйственного и экологического значения. В этой связи контроль качества водной среды требует применения комплексного подхода.

Целью настоящей работы является комплексная оценка уровня загрязненности участков реки Чахловицы с использованием методов химического анализа и биотестирования, включающего определение числа сапробности для выявления наиболее проблемных участков водного объекта.

Объектом исследования послужила р. Чахловица, левый приток р. Вятки. Она берёт начало южнее деревни Шишенки, течет на север, ниже села Пасегово и поворачивает на северо-запад. После слияния с р. Берёзовкой снова поворачивает на север. Впадает в старицу р. Вятки. Устье реки находится в 649 км по левому берегу р. Вятки. Длина р. Чахловицы составляет 36 км, площадь водосборного бассейна 208 км² [1].

Отбор проб воды и донных отложений проводился в 7 ключевых точках р. Чахловицы. Выбор этих точек осуществлялся с учетом морфологических особенностей водотока и расположения потенциальных источников антропогенного воздействия. На рисунке 1 приведена карта-схема анализируемых участков р. Чахловицы с указанием мест и координат пробоотбора.

Отбор проб проводился в сентябре 2024 г., сентябре и октябре 2025. Среднемесячная температура воздуха варьировала от +9 °C до +20 °C. Пробы отбирались в относительно благоприятное время, когда развитие планктонных организмов все еще достаточно. Отбор проб осуществлялся в прибрежной зоне. Скорость течения воды в реке на всех участках минимальная.

Проба № 1 отбиралась на расстоянии 2 км от истока р. Чахловицы ниже д. Шишенки. Вода была прозрачной, наблюдался значительный древесный опад, берега реки – густо заросшие прибрежной растительностью. Данная точка выступала в качестве фонового уровня природных показателей качества воды с наименьшим уровнем техногенного воздействия и использовалась в качестве сравнения для участков, подверженных возможному загрязнению.

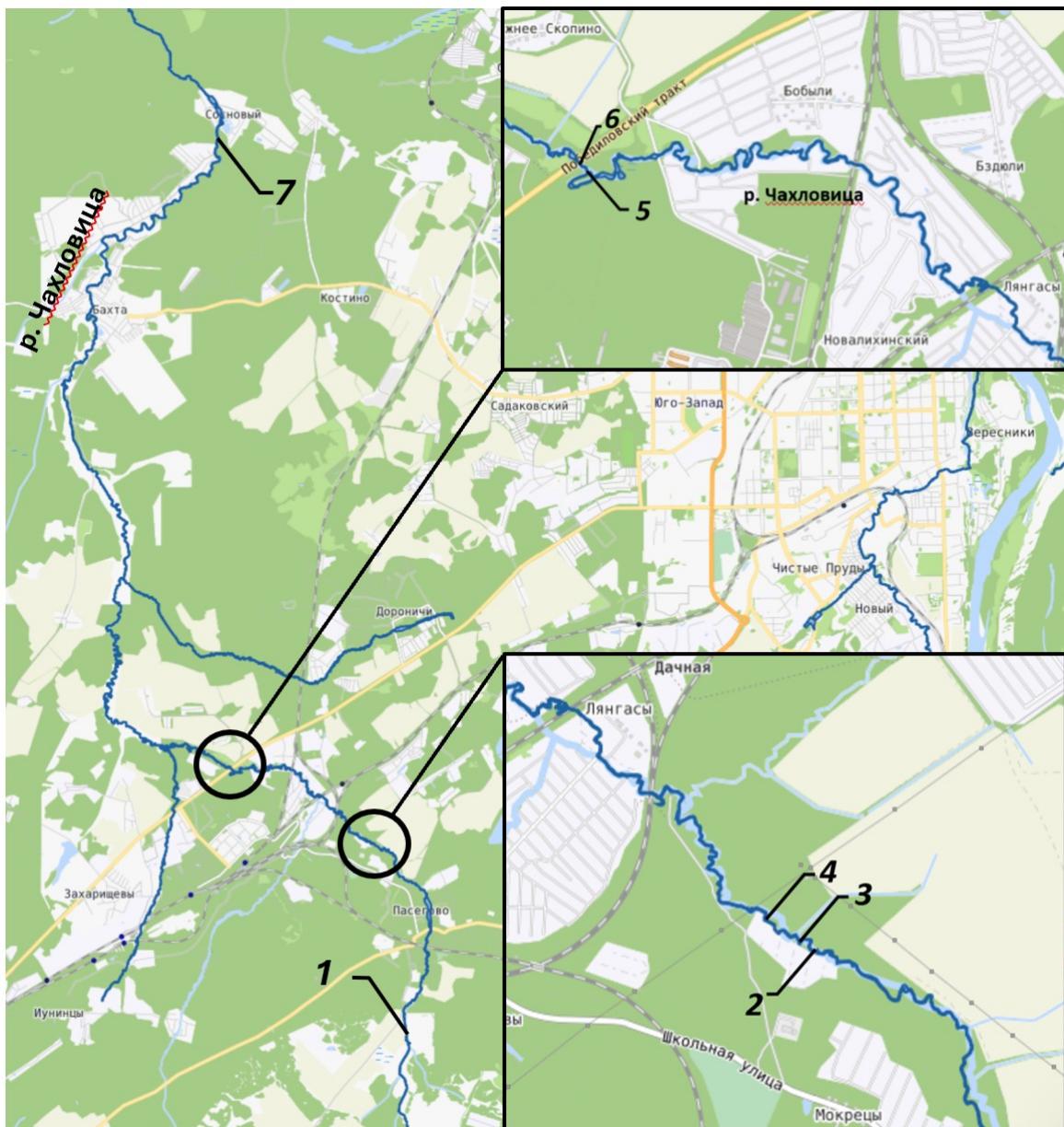


Рис. 1. Карта мест расположения точек отбора проб

с указанием их координат:

- 1 – $58^{\circ}29'31.6''$ с. ш. $49^{\circ}30'38.7''$ в. д.; 2 – $58^{\circ}52'18''$ с. ш. $49^{\circ}49'97''$ в. д.;
- 3 – $58^{\circ}52'49''$ с. ш. $49^{\circ}49'71''$ в. д.; 4 – $58^{\circ}52'11''$ с. ш. $49^{\circ}49'84''$ в. д.;
- 5 – $58^{\circ}31'59''$ с. ш. $49^{\circ}27'18''$ в. д.; 6 – $58^{\circ}31'60''$ с. ш. $49^{\circ}27'16''$ в. д.;
- 7 – $58^{\circ}63'96''$ с. ш. $49^{\circ}44'95''$ в. д.

Участки отбора проб № 2–6 отобраны последовательно вниз по течению реки, в границах садово-дачного товарищества Авторемонтник, расположенного в д. Мокрецы и в районе моста на Победиловском тракте.

На участке отбора пробы № 2 вода прозрачная, дно песчаное покрыто опадом. Расход воды в районе анализируемого участка реки, незначительный, варьирующийся от 0,01 до 0,15 м³/с в период летней межени. Скорость течения воды в реке на всех участках минимальная. Для участка № 3 характерна вода мутно-голубого цвета, с неприятным запахом. В границах данной точки

имеется выпуск недостаточно очищенных сточных вод предприятия водопроводно-канализационного хозяйства. Участок № 4, является местом наиболее полного перемешивания сбрасываемых стоков с водоемом. Вода слабо мутная, с неприятным запахом.

Для следующих двух участков рельеф прилегающей местности равнинный, слегка полого-всхолмленный. В точке № 6, расположенной в 4,9 км ниже по течению от точки № 2 вода прозрачного цвета, поверхность покрыта ряской, дно песчаное, немного заиленное. На участке № 5, находящимся выше 50 м по течению отбора пробы № 6, вода прозрачная, поверхность покрыта радужной пленкой, дно песчаное покрыто опадом. По обе стороны берега густые заросли растений и деревьев.

Проба № 7 была отобрана в 4,5 км от устья р. Чахловицы, перед впадением в более крупную р. Вятку. Русло глубокое, извилистое, на поверхности наблюдается много ряски, вода прозрачная, дно, заросшее водной растительностью. Эта точка позволяет оценить интегральное качество воды, которое р. Чахловица несет в основной водоем, а также эффективность процессов самоочищения, происходящих на протяжении всего участка реки.

К основным антропогенным источникам воздействия на р. Чахловицу можно отнести предприятия сельскохозяйственного комплекса, водопроводно-канализационные хозяйства, авто- и железнодорожные магистрали. За счет талых, ливневых и недостаточно очищенных сточных вод, в реку может попадать значительное количество поллютантов, среди которых можно выделить нефтепродукты, ПАВ, тяжелые металлы, взвешенные вещества, азот- и фосфорсодержащие соединения, калий, жиры и легко загнивающие органические вещества. Наличие жиров, фосфора и кальция может ухудшать процесс очистки. Степень разложения органических веществ в водоёмах оценивается по числу сапробности; этот процесс приводит к дефициту кислорода и образованию токсичных продуктов, влияя на выживаемость водных организмов.

По методу Пантле и Бука был определен индекс сапробности всех указанных проб и систематизирован в единый график для удобства оценивания (рис. 2). Для количественного подсчета микроорганизмов в донных отложениях, их классификации по индикационным группам использовался метод микроскопии согласно [2].

В целом практически весь участок реки, относится к бета-мезосапробной зоне (индекс 1,5–2,5), что характеризует ее как умеренно загрязненную воду, кроме участка № 5, он имеет приближенное значение индекса к 1,5, но все еще относится к олигосапробной зоне, что говорит о практически чистых донных отложениях в данной точке отбора проб. Бета-мезасапробная вода характерна для водоемов, подверженных незначительно-му антропогенному воздействию, в таком водоеме обитают организмы, способные переносить умеренные концентрации органических веществ.

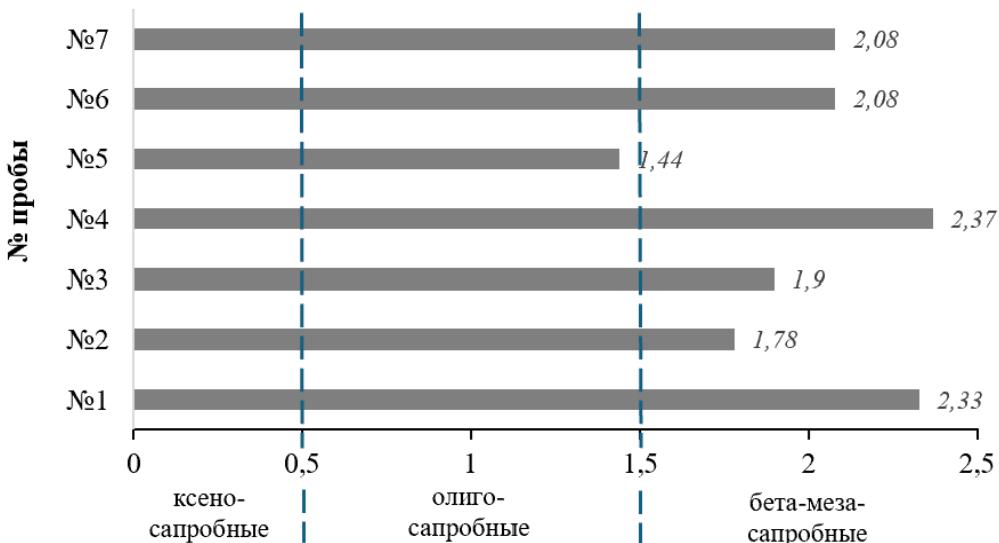


Рис. 2. Результаты подсчета индекса сапробности анализируемых участков реки

По полученным данным можно увидеть, что самый загрязненный участок реки № 4 имеет индекс сапробности 2,37. Это говорит о том, что в данном месте отбора пробы депонируется наибольшее количество поллютантов на дне водоема, ввиду минимальной скорости течения реки, и формируется застойная зона с наименьшим разбавлением очищенных сточных вод в границе водопользования предприятий, что, в свою очередь, приводит к интенсификации процесса загрязнения донных отложений. Также можно отметить повышенный индекс у пробы № 1, что может быть связано с природным органическим загрязнением русла, исходя из его описания, например, опад листвы и древесины с прибрежной растительности, который попадает в воду и подвергается разложению за счет микроорганизмов, потребляющих кислород, из-за чего идет повышение сапробности.

Кроме методов биотестирования был проведен химический анализ проб № 1 и 7 по таким показателям как pH, перманганатная окисляемость, жесткость воды, сульфаты, хлориды, общее железо, фосфаты, нитраты и нитриты. Результаты исследования проб, а также руководящие документы с методиками их проведения занесены в таблицу для выявления превышения и сравнения с предельно допустимыми концентрациями рыбохозяйственного значения.

Химический анализ пробы воды № 1, отобранный рядом с истоком реки Чахловицы, выявил ряд показателей с превышением допустимой концентрацией, несмотря на минимальное предполагаемое антропогенное воздействие на данном участке. Выявлено превышение концентрации ионов железа в 3 раза, полифосфатов – в 1,5 раза, сульфатов – в 1,3 раза, что может быть обусловлено как природными геохимическими особенностями (вымывание из почв и донных отложений), так и локальными, возможно, диффузными источниками загрязнения. При этом содержание нитратов и нитритов в пробах воды, ниже диапазона чувствительности методов, указанных в таблице, что

свидетельствует об отсутствии значительного свежего азотного загрязнения. Вода характеризуется как умеренно жесткая.

Таблица

Сводная таблица с результатами определения химических показателей

Химический показатель	Методика проведения	Размерность	Проба № 1	Проба № 7	ПДК _{р.х.}
pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	ед. pH	7,46±0,2	7,20±0,2	–
Перманганатная окисляемость	ПНД Ф 14.1:2:4.154-99	мгО/дм ³	1,2±0,24	1,2±0,24	–
Жесткость воды	ПНД Ф 14.1:2:3.98-97	°Ж	4,9±0,44	29±2,61	–
[SO ₄ ²⁻]	РД 52.24.405-2005	мг/дм ³	135,9±16,4	312,4±37,6	100
[Cl ⁻]	ПНД Ф 14.1:2.111-97	мг/дм ³	37,75±3,40	9,57±0,86	300
[Fe(общ.)]	ПНД Ф 14.1:2.50-96	мг/дм ³	0,38±0,11	0,23 ±0,07	0,1
Ортофосфаты полифосфаты	ПНД Ф 14.1:2:4.248-07	мг/дм ³ мг/дм ³	0,10±0,008 0,22±0,027	0,21±0,016 0,01±0,001	0,2 0,15
[NO ₃ ⁻]	РД 52.24.367-2010	мг/дм ³	<0,03	<0,03	40
[NO ₂ ⁻]	РД 52.24.381-2017	мг/дм ³	<0,01	<0,01	0,02

Примечание: прочерк означает ненормируемый показатель для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Участок, с отобранный пробой № 7, после прохождения через зоны влияния предприятий показал не сильное улучшение ситуации, а по ряду параметров даже усугубление, что свидетельствует о накоплении загрязнителей и влиянии новых источников. Вода характеризуется как очень жесткая, что указывает на значительное поступление ионов кальция и магния. Стоит отметить уменьшение концентрации ионов железа по сравнению с первой пробой, при сохранении превышения концентрации относительно ПДК_{р.х.} в 2 раза. Наиболее показательным является появление ортофосфатов с незначительным превышением ПДК, что в сочетании с расположеными в данном районе сельскохозяйственными полями и животноводческой фермой, прямо указывает на поступление биогенных элементов с поверхностным стоком от удобрений и отходов животноводства. Фосфаты являются ключевыми биогенными элементами, способствующими эвтрофикации водоемов. При этом концентрации нитратов (< 0,03 мг/л) и нитритов (< 0,01 мг/л) остались крайне низкими, что, объясняется интенсивными процессами денитрификации, которые активно протекают в условиях дефицита кислорода. В анаэробной среде бактерии восстанавливают нитраты до газообразного азота, который уходит из воды, маскируя фактическое поступление азотных соединений из удобрений и навоза.

При этом стоит отметить довольно хороший показатель перманганатной окисляемости (1,2 мгО/дм³) сразу на двух участках, это может свидетельствовать об относительно малом количестве легкоокисляемых органических веществ и, следовательно, высоком качестве воды с точки зрения органического загрязнения. Однаковые показатели перманганатной окисляемости как

на участке рядом с истоком реки, так и на участке рядом с устьем могут указывать на то, что объём воды в реке достаточен для разбавления поступающих органических загрязнений [3, 4].

В целом, данные химического анализа и биотестирования реки Чахловицы указывают на подверженность водоема комплексному загрязнению, источником которого является как антропогенная деятельность, так и природные факторы. Это подтверждает график индекса сапробности, который возрастает у истока реки, после снижается и снова возрастает в местах расположения сброса сточных вод, что может говорить о недостаточной эффективности работы очистных сооружений, а далее после спада вновь наблюдается повышение, которое может быть связано с сельскохозяйственной деятельностью и содержанием крупного рогатого скота. Сочетание этих факторов приводит к критическому снижению кислорода, деградации водной экосистемы, потере биоразнообразия и ухудшению качества воды. Низкий уровень кислорода является общим знаменателем, усиливающим негативные эффекты всех видов загрязнений и препятствующим естественному самоочищению водоема.

Библиографический список

1. Чахловица [Электронный ресурс]. – URL: <https://waterresources.ru/reki/chahlovitsa/> (дата обращения: 02.10.2025).
2. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В. А. Абакумова. СПб. : Гидрометеоиздат, 1992. 319 с.
3. Никаноров А. М., Порохов Е. В. Гидрохимия : учебное пособие для учащихся гидрометеорол. техникумов. Л. : Гидрометеоиздат, 1985. 232 с.
4. Чистяков Н. Е. Биохимический механизм нитрификации // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии : сб. статей / под ред. М. В. Шувалова, А. А. Пищулева, А. К. Стрелкова. Самара : Самарский государственный технический университет, 2018. С. 238–244.

МОНИТОРИНГ ПУЛОВ И ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ ТЕСТОВОГО ПОЛИГОНА «ЛЯЛЬСКИЙ» (РЕСПУБЛИКА КОМИ): ОСНОВНЫЕ ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

***С. В. Загирова, А. А. Дити, Ю. А. Дубровский, В. В. Елсаков,
М. А. Кузнецов, Е. М. Лаптева, А. В. Манов, М. Н. Мигловец,
Т. А. Мыльникова, А. Ф. Осипов***

*Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения РАН, zagirova@ib.komisc.ru*

Тестовый полигон «Ляльский» включен в национальную систему мониторинга климатически активных веществ. Представлены результаты комплексных исследований растительности, почвенного покрова, запасов углерода в фитомассе, крупных древесных остатках и почве, потоков парниковых газов в разных типах лесных фитоценозов на территории полигона.

Ключевые слова: тестовый полигон, лесной биогеоценоз, углерод, пулы, потоки.

Создание национальной системы мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации является одним из ожидаемых результатов важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП Г3). В рамках проекта предполагается организация постоянных пунктов наблюдений в разных климатических зонах с использованием единых методик. Тестовый полигон «Ляльский» создан для оценки запасов углерода в фитомассе, крупных древесных остатках (КДО), почве и потоков углеродсодержащих парниковых газов в лесах среднетаежной подзоны на европейском северо-востоке России. На его территории заложено 30 постоянных пробных площадей (ППП), на каждой из них выполнены лесотаксационные и геоботанические описания, изучено разнообразие почв и почвенной биоты, проведены измерения почвенного дыхания и экосистемных потоков парниковых газов. В данной работе представлены основные результаты комплексных исследований лесных биогеоценозов тестового полигона «Ляльский» в 2023–2024 гг.

Натурным обследованиям тестового полигона предшествовал анализ спутниковых снимков (Sentinel-2A и Landsat 9). По результатам их обработки была подготовлена карта распределения доминирующих классов растительного покрова и пространственная модель распределения сомкнутости крон. Разносезонная съемка с беспилотного аэрофотосъемочного комплекса («Геоскан 201» и «Геоскан 401 Лидар») дала возможность построить цифровую модель рельефа, цифровую модель местности, а также выделить и подсчитать кроны деревьев на ППП [1].

В растительном покрове полигона преобладают лесные фитоценозы, насаждения представлены как типично коренными хвойными, так и вторичными лесами, образовавшимися после сплошных рубок. Согласно таксационным материалам, еловые фитоценозы сформированы на 17, сосновые – 9, мелколиственные – 4 ППП. Класс возраста древостоев в разных типах леса соответствует IV–VII, запас древесины варьирует в пределах 103–401 м³/га. Общее состояние лесов тестового полигона «Ляльский» в настоящее время оценивается как удовлетворительное, не выявлены очаги вредителей и болезней леса, не зафиксированы свежие ветровалы, вырубки и гари [2].

По результатам геоботанических исследований, в лесных сообществах выделено 57 элементов мозаики, из которых наиболее распространенными являются чернично-зеленомошный и чернично-сфагновый. На территории полигона выявлено 268 видов сосудистых растений, которые относятся к 162 родам и 55 семействам. Наибольшим разнообразием отличаются семейства Asteraceae (30 видов), Poaceae (28 видов), Cyperaceae (24 вида) и Rosaceae (16 видов). Флора полигона имеет типичные бореальные черты,

большинство показателей систематического, географического и биологического анализов характерны для среднетаежных флор.

Почвы и растительный покров на территории полигона «Ляльский» формируются на почвообразующих породах ледникового генезиса, для которых характерен неоднородный гранулометрический состав с различным сочетанием песчаных и суглинистых отложений. В границах полигона преимущественно представлены двучленные отложения – пески и супеси, подстилаемые суглинками и глинами. Запасы углерода в почвах повышаются от мелколиственных к переувлажненным хвойным сообществам. Связь запасов азота в почвах с типами лесных биогеоценозов выражена в меньшей степени. Во всех типах леса максимальная величина углерода микробной биомассы и скорости базального дыхания выявлена в верхних подгоризонтах лесных подстилок. По мере нарастания условий увлажнения отмечено снижение микробиологической активности почв [3].

В обследованных лесах зарегистрировано 16 таксонов крупных почвенных беспозвоночных, в том числе четыре вида дождевых червей. Общая численность макрофaуны высокая в ельниках, средняя – в лиственных лесах и низкая – в сосняках. Численность дождевых червей в еловых лесах составила от 1,2 до 10,7 экз./м², в лиственном лесу – 5,4 экз./м². В некоторых типах еловых фитоценозов и березняке травяном доля дождевых червей в составе биомассы почвенной макрофaуны достигала 70%.

Для расчета фитомассы и запасов углерода в древостоях использовали таксационные характеристики и опубликованные данные о концентрации углерода органического вещества в древесных растениях. В зависимости от условий произрастания, запасы углерода в древесном ярусе насаждений с преобладанием в составе ели варьируют от 41 до 120 т С/га, в средневозрастных и приспевающих сосняках – от 28,5 до 64,7 т С/га, в лиственных – от 4,4 до 6,9 т С/га. В древесине ствола аккумулировано 51–66% пула углерода древостоя. Запасы углерода в КДО в еловых биогеоценозах составили 1,2–13,8 т С/га, сосняках – 1,4–4,7 т С/га. Не выявлена достоверная разница КДО между сообществами, сформированными на почвах с разными условиями увлажнения [4].

Запас фитомассы живого напочвенного покрова (ЖНП) в ельниках составил 140–774, в сосняках – 554–2151, лиственных насаждениях 53–138 г/м², при этом масса подземных органов в несколько раз превышала надземную. На основании данных о фитомассе и концентрации углерода органического вещества в растениях рассчитан запас углерода ЖНП, который составил в ельниках 1,3–13,0, в сосновых фитоценозах – 2,9–19,5, а в лиственных – 0,7–3,1 т С/га.

Общий запас углерода в лесных биогеоценозах на полигоне «Ляльский» варьирует в пределах 190–350 г С/га, из них в древесине аккумулируется в среднем 50–60%. В сфагновых сосняках доля углерода в почве может достигать 80%.

Дыхание почвы в течение вегетационного периода измеряли методом статических камер в ельниках разнотравно-черничном и сфагновом, сосняке кустарничково-сфагновом и осиннике разнотравно-черничном. Минимальная сумма потерь углерода с эмиссией CO_2 (380 г $\text{C}/\text{м}^2$) за вегетацию отмечена в ельнике сфагновом, в других фитоценозах она превышала 550 г $\text{C}/\text{м}^2$ [5].

Непрерывные измерения концентрации CO_2 в атмосферном воздухе и вертикальных потоков CO_2 между лесом и приземной атмосферой с использованием современных эколого-климатических комплексов позволили оценить нетто-сток углерода в еловом насаждении на территории тестового полигона. Ельник выполнял функцию стока CO_2 , однако его величина зависела от погодных условий вегетационного периода. При благоприятном температурно-влажностном режиме суммарный нетто-обмен CO_2 в теплый период года превышал 1000 г $\text{CO}_2/\text{м}^2$. Более активному экосистемному обмену соответствовали повышенные значения концентрации CO_2 над лесным пологом и эвапотранспирации.

Оценка латерального стока углерода в системе «наземные экосистемы – гидрографическая сеть» станет новым направлением мониторинга углеродных пулов и потоков на территории полигона «Ляльский» в ближайшие пять лет. С этой целью на мониторинговых площадках установлено специальное оборудование и начаты круглогодичные наблюдения за динамикой количества и химического состава атмосферных осадков и почвенных вод. Результаты этих исследований востребованы для оценки баланса углерода в лесных экосистемах тестового полигона.

Авторы выражают благодарность всем работникам Института биологии Коми НЦ, принимавшим активное участие в полевых работах, пробоподготовке и химическом анализе образцов почв и растений в рамках выполнения проекта ВИП ГЗ в 2023–2024 гг.

Работа выполнена в рамках проекта ВИП ГЗ «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах». Рег. № 123030300031-6.

Библиографический список

1. Формирование базы данных пространственного распределения древесных пород на тестовом полигоне «Ляльский» (Республика Коми) по материалам БПЛА-съемок / Т. А. Мыльникова, А. Ю. Боровлев, В. В. Елсаков, В. М. Щанов. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-1-116-130 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 1. С. 116–130.
2. Манов А. В., Осипов А. Ф., Загирова С. В. Современное состояние древесного яруса среднетаёжных хвойных и лиственных насаждений (на примере тестового полигона «Ляльский», Республика Коми). DOI: 0.25750/1995-4301-2024-4-201-210 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 4. С. 201–210.

3. Особенности лесных подстилок в разных типах среднетаёжных лесов / И. А. Лиханова, С. В. Денева, Ю. В. Холопов и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-072-081 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 2. С. 72–81.

4. Запасы углерода крупных древесных остатков в лесных экосистемах тестового полигона «Ляльский» (средняя тайга, Республика Коми) / А. Ф. Осипов, А. В. Манов, М. А. Кузнецов и др. DOI: 10.31509/2658-607x-202371-143 // Вопросы лесной науки. 2024. Т. 7. № 1. Статья № 143.

5. Осипов А. Ф., Гуляев Р. Г., Кузнецов М. А. Дыхание почв среднетаежных ельников Мезенско-Вычегодской равнины (Республика Коми). DOI: 10.31857/S0367059725030048 // Экология. 2025. № 3. С. 202–211.

ВЛИЯНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВЫ НА РОСТ, ФИЗИОЛОГИЮ И ФИТОТОКСИЧНОСТЬ У РАСТЕНИЙ

Е. И. Каненкин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, KanenkinEvgeniy@mail.ru

Представлены результаты модельного эксперимента исследования влияния засоления почвы на развитие растительности. Полученные данные демонстрируют дозозависимую фитотоксичность: повышенная концентрация солей угнетает ростовые процессы, снижает уровень фотосинтеза и активацию антиоксидантной системы как ответ на окислительный стресс, вызванный солями.

Ключевые слова: засоление почвы, солевой стресс, фитотоксичность, рост растений, окислительный стресс, фитотест.

Засоление почв является одной из наиболее острых глобальных проблем [1]. Накопление растворимых солей в корнеобитаемом слое является сильным абиотическим стресс-фактором, который оказывает комплексное негативное воздействие на растения, вызывая явление фитотоксичности [2].

Известно, что избыток ионов натрия (Na^+) и хлора (Cl^-) нарушает осмотический баланс, затрудняя поглощение воды корневой системой, что приводит к физиологической засухе [3]. Кроме того, нарушение поступления макроэлементов (К, Са, N) ингибирует ключевые метаболические процессы [4]. На клеточном уровне солевой стресс провоцирует генерацию активных форм кислорода (АФК), вызывая окислительный стресс, повреждение мембран и деградацию хлорофилла, что визуально проявляется в виде хлорозов и некрозов [5]. Хотя физиологические основы солевого стресса изучены для ряда культур, реакции конкретных сортов редиса, гороха и кress-салата могут значительно варьировать.

Однако комплексная оценка фитотоксического эффекта, интегрирующая показатели роста, физиологические и биохимические маркеры стресса у

тест-объектов в условиях модельного засоления, остается недостаточно изученной.

Целью настоящего исследования явилось комплексная оценка влияния разной степени засоления почвы на ростовые параметры, физиологическое состояние и проявление фитотоксичности у сортов редиса, гороха и кресс-салата.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- оценить влияние возрастающих уровней засоления на всхожесть семян и ростовые характеристики (биомасса, длина побегов и корней) у сортов редиса, гороха и кресс-салата;
- исследовать влияние солевого стресса на содержание фотосинтетических пигментов и интенсивность перекисного окисления липидов;
- дать интегральную оценку фитотоксичности исследуемых уровней засоления.

Модельный эксперимент осуществлялся в течение двух недель, где проводилось наблюдение и комплексная оценка всхожести сортов редиса, гороха и кресс-салата в различных условиях:

- 1) контрольная группа (К): чистая дерново-подзолистая почва;
- 2) исследуемая группа (И): почва, загрязненная солями и углеводородами, отобранная на газоконденсатном месторождении в районе рассолопроявления устья скважины;
- 3) группа соли (С): чистая почва, политая природным подземным солевым раствором хлоркальциевого типа.

В основе эксперимента заложены методические рекомендации МР 2.1.7.2297-07. Настоящий метод («Фитотест») является модификацией «Биотеста на проращивание семян», рекомендованного для оценки фитотоксического действия химических веществ [6].

Проращивание проводилось в лабораторных условиях в пределах температуры 20–22 °C, в чашках Петри для каждого сорта, полив проводился вручную при помощи корневого распыления. Каждый сорт засаживался в количестве 20 семян [6]. В каждую чашку размещается по 25 сухих здоровых семян, всхожесть которых составляет не менее 95 %.

При определении процента всхожести субстратом для проращивания семян служит дистиллированная вода, которая вносится на фильтр в объеме 5 мл для контрольной группы. Закрытые чашки термостатируются при 20–23 °C в течение 3 суток, после чего подсчитывается процентная доля проросших семян [6].

Первые проростки взошли на третий день проращивания. В контрольной группе темп проращивания оказался выше по сравнению с исследуемой группой. Семена подверженные распылению солевым раствором в третьей группе не взошли к периоду контрольной оценке.

Таблица 1

Влияние загрязнителей на всхожесть семян и биомассу растений

Группа	Вид растения	Всхожесть, %
Контрольная	Редис	~ 95
	Горох	~ 100
	Кресс-салат	~ 92,5
Исследуемая	Редис	~ 50
	Горох	~ 70
	Кресс-салат	~ 30
Соли	Редис	0
	Горох	0
	Кресс-салат	0

У растений в контрольной группе наблюдается правильное естественное развитие. Наибольшую биомассу набирает горох. В исследуемой группе всхожесть и рост растений угнетены. Углеводороды и соли создают токсичную среду, нарушают водно-воздушный режим почвы.

В опытные чашки вносят по 5 мл экстракта или его разведений, контрольные семена обрабатываются адекватным количеством дистиллированной воды. Все образцы помещаются в термостат на 7 суток.

По истечении срока экспозиции измеряют длину корней проростков в контрольных и исследуемых группах, при этом объект измерения у каждого семени является корень максимальной длины. Результаты измерения оформляются в виде таблицы [6].

Величина показателя L_{cp} контрольных и опытных семян вычисляется как среднее арифметическое из совокупности данных о длине корней проростков, полученных в трех повторностях эксперимента (формула 1) [6].

$$L_{cp} = \frac{\Sigma}{n}, \quad (1)$$

где L_i – длина максимального корня каждого семени, мм; Σ – сумма; n – общее количество семян, взятых в опыт. При $L_{cp(OП)} >$ или $= L_{cp(K)}$ – отсутствие неблагоприятного действия отхода.

После измерений рассчитываем среднюю длины корней в контрольной почве и смешанной по формуле (1) [6].

Средняя длина корня в контрольной группе:

$$L_{cp(\text{контр})} = \frac{32 + 10 + 0 + 0 + 0}{5} = 8,5$$

Средняя длина корня в исследуемой группе:

$$L_{cp(\text{исслед})} = \frac{10 + 0 + 0 + 0 + 0}{5} = 1$$

Таблица 2

Влияние загрязнителей на длину побегов и корней у растений

Группа	Вид растения	Корни, мм (среднее)	Побеги, мм (среднее)
Контрольная	Редис	~3	~6
	Горох	~ 90	~ 15
	Кресс-салат	~ 18,5	~ 10
Исследуемая	Редис	~1	~3
	Горох	~ 70	~ 12
	Кресс-салат	~ 7	~ 6

Исходя из данных таблицы 2, средняя длина корня в исследуемой группе меньше, чем в контрольной.

Согласно статической обработке экспериментальных данных, если $L_{ср}(\text{исследуемая}) < L_{ср}(\text{контрольная})$, то показатели исследуемой группы являются не благоприятным.

Для определения фитотоксичности необходимо определить величину эффекта торможения. Величина эффекта торможения определяется по формуле 2 [6]:

$$E_T = \frac{L_K - L_{оп}}{L_K} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где E_T – эффект торможения, %; $L_{оп}$ – средняя длина корней в опыте, мм; L_K – средняя длина корней в контроле, мм.

Фитотоксическое действие считается доказанным, если фитоэффект (E_T) составляет 20 % и более.

$$E_T = \frac{18,5 - 1}{18,5} \cdot 100 \% = 52,16\%$$

Исходя из расчетов, негативное воздействие вещества подтверждается закрытым эффектом прорастания (рис.).

По итогам эксперимента можно сделать следующие выводы:

Загрязнение дерново-подзолистой почвы углеводородами и солями оказывает значительное угнетающее действие на прорастание и рост сельскохозяйственных культур.

Среди испытанных видов наибольшей толерантностью к загрязнению, вероятно, обладает горох.

Вторичное засоление резко снижает эффективность фитоочистки, так как соли являются дополнительным стресс-фактором как для растений, так и для почвенных микроорганизмов.

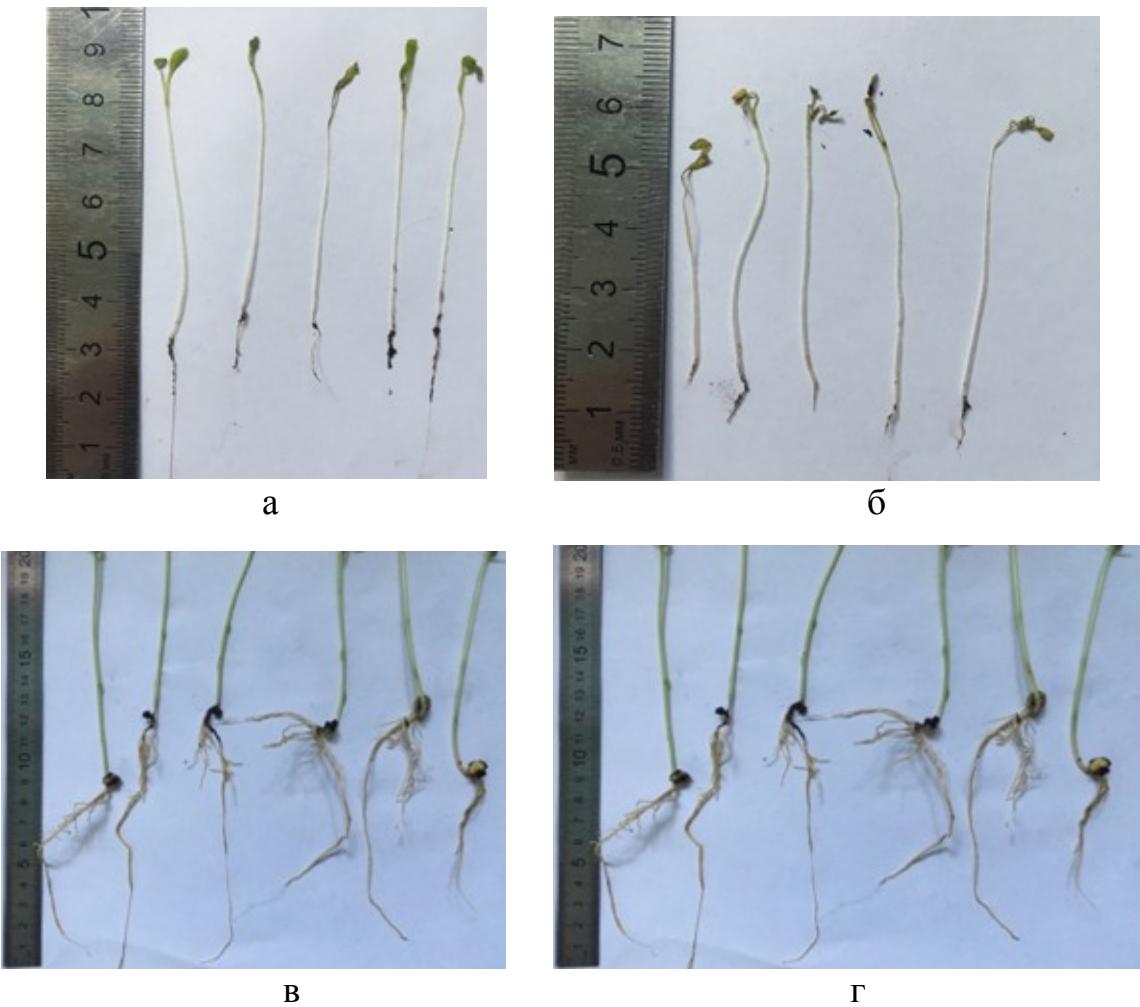


Рис. Прорастание семян кресс-салата (а, б) и гороха (в, г)
в контрольной (а, в) и исследуемой (б, г) почве

На основании комплекса изученных параметров установлено, что даже умеренный уровень засоления является критическим для роста и развития сортов редиса, гороха и кресс-салата, приводя к значительному физиологическому угнетению. Полученные данные подчеркивают высокую чувствительность данной культуры к засолению почв.

Библиографический список

1. Засоленные почвы Венгрии: прогноз распространения на основе гидрогеологических карт / Т. Тот, Л. Пастор, Ш. Кабош, Л. Кути // Экология и география почв / под ред. П. В. Красильникова. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2009. С. 116–157.
2. Веселов Д. С., Маркова И. В., Кудоярова Г. Р. Реакция растений на засоление и формирование солеустойчивости // Успехи современной биологии. 2007. Т. 127. № 5. С. 482–493.
3. Захарин А. А. Особенности водно-солевого обмена растений при солевом стрессе // Агрохимия. 1990. № 8. С. 69–79.
4. Чибис С. П., Кротова Л. А., Мухина Я. В. Результаты исследований влияния химических соединений на проростки пшеницы сорта Павлоградка // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019. № 1. С. 61–68.

5. Филатова Л. А., Кусакина М. Г., Якушева И. Н. Влияние засоления на фотосинтетические показатели этиолированных проростков фасоли при переносе их на свет // Вестник Пермского университета. Биология. 2008. № 9. С. 11–14.

6. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности : методические рекомендации. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 15 с.

ТЕХНОГЕНЕЗ И СПЕЦИФИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

И. А. Лиханова, С. В. Денева, Т. Н. Пыстрина, Г. В. Железнова,

А. А. Рудь, Е. М. Лаптева

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

likhanova@ib.komisc.ru

Осуществлен анализ формирования почвенно-растительного покрова на территориях породных отвалов и карьеров строительных материалов Воркутинского района. На рыхлых четвертичных отложениях карьеров процессы самовосстановления происходят быстрее, чем на сильнокаменистых перегоревших породах отвалов. Рекультивация техногенных объектов позволяет в короткие сроки сформировать сомкнутый злаковый покров и предотвратить пылевое загрязнение и эрозионные процессы.

Ключевые слова: карьеры, отвалы, первичные сукцессии, первичное почвообразование, южная тундра.

Воркутинский промышленный район (ВПР) относится к районам интенсивной добычи полезных ископаемых. Эксплуатация месторождений каменного угля в регионе началась в 1931 г. В связи с длительным (более 90 лет) техногенным воздействием на территории ВПР отмечаются негативные изменения окружающей среды, характерные для районов добычи угля (образование техногенных форм рельефа, загрязнение пылью, парниковыми газами, тяжелыми металлами, сокращение биоразнообразия и др.). Экологические вызовы осложняются экстремальными условиями Крайнего Севера и уязвимостью тундровых биогеоценозов. Это диктует потребность в разработке природоохранных мер, включая оптимизацию способов рекультивации для воссоздания тундровых экосистем на деградированных участках. Однако слабая изученность сукцессионной динамики растительности и начальных процессов педогенеза на посттехногенных территориях в условиях арктической зоны не позволяет выявить закономерности восстановительного процесса и разработать эффективные приемы ускорения сукцессий.

Цель работы – выявление особенностей формирования почвенно-растительного покрова в ходе первичной сукцессии на двух типах техноген-

ных объектов: отвалах вмещающих пород и карьерах строительных материалов; анализ эффективности применяемых приемов рекультивации.

Отвалы вмещающих пород из шахт сложены метаморфизированными осадочными отложениями различного петрографического состава (песчаники, алевролиты, аргиллиты). Высота отвалов составляет 10–15 м. На карьерах при добыче строительных материалов вскрываются рыхлые четвертичные осадочные отложения (валунные суглинки, карбонатные пески и гравийно-песчаные отложения). Глубина карьеров до 5 и более метров.

В 2022–2025 гг. были изучены растительность и почвы на территории 4 породных отвалов и 9 карьеров. На отвалах были выделены 12 пробных площадей (ПП), на карьерах, характеризующихся более разнотипными экотопами, – 67 ПП.

На каждой ПП выполнено геоботаническое описание и заложен почвенный разрез. Геоботанические описания проводили на площадках размером 10×10 м по стандартной методике с выявлением видового состава и процентного покрытия (%) сосудистых растений, мохообразных, лишайников. Формирование баз данных, автоматическая и ручная обработка таблиц выполнены в пакете Juice 7.0. Осуществлено описание морфологического строения почвенных профилей. Для диагностики и идентификации почв использованы принципы классификации почв России [1].

Отвалы возрастом 0–10 лет лишены растительного покрова. В этот период они имеют высокую температуру и горят. Растительный покров на перегоревших отвалах, как правило, представлен несомкнутыми инициальными группировками из сорно-рудеральных, эрозиофильных и луговых видов. Почвы под группировками слаборазвиты и представлены петроземами гумусовыми. Только на старом отвале пос. Рудник, где самовосстановительный процесс протекает более 40 лет, отмечены сомкнутые травяно-лишайниково-моховые сообщества с ивой. Длительный процесс самозарастания определил формирование петроземов грубогумусированных.

Проведение рекультивации (отсыпка отвала слоем суглинка мощностью до 20–30 см) обеспечивает в течение 20 лет формирование сомкнутого злакового покрова из мяты и щучки дернистой. В местах с более разреженным травостоем формируется моховой слой. Под злаковыми сообществами рекультивированного отвала описаны пелоземы гумусовые литостратные двуслойные на отвальной угольсодержащей щебнистой породе. Формирование почвенно-растительного покрова способствует прекращению пылевого загрязнения воздуха породами отвала.

Видовое разнообразие сообществ отвалов невысокое. Всего в несомкнутых сообществах на их территориях зарегистрировано 39 видов сосудистых растений и 7 таксонов мохообразных. С увеличением периода самозарастания видовое разнообразие увеличивается. Максимально оно в сообществах отвала пос. Рудник, где отмечено 40 видов сосудистых растений, 10 таксонов мхов и 12 лишайников. В сообществах рекультивированного от-

вала шахты «Октябрьская» зафиксировано 17 видов сосудистых растений и 5 таксонов мохообразных.

Восстановительным сукцессиям на отвалах препятствует высокая каменистость (до 90%) пород и, следовательно, их неблагоприятный водный режим. Возвышающиеся над окружающей местностью отвалы подвергаются воздействию жесткого ветрового режима. В верхнем (20 см) слое породы алевролиты и аргиллиты довольно быстро выветриваются, превращаясь в исходные глинистые, суглинистые субстраты, что благоприятствует самовосстановительным процессам. С глубиной процесс выветривания замедляется. Породы сравнительно «молодых» отвалов за счет содержания угля (Собщ \approx 17%) имеют темную окраску и сильно нагреваются на инсолируемых экспозициях. Неправильная планировка отвалов, обеспечивающая свободный доступ кислорода и процессы окисления угля, отсутствие антипирогенных добавок определяют возникновение очагов самовозгорания в отвалах. При высоких температурах происходит разложение минеральной части и углистых частиц с выделением CO, CO₂, NO_x, SO₂, H₂S и других газов, а также углеводородов [2, 3]. В связи с горением породных отвалов на территории ВПР восстановительные процессы, как правило, протекают на инертной красно-буровой массе горельников. Эдафические условия перегоревших отвалов существенно ухудшены за счет спекания пород и выгорания элементов-биогенов [4].

Формирование почвенно-растительного покрова на карьерах зависит от гранулометрического состава субстратов (суглинки, пески, пески с гравием) и степени увлажненности субстрата.

Самовосстановительный процесс особенно длителен на песчаных карьерах, когда формирование инициальных группировок может затягиваться на одно-три десятилетия. Почвообразовательные процессы начинают морфологически фиксироваться на этапе несомкнутых группировок, когда под разреженными разнотравными и злаково-разнотравными группировками начинает формироваться гумусово-слаборазвитый горизонт W. В шестом десятилетии сукцессии на сухих песчаных субстратах карьеров под криптогамными корками, пионерными мхами и лишайниками хорошо выражен горизонт W, а минеральная толща практически не затронута почвообразовательными процессами.

На ксеромезоморфных, мезоморфных, гидромезоморфных субстратах процессы формирования растительности и почв активизируются. В шестом десятилетии сукцессии формируется кустарниковый ярус из разных видов ив. В травяном ярусе отмечается как пионерное разнотравье, так и злаки. Напочвенный покров смыкается. За счет развития мохового и лишайникового покровов происходит формирование подстилочно-торфяного горизонта O. Верхняя часть минерального слоя псаммоземов и пелоземов приобретает серый цвет из-за прокраски подвижным органическим веществом. Для минеральной толщи характерны признаки оглеения (конкремиообразование, сизые и охристые пятна). Морфологически проявляются зональные признаки поч-

вообразования: в автоморфных суглинистых почвах карьеров – оглеение в верхних минеральных слоях профилей, на гравийно-песчаных и песчаных – начальные признаки альфегумусовых процессов.

В гидроморфных евтрофных экотопах карьеров уже в шестом десятилетии сукцессии формируются сообщества влаголюбивых растений (ивняки ситниково/осоково/хвощево-моховые) достаточно близкие по видовому составу с сообществами фоновых территорий, занимающих подобные экотопы. В почвенном профиле глеевых (торфяно-глеевыемы) почв увеличивается мощность органогенных горизонтов (до 15 см), усиливаются процессы потечности гумуса. Под торфяным (Т) горизонтом формируется сизый глеевый горизонт G с прокрашенной потечным гумусом верхней частью.

Рекультивация песчаных карьеров, заключающаяся во внесении поверхностного слоя торфа мощностью 5–20 см, способствует формированию на 20-й год сукцессии мятыковых сообществ на псаммоземах гумусовых гумусово-стратифицированных криогенно-ожелезненных глееватых. Внесение высоких доз удобрений обеспечивает формирование сообществ из конкурентномощного *Poa pratensis*, что в свою очередь создает режим ценотической замкнутости, сдерживающий внедрение видов и развитие потенциальных конкурентов.

В несомкнутых сообществах карьеров зафиксирован 71 вид сосудистых растений, 16 таксонов мхов и 29 лишайников. В ходе сукцессии видовое богатство возрастает. В сомкнутых сообществах отмечено 140 видов сосудистых растений, 68 таксонов мхов и 107 лишайников. В сообществах рекультивированного карьера видовое богатство снижено. Здесь зарегистрировано 26 видов сосудистых растений, 2 таксона мохообразных, лишайники не отмечены.

Вскрытые рыхлые четвертичные отложения на территории карьеров по своим химическим и водно-физическим свойствам являются достаточно благоприятным для естественного зарастания субстратом [5, 6]. Сукцессии протекают на данном типе техногенных объектов значительно быстрее, чем на отвалах. Однако и на территории карьеров за 60-летний период самовосстановительной сукцессии формирования типичной тундровой растительности, характерной для субарктических регионов, не отмечено. Зафиксирован тренд развития производных сообществ в сторону приближения их структурных характеристик к фоновой растительности.

Таким образом, разные формы рельефа и генезис пород техногенных объектов определяют специфику первичных сукцессий в тундровой зоне.

Наиболее замедлено формирование почвенно-растительного покрова на породных отвалах, что определяется в первую очередь высокой каменистостью субстрата. На данном типе техногенных нарушений описаны в основном несомкнутые разнотравные сообщества на петроземах гумусовых. Проведение рекультивационных работ (поверхностное нанесение суглинка слоем 20–30 см) на отвалах обеспечивает формирование на 20-й год сукцессии сомкнутых злаковых сообществ на пелоземах гумусовых литостратных двучленных.

Восстановление экосистем на территории карьеров, где вскрыты рыхлые четвертичные породы, зависит от гранулометрического состава субстратов и их влажности. На сухих субстратах (ксерархные смены), как правило, легкого гранулометрического состава формируются криптогамные и лишайниковые сообщества на псаммоземах гумусовых. В ходе мезархных смен восстанавливаются разнотравно-лишайниково-моховые/злаковые/злаково-моховые с ивой сообщества на псаммоземах и пелоземах. На переувлажненных субстратах карьеров (гидрархные смены) описаны ситниково/осоково/хвощево-моховые сообщества на торфяно-глееземах и псаммоземах. Рекультивационные работы на территории карьеров (поверхностное внесение торфа слоем 5–20 см) позволяют сформировать на 20-й год сукцессии длительнопроизводные однодоминантные травяные сообщества, по своей структуре существенно отличающиеся от сообществ зонального типа.

Библиографический список

1. Полевой определитель почв России. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
2. Брагина П. С. Самовозгорание угольных отвалов в Кемеровской области // Вестник Кузбасской государственной педагогической академии. 2013. № 4 (29). С. 57–64.
3. Маркова О. И. Отражение темы техногенного воздействия на природную среду Воркутинского района Республики Коми в Экологическом атласе России // Интеркарто. Интергис. 2015. Т. 21 С. 222–235.
4. Куприянов А. Н., Манаков Ю. А., Баранник Л. П. Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности. Новосибирск : Акад. изд-во «ГЕО», 2010. 116 с.
5. Дружинина О. А., Мяло Е. Г. Охрана растительного покрова Крайнего Севера: проблемы и перспективы. М. : Агропромиздат, 1990. 176 с.
6. Сумина О. И. Формирование растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера России. СПб. : Информ-Навигатор, 2013. 340 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ В УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ДОНБАССА

H. С. Мирненко

Донецкий государственный университет, natalya_zaharenkova@mail.ru

Изучены адаптационные особенности пыльцы *Diplotaxis muralis* (L.) DC. и *Plantago major* L. в условиях урбанизированных экосистем Донбасса. Установлено, что степень стерильности и деформации пыльцы зависит от уровня антропогенного воздействия и дефицита влаги. *D. muralis* проявляет структурные изменения как форму адаптации, тогда как *P. major* сохраняет морфологическую стабильность. Оба вида обладают потенциалом экологической устойчивости и могут рассматриваться как индикаторы состояния городской среды.

Ключевые слова: пыльца, экологическая устойчивость, адаптация растений, биоиндикация, *Diplotaxis muralis*, *Plantago major*, урбанизация.

Пыльца растений является одним из наиболее чувствительных индикаторов изменений среды, особенно в урбанизированных экосистемах. Изменения её морфологических характеристик (размер, форма, степень стерильности, состояние экзины) отражают уровень загрязнения, дефицит влаги, температурные колебания и другие стрессовые факторы [1–3].

Для исследований изменений урбанизированных территорий г. Донецка объектами исследования выступали *Diplotaxis muralis* (L.) DC. – представитель ксерофильной флоры степного Донбасса, и *Plantago major* L. – эвритопный вид, характерный для городских биотопов. Сравнительный анализ морфологической изменчивости пыльцы в урбанизированных территориях позволяет выявить различные стратегии экологической устойчивости и оценить возможность использования этих видов как биоиндикаторов [4].

Исследования проводились в 2018–2024 гг. на территории пгт. Новый Свет и г. Донецка. Сбор образцов пыльцы *D. muralis* осуществлялся на пяти пробных площадках, различавшихся по уровню антропогенного воздействия (вблизи дорог, промышленных объектов и на изолированных участках). Для *P. major* использовались десять мониторинговых точек в черте города, где вид встречался с различной частотой [1, 4].

Для оценки качества пыльцы – применялся иодный метод, позволяющий различать фертильные и стерильные пыльцевые зерна. Морфометрические параметры определялись с помощью микроскопа Primo Star (Carl Zeiss) при увеличении 40×10 и 90×10 . Проводился подсчёт более 1000 пыльцевых зерен на каждой площадке. Анализ экологической устойчивости включал расчет доли деформированных и стерильных зерен, а также изучение характера скульптуры экзины и количества апертур [2, 4, 5] (табл.).

Проведенный сравнительный анализ показателей пыльцы *D. muralis* и *P. major* позволяет рассматривать эти виды как растения с различными стратегиями экологической устойчивости. *D. muralis* демонстрирует стресс-толерантную стратегию (S-тип по классификации Грайма), формируя мелкие и относительно устойчивые пыльцевые зерна, что обеспечивает репродуктивную активность даже в условиях засухи и загрязнения почв тяжёлыми металлами. Высокая вариабельность стерильности пыльцы указывает на способность вида сохранять популяционную устойчивость за счёт широкого диапазона адаптаций. *P. major*, напротив, реализует эксплерентную стратегию (R-тип), характеризующуюся высокой способностью к размножению и первым «занимать» селитебные территории с умеренной влажностью. Крупные пыльцевые зё尔на (относительно *D. muralis*) с множественными апертурами свидетельствуют о повышенной чувствительности к изменению климатических параметров окружающей среды, таких как, влажность и газового режима.

Таблица

Сравнительная характеристика морфологических и экологических показателей пыльцы *D. muralis* и *P. major*

Морфологический признак	Индикаторный вид		Индикаторный признак
	<i>Diplotaxis muralis</i>	<i>Plantago major</i>	
Средний размер пыльцевого зерна, мкм	23,7–27,2	87–109	Увеличение размеров пыльцы может указывать на адаптацию к высокой влажности и меньшему стрессу
Степень стерильности пыльцы, %	4–65	до 10	Высокая стерильность отражает влияние антропогенных факторов и дефицита влаги
Характер скульптуры экзины	Мелкобугорчатая, утолщенная	Крупнобугорчатая, устойчивое строение	Плотная экзина указывает на адаптационные свойства к защите от внешнего воздействия и пересыхания
Количество апертур (пор)	3	5–7	При стабильных условиях увеличение количества пор способствует лучшему пылеению
Уровень деформации пыльцы, %	2–5	< 2	Повышенные деформации – индикатор стрессовых факторов среды
Соотношение пыльцевых зерен к семязачаткам	26,7–57,2	2,1–3,4	Отражает степень репродуктивного напряжения вида
Тип опыления	Факультативная ксеногамия	Анемофилия	Разные стратегии обеспечивают устойчивость к различным условиям среды
Экологическая ниша	Засушливые, нарушенные участки, вдоль дорог	Селитебные зоны, городские газоны	Отражает различную стратегию устойчивости: толерантность к загрязнению против засухоустойчивости
Адаптационная роль пыльцы	Отражает влияние засухи и техногенного загрязнения	Указывает на степень урбанизационного воздействия	Может использоваться для мониторинга состояния экосистем

В дальнейшем можно предположить, что в условиях усиления аридизации климата в Донбассе и техногенного загрязнения численность *D. muralis* в городских и пригородных агроценозах будет возрастать за счёт его устойчивости к стрессовым факторам. *P. major* сохранит адаптационные возможности в зонах с устойчивыми зелёными насаждениями, но может утрачивать долю в сильно застроенных районах с дефицитом влаги и перегревом грунта.

Совместное применение этих видов в качестве модельных объектов может служить интегральным индикатором состояния городской среды, а также использоваться для прогнозирования биотической устойчивости растительного покрова при изменении климатических условий. Рекомендуется ис-

пользование пыльцы указанных видов в системе экологического мониторинга урбанизированных территорий Донбасса как индикаторов двух типов нарушений: *D. muralis* – для оценки уровня загрязнения, засоления и дефицита влаги; *P. major* – для анализа урбанизационного давления и устойчивости зелёных насаждений.

Библиографический список

1. Мирненко Н. С., Сафонов А. И. Пыльца как тест-система индикации неблагоприятной городской среды (на примере г. Донецка) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 3. С. 12–17.
2. Осмонбаева К. Б. Содержание пыльцы растений и спор грибов в воздухе города Каракол за 2017 год. DOI: 10.5281/zenodo.6695554 // The Scientific Heritage. 2022. № 91. С. 10–16.
3. Сафонов А. И. Эколо-палинологическая ситуация в Донбассе (2014–2020 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 1–2. С. 32–38.
4. Мирненко Н. С. Результаты исследований в контексте адаптационных стратегий и репродуктивной способности *Diplotaxis muralis* (L.) DC. DOI: 10.5281/zenodo.15088484 // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2025. № 2. С. 63–68.
5. Попкова М. А., Будникова Н. В. Микробиологическая чистота цветочной пыльцы (обножки). DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.5.53 // Вестник аграрной науки. 2022. № 5. С. 53–58.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ДИНАМИКЕ ФИТОПЛАНКТОНА АЗОВСКОГО МОРЯ И ИХ СВЯЗЬ С ИЗМЕНЕНИЕМ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Э. И. Мирненко

Донецкий государственный университет, *eduard_mirnenko@list.ru*

На основе анализа научных публикаций рассмотрены современные тенденции и прогноз развития фитопланктона Азовского моря в условиях осолонения, снижения речного стока и нарастающего антропогенного воздействия. Показано, что структура альгофлоры смещается в сторону монодоминантных форм, устойчивых к гипоксии и колебаниям солёности. Рост концентраций биогенных элементов поддерживает детритную трофическую цепь и провоцирует летне-осенние вспышки массового развития цианобактерий. При сохранении наблюдаемых тенденций прогнозируется переход экосистемы Азовского моря к устойчивому эвтрофному состоянию с монодоминантным «цветением» групп фитопланктона с сокращением общего видового разнообразия. Возможность стабилизации связана с регулированием поступления биогенов, рациональным управлением водным балансом и усилением экологического мониторинга вод Азовского моря.

Ключевые слова: Азовское море, фитопланктон, биогенные элементы, эвтрофикация, цианобактерии, осолонение.

Азовское море – это уникальная экосистема, сочетающая черты морской и континентальной среды. Мелководность, высокая трофность и интенсивный водообмен с рекой Дон делают его одним из самых продуктивных морей в мировом океане, однако перечисленные особенности обуславливают крайнюю чувствительность к внешним воздействиям. В последние десятилетия экосистема Азовского моря переживает сложный период перестройки под влиянием как природных, так и антропогенных факторов – осолонения, снижения речного стока, климатической аридизации и усиления хозяйственной нагрузки. Эти процессы наиболее отчетливо отражаются в изменениях фитопланктона – первого трофического звена водоемов и индикатора экологического состояния моря [1].

В работах ряда авторов показано [2, 3], что структура и динамика фитопланктона в Азовском море испытывает выраженные сдвиги. Так, исследования, выполненные в 2007–2014 гг. в юго-восточной акватории моря, выявили 291 вид микроводорослей, относящихся к 11 отделам, среди которых преобладали динофитовые, диатомовые, цианобактерии и зеленые водоросли. Межгодовая изменчивость видового состава была значительной и изменялась от 65 видов в 2007 г. до 142 в 2010 г. По мере повышения солености вод – местами до 12‰ – наблюдалось вытеснение пресноводных форм солоноватоводными и морскими видами. Особенно заметные изменения произошли среди цианобактерий и диатомовых водорослей, где количество общих видов между годами сокращалось в несколько раз. При этом разнообразие фитопланктона по вертикали водной толщи также было неравномерным: максимальное число видов отмечалось в поверхностных и промежуточных слоях, а минимальное – в придонных, что отражало влияние стратификации и кислородного режима.

Современные наблюдения в Таганрогском заливе и нижнем течении Дона [1] подтвердили тенденцию к перестройке фитоценозов в сторону преобладания миксотрофных фитофлагеллят и цианобактерий, устойчивых к колебаниям солёности и обеднению питательными веществами. В 2017 г. в р. Дон было зафиксировано 210 видов фитопланктона и цианобактерий, преимущественно *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* и *Cyanobacteria*. Наибольшее видовое богатство наблюдалось в зоне перехода пресных и солоноватых вод (солёность 5–6‰), где создаются оптимальные условия для развития различных экологических групп. Пространственная структура фитопланктона чётко была разделена на пресноводный и морской типы сообществ: для нижнего Дона характерны диатомовые и эвгленовые, а для залива – цианопрокариоты и миксотрофные формы. Сезонная сукцессия характеризуется весенним максимумом диатомовых и двумя летне-осенними подъемами биомассы, обусловленными развитием цианобактерий, в том числе *Planktothrix agardhii* и *Pseudanabaena limnetica*. Эти «вспышки цветения» фитопланктона были характерны для теплого, слабо перемешиваемого и богатого биогенами слоя.

Эти изменения в структуре фитопланктона тесно связаны с трансформацией биогенного баланса Азовского моря. Как показано в работе [4], уро-

вень обеспеченности вод биогенными элементами – азотом, фосфором и кремнием – определяет биологическую продуктивность и напрямую влияет на динамику микроводорослей. Таганрогский залив, находящийся под постоянным воздействием стока р. Дон, содержит значительно больше биогенных солей, чем открытая часть моря.

Исследования биогенного баланса [4] подтверждают, что Азовское море все более зависит от внутренних источников элементов, участвующих в производственном процессе. Аммонийный азот является основной формой минерального азота и служит главным фактором стимулирования роста микроводорослей в летний период. Его концентрации возрастают при слабом ветровом перемешивании и снижении кислородного насыщения у дна. Нитратный азот, напротив, поступает преимущественно со стоком рек и атмосферными осадками; его уровень положительно коррелирует с объемом стока из Дона. Фосфаты, высвобождаемые из донных осадков при восстановительных условиях, дополнительно усиливают эвтрофикацию в теплый сезон. Таким образом, экосистема Азовского моря демонстрирует характерные признаки перехода в состояние устойчивой внутренней циркуляции биогенов, при которой внешние источники играют всё меньшую роль.

Анализ литературных данных [1–6] показал, что при сохранении существующих тенденций в ближайшие десятилетия ожидается дальнейшее усиление снижение пресноводного стока и увеличение концентрации соли в воде, что приведёт к устойчивому доминированию монодоминантных комплексов в структуре фитопланктона. В долгосрочной перспективе возможно формирование устойчивого «цианобактериального» типа экосистемы, при котором структура первичного продуцента будет определяться немногими толерантными видами, способными выдерживать колебания солёности, температуры и дефицит кислорода.

Тем не менее, способность Азовского моря к биогеохимическому саморегулированию остается высокой. При уменьшении антропогенного поступления биогенов, рациональном управлении речным стоком возможно смягчение проявлений эвтрофикации с сохранением видового разнообразия фитопланктона. Для этого необходима организация системного экологического мониторинга, включающего оценку численности и биомассы фитопланктона, концентраций биогенных элементов, а также постоянное наблюдение за кислородным и температурным режимом.

Таким образом, прогноз развития фитопланктона Азовского моря отражает противоречивое сочетание высокой продуктивности и нарастающей экологической нестабильности. Море продолжит оставаться уникальной лабораторией взаимодействия климатических, гидрохимических и биологических факторов, где фитопланктон играет роль не только индикатора, но и активного регулятора процессов, определяющих общее состояние экосистемы. Судьба Азовского моря в ближайшие десятилетия во многом будет зависеть от того, насколько успешно удастся удержать равновесие между природной саморегуляцией и растущим антропогенным воздействием.

Азовское море вступает в фазу глубоких экологических изменений, затрагивающих всю систему водных сообществ. Фитопланктон, как основное звено биопродукционного цикла, реагирует на эти процессы усилением динамики, изменением таксономического состава и смещением доминирующих форм.

Библиографический список

1. Корнева Л. Г., Глущенко Г. Ю. Состав и сезонная сукцессия фитопланктона Таганрогского залива Азовского моря и нижнего течения р. Дон в условиях изменяющегося климата. DOI 10.31857/S032096522001009X // Биология внутренних вод. 2020. № 1. С. 18–26.
2. Мирненко Э. И., Захаренкова Н. С. Тенденции в изучении водорослей – индикаторов морской среды // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2016. № 3–4. С. 13–22.
3. Фитопланктон и его изменения в юго-восточном районе Азовского моря летом 2007–2014 годов / С. П. Воловик, И. Г. Корпакова, Л. Ю. Налетова, Т. О. Барабашин // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 11. С. 21–27.
4. Косенко Ю. В. Основные аспекты баланса биогенных элементов в Азовском море. DOI 10.47921/2619-1024_2019_2_4_24 // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2. № 4. С. 24–37.
5. Вертикальное распределение биооптических показателей вод Азово-Черноморского бассейна в апреле – мае 2019 года / Т. В. Ефимова, Т. Я. Чурилова, Е. Ю. Скороход и др. DOI: 10.22449/0233-7584-2020-5-571-581 // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36. № 5. С. 571–581.
6. Нестерова Д. А., Гаркавая Г. П., Богатова Ю. И. Фитопланктон и гидрохимическая характеристика Азовского моря в летний период // Экология моря. 1988. Т. 29. С. 12–18.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОАКТИВНОЙ БИОПЛЁНКИ КАК ОСНОВА БИОСЕНСОРА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

P. H. Перчиков

Тульский государственный университет, r.n.perchikov@tsu.tula.ru

В статье представлен биосенсор для определения биохимического потребления кислорода на основе биоплёнок микроорганизмов, выделенных из активного ила, используемого на очистных сооружениях. Определена субстратная специфичность для биосенсора на основе выделенных микроорганизмов, направленно сформированных на поверхности модифицированных электродов.

Ключевые слова: биосенсор, электроактивная биоплёнка, углеродные нанотрубки, качество воды.

Мониторинг биохимического потребления кислорода (БПК) – ключевой инструмент для оценки эффективности очистки сточных вод и выявления загрязнений в природных водных объектах, подверженных значительной ан-

тропогенной нагрузке. Показатель БПК отражает суммарное количество кислорода, необходимое для биохимического окисления органических веществ в воде, поэтому широко применяется как интегральный индикатор качества среды при экологическом контроле. Согласно международному стандарту [1] и ГОСТ 31861-2012, стандартное определение БПК требует длительной инкубации проб (до 5 суток для БПК_5), что существенно ограничивает скорость принятия решений при потенциальных экологических загрязнениях.

Современные подходы к созданию биосенсоров для определения БПК_5 шагнули далеко вперёд, и уже нет необходимости использовать анаэробные микроорганизмы или вводить экзогенные медиаторы электронного транспорта. Для определения БПК_5 используют электроактивные биопленки для быстрого и чувствительного определения БПК_5 [2], предлагая значительные улучшения по сравнению с традиционными методами [3].

Использование биопленок обусловлено тем, что слой экзополисахаридного матрикса, который покрывает микроорганизмы, способен защищать бактерии, которые находятся на поверхности электродов, тем самым защищая их от воздействия негативных факторов окружающей среды (тяжелые металлы, соленость, pH , температура) и приводящих к созданию стабильных систем [4, 5]. Благодаря устойчивости биопленки к различного рода негативным воздействиям, ее жизненный цикл позволяет поддерживать долговременную стабильность сенсоров в течении недель и месяцев [2, 6]. Еще одной важной особенностью некоторых биопленок является их электроактивность, которая позволяет отказаться от использования экзогенных медиаторов, которые могут добавляться как непосредственно в электрод или на его поверхность (ферроцен) [7], так и водорастворимые медиаторы, которые добавляются в анализируемый образец и кювету [8].

Из активного ила очистных сооружений был выделен штамм, способный формировать биопленки, *Rhodococcus fascians*. На поверхности графито-пастового электрода, модифицированного углеродными нанотрубками с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) удалось установить образование биопленки на поверхности одностенных углеродных нанотрубок (рис. 1).

На СЭМ-изображении видно направленное покрытие биопленкой модифицированной части электрода и зрелые участки полисахаридного матрикса. Разрабатываемый биосенсор должен регистрировать биохимическое окисление широкого спектра органических субстратов для БПК_5 анализа, в связи с этим была изучена субстратная специфичность биосенсора на основе электроактивной биопленки микроорганизмов на поверхности одностенных углеродных нанотрубок (рис. 2).

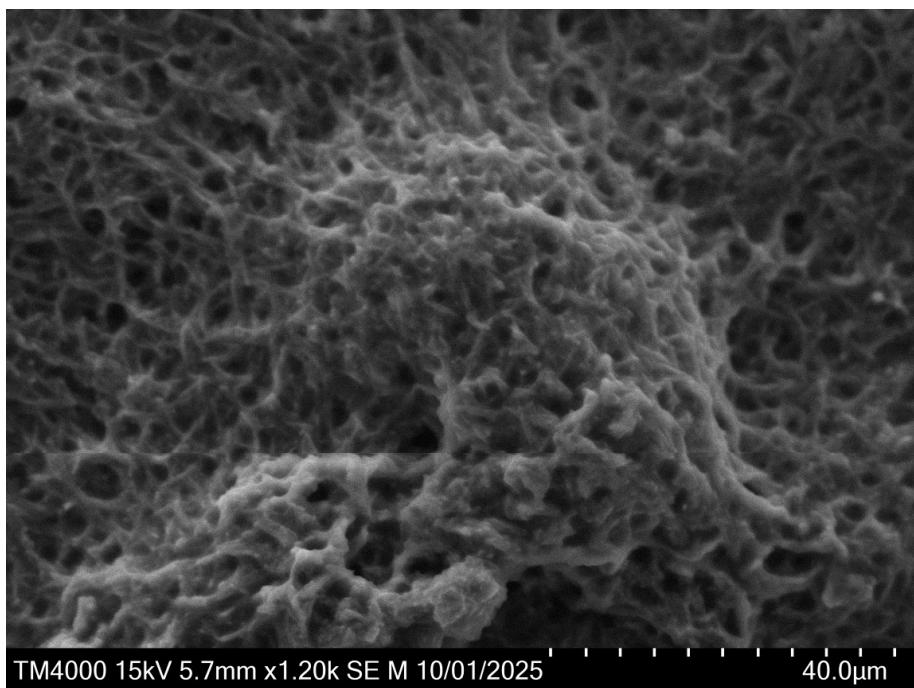


Рис. 1. СЭМ-микрофотография биопленки микроорганизмов *R. fascians* на поверхности одностенных углеродных нанотрубок

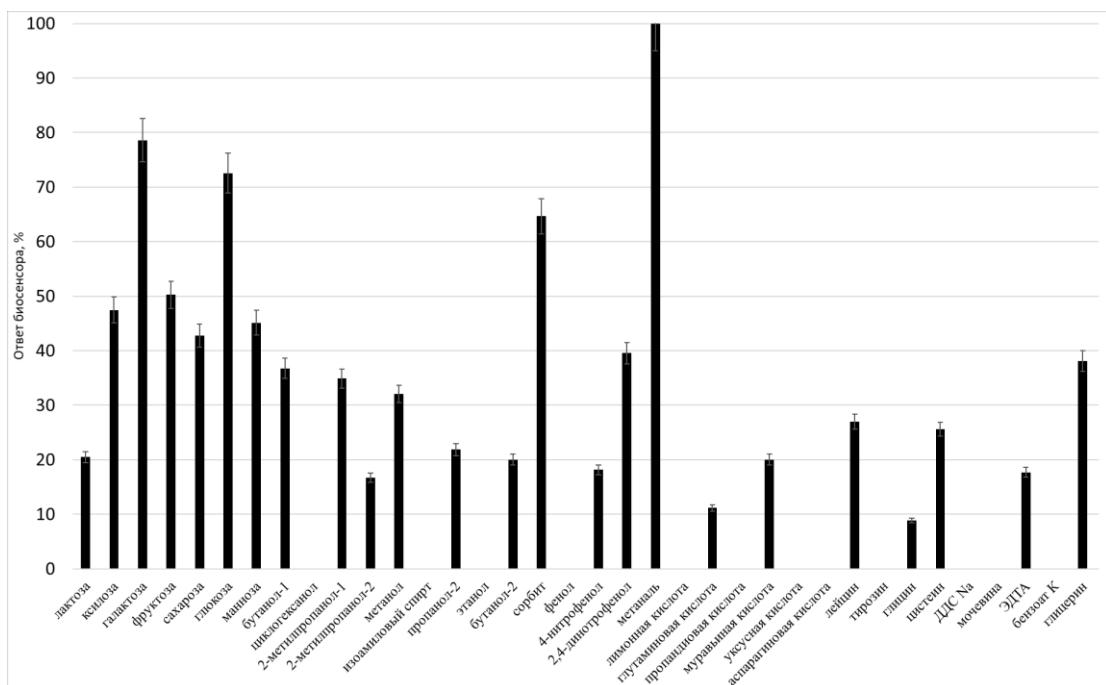


Рис. 2. Субстратная специфичность биопленки микроорганизмов *R. fascians*

Анализ профиля окисляемых субстратов позволил сделать вывод о том, что количество аналитических сигналов было зафиксировано на 24 из 36 предложенных субстратов. В целом, биосенсор на основе биопленки микроорганизмов, выделенных из активного ила и углеродных нанотрубок, позволяет регистрировать окисление достаточно широкого спектра органических соединений, что обеспечивает корректность определения БПК₅. Такой сенсор на основе электроактивной биопленки иnanoструктурной поверхности элек-

трома позволяет формировать биосенсоры без использования эндогенных медиаторов электронного транспорта, так как выделенные микроорганизмы сами способны к продукции медиаторов электронного транспорта [6].

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта ректора ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» для поддержки молодых ученых № БАСиБ/25/01/ГРР от 05.02.2025.

Библиографический список

1. ISO 5815-1. Water quality. Determination of biochemical oxygen demand after n days (BOD_n). Part 1 : Dilution and seeding method with allylthiourea addition. Geneva : International Organization for Standardization, 2008. 22 p.
2. Electroactive biofilms of activated sludge microorganisms on a nanostructured surface as the basis for a highly sensitive biochemical oxygen demand biosensor / S. Kurbanalieva, V. Arlyapov, A. Kharkova, et al. DOI: 10.3390/s22166049 // Sensors. 2022. Vol. 22. Article No. 6049.
3. An electroactive biofilm-based biosensor for water safety: pollutants detection and early-warning / X. Qi, S. Wang, T. Li, et al. DOI: 10.1016/j.bios.2020.112822 // Biosens. Bioelectron. 2021. Vol. 173. Article No. 112822.
4. Layered design of a highly repeatable electroactive biofilm for a standardized biochemical oxygen demand sensor / H. Su, X. Yan, Q. Zhao, et al. DOI: 10.1021/acssensors.3c00583 // ACS Sensors. 2023. Vol. 8. P. 2383–2390.
5. Electrochemically active biofilm-enabled biosensors: current status and opportunities for biofilm engineering / Y. Hu, X. Han, L. Shi, B. Cao. DOI: 10.1016/j.electacta.2022.140917 // Electrochimica Acta. 2022. Vol. 428. Article No. 140917.
6. Гуркин Г. К., Перчиков Р. Н. Биоэлектрохимические системы на основе нановолокон полианилина и *Rhodococcus fascians* : мониторинг БПК, очистка сточных вод и биоэлектрогенерация. DOI: 10.24412/2071-6176-2025-3-38-53 // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2025. № 3. С. 38–53.
7. Targeted formation of biofilms on the surface of graphite electrodes as an effective approach to the development of biosensors for early warning systems / A. Kharkova, R. Perchikov, S. Kurbanalieva, et al. DOI: 10.3390/bios14050239 // Biosensors. 2024. Vol. 14. Article No. 239.
8. Арляпов В.А., Харькова А.С., Илюхина А.С. Кинетический подход к формированию двухмедиаторных систем для создания микробных биосенсоров на примере экспресс-анализа индекса биохимического потребления кислорода // Актуальная биотехнология. 2021. № 1. С. 224–228.

ПРЕЗЕНТАЦИЯ КНИГИ «ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФИТОМОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ»

A. И. Сафонов

Донецкий государственный университет, andrey_safonov@mail.ru

Выделены структурно-организационные аспекты при создании монографической работы «Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций». Книга содержит ретроспективный краеведческий материал о проведенных ботанико-индикационных исследованиях на территории Центрального Донбасса за последние 30 лет. Обоснована научно-идеологическая

составляющая при подготовке итоговой публикации в 2024 году по материалам, полученным в острой фазе беллигеративного фактора и полемостресса.

Ключевые слова: фитоиндикация, экологический мониторинг, полемостресс, Донбасс, беллигеративные ландшафты, диагностика природных сред.

Целесообразность формирования монографической работы как продукта исследовательской деятельности [1] во многом оправдана с позиций отчетных требований, так и в связи с необходимостью закрепления полученных сведений в конкретный временной отрезок. Опубликованная в 2024 г. монография «Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций» представляет собой результат 30-летнего целевого изучения растений природной флоры Северного Приазовья для их использования в качестве индикаторов антропогенной нагрузки [2]. Книга по своему содержанию позиционирует обобщённые сведения как первую в регионе сводку ботанико-экологического содержания с результатами, полученными в условиях непосредственного военного импакта на природные и природно-техногенные системы с 2014 года.

На первых стадиях становления и развития Донецкого научного центра с 1965 г. функциональный подход в изучении растительных объектов был сосредоточен на базовых концепциях промышленной ботаники: озеленение предприятий-загрязнителей, фитооптимизация нарушенных локальных экосистем и отбор адаптированного растительного материала для успешного его использования с учетом макроклиматических особенностей региона и токсических нагрузок на природные среды в каждом конкретном экотопе. К середине 90-х годов 20-го века прикладные направления существенно расширились: добавились генетико-популяционные исследования, были отложены процедуры селекционной работы для древесных, цветочно-декоративных групп растений, существенным образом усложнился инструментальный процесс для более детального изучения физиологических и микроструктурных процессов, что позволяло выводить исследования на новые уровни в понимании некоторых механизмов организации живой материи. Отдельным направлением фитомониторинговых исследований в рамках экологический экспертизы был сформирован блок разработок по выявлению индикационных свойств растений, проявляющихся в индуцируемой разнице антропогенной нагрузки для промышленных, селитебных, рекреационных зон, агросистем и рудеральных полигонов. Большинство индикационных показателей для растений в таком направлении использования прошли процедуру экологического шкалообразования с учётом всего диапазона варьирования тех признаков, которые выявили информативную пластичность своих структур: отдельные трихомы на поверхности вегетативных органов, характер комплектования конформационных тканей, дифференцированных клеточных образований и систем органов генеративной части растений, что в совокупности для многих

обнаруженных атипичных структур проявляется на макроуровне архитекторники и габитуса. В целом, накопленные сведения о состоянии растений-индикаторов в неблагоприятных средах разного уровня трансформации к началу военных действий в Донбассе (2014 г.) имели 20-летний период наблюдений, включая северные промышленные узлы Донецкой области (Артёмовский и Краматорско-Константиновский).

Появившийся с 2014 г. нео-фактор трансформации природных экосистем в юго-западной части Российской Федерации (фактор военных действий) радикальным образом переформатировал хозяйственную деятельность человека на больших территориях и стал предметом исследования ботаников-экологов региона для осуществления мониторинговых работ в меняющихся геосистемах. Поэтому за период 2014–2024 гг. осуществлялись поиски новых признаков и свойств в растительных организмах-индикаторах, чтобы реализовать доступную для анализа экологическую экспертизу. К осени 2024 г. был накоплен достаточный сравнительный материал, большинство совокупных сведений подверглись процессу картографирования в границах 113-компонентной мониторинговой сети Центрального Донбасса; фактор полемостресса за 11-летний срок сформировал устойчивую тенденцию, отражающуюся на видовой разнице индикаторных организмов, по структурно-функциональным критериям, так и в доказанном геохимическом контрасте по результатам ингредиентной идентификации растительных образцов. 2024 год стал также прорывным для естественнонаучных направлений работы коллектива учёных Донецкого государственного университета в связи с открытием двух молодёжных лабораторий. В рамках финансирования научной темы: «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» и была издана обсуждаемая монография.

Вводная часть книги (предисловие и благодарности) определённым образом является обоснованием для подготовки монографического издания в таком контексте. Автор не был детерминирован ни в объёме текстовой доказательной части издания, ни в тематическом характере освещения отдельных вопросов. Поэтому представленная для рассмотрения книга получилась ретроспективной, краеведческой и в определённой степени авторско-эмоциональной, поскольку большинство из сведений были получены в сложных условиях ведения военных манёвров на грани выносливости и самоотверженной работы при проведении научного эксперимента.

В благодарностях автора особое место занимает раздел предоставленной возможности для апробации материалов на научных мероприятиях. Безусловно, ежегодные экологические конференции, проводимые в Вятском государственном университете, организованные профессором Т. Я. Ашихминой, в годы военных событий на территории Донбасса сформировали возможность донецким учёным представлять и обсуждать свои научные работы для большой аудитории, получать ценные консультации и планировать дальнейшую деятельность. Благодаря открытой поддержке научного сообщества не был

утрачен энтузиазм в реализации мониторинговых программ, а при подготовке материалов к публикациям в разные годы были инициированы многие как теоретические обоснования полученных результатов, так и способы их практического использования. С момента официального признания Донецкой Народной Республики и при вхождении её в состав Российской Федерации многие организации инициировали деятельность с учёными Донецкого государственного университета, а до этого периода такая поддержка была осуществлена единичными университетами, в числе которых по экологической тематике был и остаётся Вятский государственный университет.

Презентуемая книга состоит из 6 разделов: 1) теоретическая (концептуальная) основа для формирования фитомониторинга в промышленно напряжённом регионе; 2) описание способов формирования сетей мониторинговых наблюдений для сбора информации; 3) частные примеры фитоиндикационной экспертизы, связанные с совместными работами студентов и молодых учёных, ссылки на которых подтверждают такую форму научной кооперации; 4) отдельные аспекты разработок учёных кафедры ботаники и экологии ДонГУ в контексте общих исследований по индикационной тематике; 5) примеры экомониторинга для техногенных объектов; 6) раздел, связанный с идентификацией нео-стрессового фактора военных событий по индикаторным признакам растений. Таким образом, рассматриваемая книга содержит информацию о работе всего структурного подразделения университета – кафедры ботаники и экологии, включает иллюстративный вариант в той последовательности, чтобы разделить сведения по реакции растений на факторы техногенного загрязнения и на воздействие беллигеративных трансформаций в природных и изменённых экосистемах.

В контексте новейшей истории 2025 г. многочисленные сведения о состоянии экотопов Донбасса указывают на критически деградативные процессы, что требует разработки специальных программ и внедрения научно обоснованных способов по оценке и восстановлению нарушенных экотопов [3, 4]. На современном этапе инвентаризационных и целевых мониторинговых работ, идентифицирующих последствия военных событий в Донбассе [5, 6], получены сведения дендроиндикационного характера. Используемые методы оценки урбанизированных систем Центральной России [7, 8] являются перспективными для изучения природно-территориальных комплексов Донбасса в постконфликтных локалитетах. Очерченная ещё в начале 2025 года перспектива возможности государственной регистрации баз данных и результатов интеллектуальной деятельности [9] стала реальностью [10] для коллектива учёных Донецкого государственного университета в рамках реализуемых программ по биодиагностике, мониторингу и прогнозированию состояния экосистем Донбасса.

Тематика монографии созвучна с основной научной идеологией для проводимой в 23-й раз Всероссийской конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем» в Вятском государственном университете. Смысловые акценты диагно-

стики выделяются в том, что она необходима на всех этапах природопользования: от проектирования хозяйственной деятельности, в долгосрочный период её осуществления и на стадии ликвидации последствий. Такая логическая связка также является обоснованием для реализации крупномасштабного проекта ВятГУ по проведению ежегодного форума «Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии».

Представленная для презентации книга также после своего выхода в свет имеет продолжение в разработках материалов для Белой книги ДНР как свода примеров неблагоприятных последствий для природных и социальных систем в результате военных действий. К концу 2025 г. специальное издание 4-томника Белой книги по историческим регионам Донбасса и Новороссии будет представлено широкой общественности, в том числе для рассмотрения в Международном военном трибунале и на заседаниях ООН.

Библиографический список

1. Куулар М. Ч. Функции монографии как документа в системе научных коммуникаций. DOI: 10.20913/1815-3186-2022-4-37-45 // Библиосфера. 2022. № 4. С. 37–45.
2. Сафонов А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. Донецк : Издательский дом «ЭДИТ», 2024. 289 с.
3. Биоремедиация техногенно деградированных земель после завершения специальной военной операции на территории новых субъектов Российской Федерации / Т. Я. Ашихмина, Л. И. Домрачева, И. П. Погорельский и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-209-217 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 209–217.
4. Мониторинг растительности в районе предприятий по утилизации опасных промышленных отходов / Е. А. Домнина, Е. В. Дабах, Т. Я. Ашихмина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2025-2-063-071 // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 2. С. 63–71.
5. Современное экологическое состояние Великоанадольского леса в связи с военными действиями / В. О. Корниенко, Р. В. Кишкань, А. А. Чибилев и др. DOI: 10.24412/2712-8628-2025-2-79-90 // Вопросы степеведения. 2025. № 2. С. 79–90.
6. Evaluating the vitality of introduced woody plant species in the Donetsk–Makeyevka urban agglomeration / V. Kornienko, I. Pirko, B. Meskhi et al. DOI: 10.3390/plants14203160 // Plants. 2025. Vol. 14. No. 20. Article No. 3160.
7. Экологические риски аэробиогенного загрязнения промышленных городов Центрального Черноземья / С. А. Куролап, О. В. Клепиков, Т. И. Прожорина и др. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2024. 287 с.
8. Епринцев С. А., Шекоян С. В. Геоинформационный анализ качества окружающей среды городских территорий Центральной России. DOI: 10.7868/S25000640250208 // Наука Юга России. 2025. Т. 21. № 2. С. 47–56.
9. Сафонов А. И. Опыт фитоиндикационной оценки антропогенных экотопов Донбасса (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2025-2-016-029 // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 2. С. 16–29.
10. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025624200 РФ. Структурно-функциональные показатели растений-индикаторов антропогенных трансформаций в Донбассе. опубл. 02.10.2025 / А. И. Сафонов. ДонГУ. 22 с.

ИЗУЧЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ ПАРЫ «ВИТАМИН С – ГЛУТАТИОН»

А. И. Фокина, Т. Н. Тропникова

Вятский государственный университет, tayatrop@gmail.com

В статье представлен опыт исследования влияния витамина С, глутатиона и их пары на перекисное окисление липидов. Применен метод спектрофотометрии для определения концентрации малонового диальдегида в исследуемых пробах.

Ключевые слова: перекисное окисление липидов, окислительный стресс, аскорбиновая кислота, глутатион, спектрофотометрия.

Современная медицина и биология уделяют значительное внимание изучению процессов, лежащих в основе развития широкого спектра заболеваний, среди которых особое место занимают сердечнососудистые, онкологические, нейродегенеративные патологии, а также преждевременное старение. Ключевым звеном в патогенезе многих из этих состояний является окислительный стресс. Окислительный стресс – дисбаланс между производством активных форм кислорода (АФК) в организме и способностью биологической системы своевременно очищать себя от интермедиаторов реакции и восстанавливать причиненный ущерб [1].

Одним из основных следствий развития окислительного стресса в организме является перекисное окисление липидов (ПОЛ) – необратимый процесс формирования нестабильных органических соединений, характеризующихся наличием связей С–О или С=О, возникающих в результате действия активных форм кислорода на ненасыщенные жирные кислоты, содержащиеся в липидах клеточной мембранны [2]. Концентрация пероксида водорода в крови достигает порядка 10 мкмоль/л у пациентов с различными заболеваниями [3], а ключевым показателем интенсивности процесса ПОЛ служит уровень малонового диальдегида (МДА).

Антиоксиданты (АО) играют ведущую роль в предотвращении повреждения липидов свободными радикалами. Организм использует сложную многокомпонентную антиоксидантную систему, включающую как ферментативные, так и неферментативные АО. Среди последних особое значение имеют витамин С (аскорбиновая кислота) и глутатион.

Витамин С является мощным водорастворимым антиоксидантом, способным нейтрализовать широкий спектр свободных радикалов [4].

Глутатион (GSH) – трипептид, синтезируемый в клетках, выступает в качестве центрального эндогенного антиоксиданта, участвуя в детоксикации и регенерации других АО [5].

Эксперимент включал в себя следующие этапы. Фильтровальную бумагу, пропитанную свиным салом, заливали в химическом стакане забуферен-

ным (рН = 6,8) физиологическим раствором. В качестве контроля использовали вариант без внесения пероксида водорода и АО. Варианты эксперимента: 1) в забуференный физиологический раствор добавлен пероксид водорода (10 мкмоль/л); 2) в забуференный физиологический раствор добавлен пероксид водорода (10 мкмоль/л) и аскорбиновая кислота (20 мкг/л); 3) в забуференный физиологический раствор добавлен пероксид водорода (10 мкмоль/л) и глутатион (500 мкмоль/л); 4) в забуференный физиологический раствор добавлен пероксид водорода (10 мкмоль/л) и смесь АО в концентрациях, равных монорастворам. Выбор концентраций АО основан на данных об их содержании в крови человека после введения рекомендованных в медицине доз препаратов, содержащих данные АО.

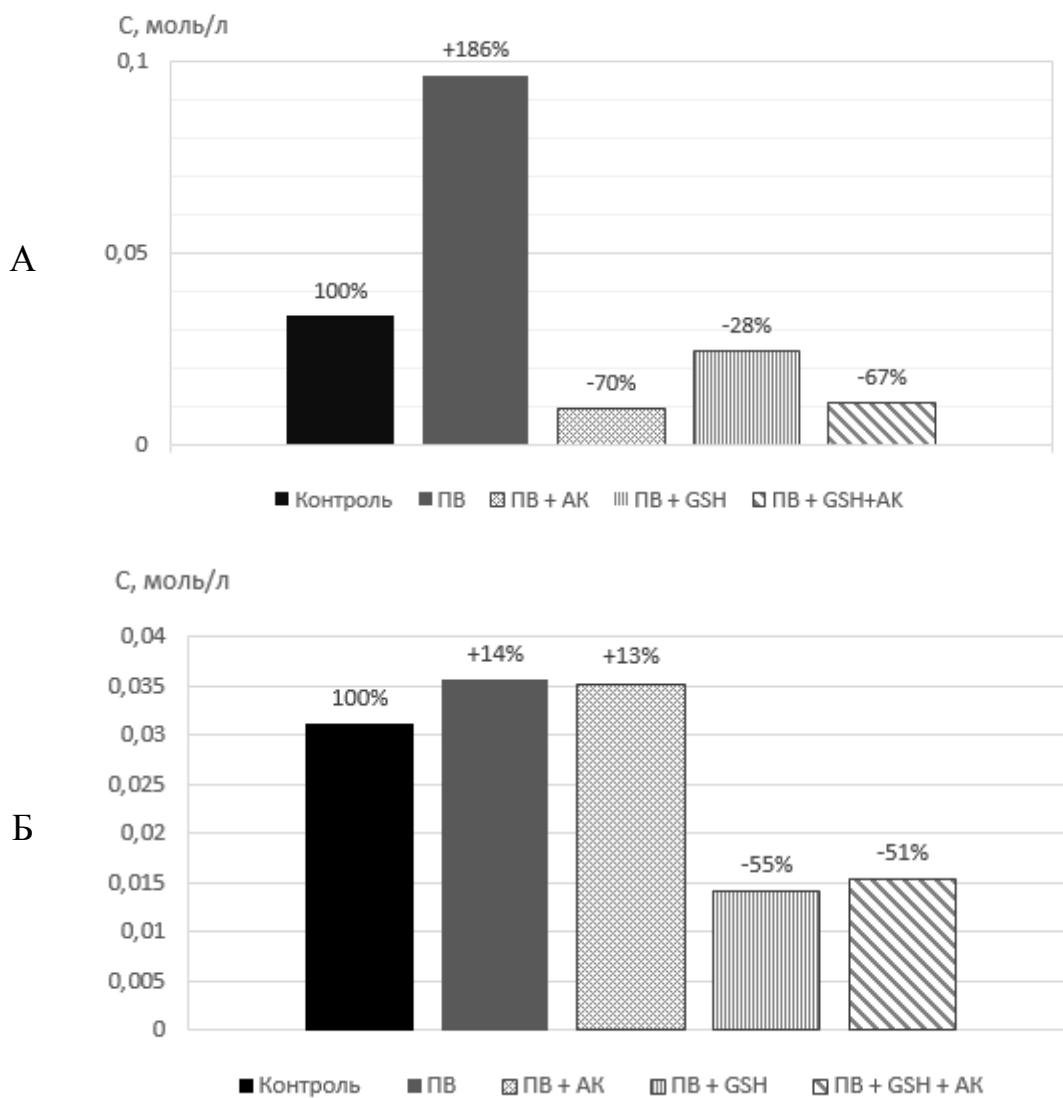


Рис. Концентрации (С, моль/л) малонового диальдегида через 10 минут (А) и через 120 минут (Б) и сравнение их величин с контрольным значением (%):

ПВ – пероксид водорода; ПВ + АК – пероксид водорода с добавлением аскорбиновой кислоты; ПВ + GSH – пероксид водорода с добавлением глутатиона; ПВ + GSH + АК – пероксид водорода с добавлением смеси антиоксидантов

Далее растворы термостатировали при температуре 36–37 °С, через 10 и 120 минут в растворе определяли концентрацию МДА.

Через 10 минут после начала эксперимента установлено, что максимальный уровень концентрации МДА – в варианте с добавлением только пероксида водорода (рис. 1А). Добавление АО привело к снижению ПОЛ по сравнению с контрольным вариантом: в варианте с аскорбиновой кислотой и смесью АО – в три раза, с глутатионом – на одну треть. Количество МДА после добавления пероксида водорода без АО оказалось почти в два раза больше, чем в контрольном варианте.

Через 120 минут в варианте с глутатионом наблюдался наименьший уровень ПОЛ (концентрация МДА снизилась на 55% по сравнению с контрольным образцом) (рис. 1Б). В пробе с АК концентрация МДА возросла на 13%. Такой результат связан с тем, что аскорбиновая кислота представляет собой мощный антиоксидант, способный эффективно снижать образование свободных радикалов в первые минуты эксперимента. Однако ее защитный эффект ограничен количеством молекул, присутствующих в растворе. Спустя продолжительное время запас аскорбиновой кислоты истощается, и способность защищать клетки от дальнейшего повреждения снижается. Это ведет к повышению концентрации МДА.

Таким образом, исследование взаимного действия антиоксидантов в борьбе с перекисным окислением липидов является перспективным направлением поиска эффективных терапевтических схем в борьбе с заболеваниями. Однако, для интерпретации результатов необходима стандартизация методов определения взаимодействий, что облегчит сравнение результатов исследований.

Библиографический список

1. Окислительный стресс. Прооксиданты и антиоксиданты / Е. Б. Меньщикова, В. З. Ланкин, Н. К. Зенков и др. М. : «Слово», 2006. 556 с.
2. Кузнецов С. Л., Горячкина В. Л. Гистология, эмбриология, цитология. М. : Медицинское информационное агентство, 2002. 236 с.
3. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer / M. Valko, C. J. Rhodes, J. Moncol, et al. DOI: 10.1016/j.cbi.2005.12.009 // Chem. Biol. Interact. 2006. Vol. 106. No. 1. P. 2004–2036.
4. Витамин С (аскорбиновая кислота) и гемостаз / Р. Г. Алборов, Л. А. Васильев, В. В. Кондаков и др. // Медицинская наука и образование Урала. 2009. Т. 10. № 2. С. 143–146.
5. Толпигина О. А. Роль глутатиона в системе антиоксидантной защиты (обзор) // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2012. № 2. С. 178–180.

БИОДИАГНОСТИКА ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДОЕМОВ С ПОМОЩЬЮ ВЫСШЕЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

А. А. Фомина, В. И. Немерюк, Е. И. Тихомирова

*Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю. А., fominaaa@sstu.ru*

Проведено исследование экологического состояния Волгоградского водохранилища вблизи крупного промышленного центра Саратов–Энгельс с использованием высшей водной растительности. Проанализированы причины и характер техногенного загрязнения водохранилища, его современное состояние. Показана высокая поглотительная способность рогоза узколистного в отношении такого металла как железо. Отмечена возможность его использования в мониторинге водных объектов.

Ключевые слова: биоиндикация, качество воды, Волгоградское водохранилище, высшие водные растения, рогоз узколистный.

Особую проблему представляет техногенное загрязнение водных ресурсов. В результате хозяйственной деятельности человека в водоемы попадают промышленные стоки, коммунальные отходы, нефтепродукты, пестициды, тяжелые металлы и другие поллютанты. Это приводит к целому ряду негативных последствий. Во-первых, существенно ухудшается качество питьевой воды, что создает угрозу для здоровья населения. Во-вторых, нарушается баланс водных экосистем, что ведет к сокращению численности рыбы и других водных организмов. В-третьих, происходит постепенная деградация самих водоемов.

Для решения этой проблемы необходимо применять комплексные меры. Важнейшее значение имеет совершенствование систем очистки сточных вод и внедрение современных технологий на производстве, например, замкнутых систем оборотного водоснабжения. Не менее важно ужесточение контроля за сбросами загрязняющих веществ и развитие систем экологического мониторинга.

Высшие водные растения, произрастающие в природных водоемах, являются прекрасными биоиндикаторами экологического состояния водного объекта. Они способны накапливать загрязняющие вещества в концентрациях, превышающих фоновые значения, зафиксированные в окружающей среде. При использовании биообъектов оценка природно-техногенных систем происходит с учетом особенностей структуры их организации, функционирования и способности к самовосстановлению и саморегуляции [1].

Целью нашей работы явился мониторинг вод Волгоградского водохранилища близи городов Саратов–Энгельс с помощью высших водных растений.

Исследования проводились в акватории Волгоградского водохранилища, которое является заключительным в каскаде Волжских водохранилищ, и может аккумулировать загрязняющие вещества, а также и имеет большие площади мелководных и застойных зон. Для него характерна равномерность распределения химических элементов по акватории, что связано с частотой водообмена, динамикой водных масс, характером ветрового режима [2].

В первые десятилетия функционирования водохранилища основными источниками загрязнения были промышленные предприятия в Волгограде, Саратове и других городах. Они сбрасывали в воду химические отходы, тяжёлые металлы и нефтепродукты, а очистные сооружения не всегда справлялись. Параллельно развивалось сельское хозяйство, и в водохранилище попадали удобрения и пестициды с полей. Из-за этого синезелёные водоросли размножались, а рыбы, особенно ценные породы вроде осетра, стало меньше. К тому же само создание водохранилища замедлило течение реки. В 80–90-е годы ситуация ухудшилась: донные отложения накопили токсичные вещества, а из-за коммунальных стоков городов вода насыщалась фосфатами и азотом.

Сейчас проблема остается: сточные воды производств все еще загрязняют воду, очистные системы не идеальны, а из-за климатических изменений Волга мелеет, и водохранилище хуже самоочищается. Кроме того, появились такие новые угрозы как микропластик и ксенобиотики-лекарства в водных экосистемах. Волгоградское водохранилище в последние десятилетия испытывает значительную антропогенную нагрузку, что приводит непоправимым изменениям в природной среде региона.

В ходе исследования были определены ключевые предприятия-загрязнители, расположенные в городах Волгоград, Камышин, Саратов, Энгельс и Балаково, чьи производственные процессы непосредственно связаны со сбросом загрязняющих веществ в акваторию водохранилища. Особую озабоченность вызывают промышленные гиганты нефтехимического комплекса, энергетики и металлургии, чьи сбросы могут содержать тяжелые металлы, нефтепродукты и другие токсичные соединения.

Были проанализированы официальные данные Министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области за последние десять лет [3]. Установлено, что характерными загрязняющими веществами для воды водохранилища являлись трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), фенолы летучие, соединения железа, меди и марганца. В 2023 г. превышение установленных нормативов составило: 92% для трудноокисляемых органических веществ (по ХПК); 68% для соединений меди; 65% для соединений марганца; 56% для фенолов летучих. По совокупности всех показателей степень загрязненности толщи воды и придонного слоя обследованного участка Волгоградского водохранилища в период исследования не изменилась и осталась в пределах «загрязненной» [3].

Отбор проб воды и водной растительности проводился на мелководьях Волгоградского водохранилища в районе крупной промышленной агломерации Саратов–Энгельс с правого и левого берега. Пробы воды анализировали стандартными общепринятыми методами [4]: определяли общую минерализацию, кислотность, жесткость, общее железо, медь, кадмий, хлориды, сульфаты, фосфаты. Оценку показателей качества воды проводили, используя данные санитарно-гигиенических нормативов из документов: Приказа Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 и СанПиН 1.2.3685-21.

В рамках настоящего исследования основное внимание уделялось определению физико-химических характеристик водной среды и содержанию тяжелых металлов, известных своей способностью к биоаккумуляции и токсическому воздействию на живые организмы. Содержание железа в двух пробах обнаружено ниже уровня чувствительности приборного оборудования, в пробах 3 и 4 (0,069–0,09 мг/см³) значения близки к ПДК для рыбохозяйственных вод (0,1 мг/см³), но в норме для питьевой воды (0,3 мг/см³). При этом его уровень в водохранилище может достигать 0,39 мг/см³, что превышает и ПДК для питьевой воды и ПДК для вод рыбохозяйственного назначения.

Для меди было отмечено сильное превышение ПДК для вод рыбохозяйственного назначения (в 28 раз), отобранный рядом с железнодорожной станцией Сазанка. В других местах отбора проб также отмечено превышение содержания меди, причем в значительно меньшей степени (примерно в 2 раза). В докладе о состоянии окружающей среды Саратовской области указаны сходные превышения данного тяжелого металла: фоновое содержание меди на всех исследуемых гидрохимических постах около 2 ПДК. Для воды питьевого назначения предельно допустимая концентрация меди выше и по этому показателю вода пригодна для питьевых целей.

Высшая водная растительность отбиралась в конце сентября 2024 года в конце срока своей вегетации. В качестве основного вида для анализа содержания загрязняющих веществ был выбран рогоз узколистный – *Typha angustifolia* L. Растения извлекались вместе с корнем, корень промывался от излишков почвы и ила. Определение содержания тяжелых металлов в растениях проводили с помощью рентгенофлуоресцентного анализа.

Для проведения химического анализа растений была проведена предварительная пробоподготовка и была отработана ее методология. Рогоз узколистный был тщательно очищен и высушен естественным образом. После этого он был разделен на четыре части: главный корень; боковые корни; стебель; листья. После разделения, каждая из групп была измельчена при помощи ножниц до мелких частиц. Растения в измельченном состоянии были помещены в сушильный шкаф при температуре 60 °С на 2–3 ч. Процедура выполнялась 1–2 раза в зависимости от части растений. Затем растительные образцы были доведены до близкого к порошковому состоянию при помощи ступки и пестика, а также блендера. Следующий этап подготовки к анализу – изготовление сухих таблеток из растительных образцов. Таблетка

формировалась на подложке из сухой борной кислоты при помощи пресса. Сначала прессовалась подложка, затем поверх нее наносили образец растения. Анализ полученных образцов провели при помощи рентгенофлуоресцентного спектроскана «МАКС».

Данные результатов анализа были внесены в таблицу, в которой представлены концентрации металлов и других химических элементов в различных частях растения в мг/кг сухого веса.

Таблица

Содержание тяжелых металлов и других элементов в различных частях рогоза узколистного

Орган	Содержание тяжелых металлов и других элементов, мг/кг							
	Fe	Mn	Zn	Ni	Br	Rb	Sr	Ca
Основной корень	1862 ±100	32,5 ±0,5	35 ±0,5	1 ±0,5	27 ±1	7 ±0,5	70 ±3	4100 ±100
Боковой корень	15071 ±100	79 ±0,5	37 ±0,5	5 ±0,5	26,5 ±0,5	8 ±0,5	114 ±4	5000 ±100
Стебель	770 ±20	53 ±1	34 ±0,5	1 ±0,5	32 ±1	7,5 ±0,5	97 ±1	5650 ±50
Листья	1100 ±150	120 ±3	35 ±0,5	2 ±0,5	58 ±4	8 ±0,5	115 ±2	5200 ±200
Среднее содержание в растении	4706,5	71,25	35,25	2,25	35,9	7,6	98,9	4987,5

В ходе анализа полученных результатов были выявлены некоторые особенности в накоплении химических элементов рогозом узколистным:

- максимальное содержание железа отмечается в боковых корнях, минимальное в стебле;
- наибольшая концентрация марганца установлена в листьях, по остальным же органам распределение равномерное;
- стабильное содержание цинка во всех органах растения составляет 34–37 мг/кг, а максимальное накопление отмечается в боковых корнях;
- накопление брома ярко выражено в листьях рогоза: его содержание в них в 2 раза выше, чем в корнях.

Анализ работ [5–8], связанных с изучением накопления химических элементов водными растениями, выявил ряд тенденций. Типичные значения содержания железа для водных растений 200–5000 мг/кг. Среднее содержание железа в анализируемом растении входит в диапазон фонового содержания, но при этом содержание железа в боковых корнях в 3 раза превышает его.

Среднее содержание марганца для водных растений 20–300 мг/кг согласно данным ряда авторов [5–7]. Содержание цинка так же входит в диапазон фоновых значений, но при этом находится у его верхней границы. Содержание никеля соответствует естественному содержанию. Содержание брома превышает его содержание, упоминаемое в работах других авторов.

Рогоз узколистный демонстрирует свойства гипераккумулятора железа, особенно в корневой системе. По другим металлам (Mn, Zn, Ni) содержание

соответствует или незначительно превышает фоновые значения для водных растений региона.

Высшие водные растения Волгоградского водохранилища характеризуются высокой вариабельностью содержания тяжёлых металлов, следовательно, их химический состав сильно зависит от концентраций тяжёлых металлов в среде. В вышеупомянутых работах отмечается, что в общем виде ряд накопления тяжёлых металлов в высшей водной растительности Волгоградского водохранилища можно представить следующим образом:



Высшие водные растения имеют крупные размеры, обладают способность поглощать и накапливать тяжелые металлы из окружающей их водной среды в своих тканях и корнях, что позволяет использовать их как биоиндикаторы загрязнения. Растения, особенно водно-воздушные, многолетние, имеют продолжительный жизненный цикл и способность к накоплению металлов с течением времени, что делает их эффективными индикаторами долгосрочного загрязнения. Мониторинг техногенного загрязнения вод с использованием высшей растительности является относительно недорогостоящим методом и может использоваться для наблюдения за экологическим состоянием водоемов на постоянной основе. Использование высших водных растений для биодиагностики загрязнения вод тяжелыми металлами является удобным и эффективным способом контроля за качеством водных ресурсов.

Библиографический список

1. Садчиков А. П., Кудряшов М. А. Экология прибрежно-водной растительности. М. : НИА-Природа, 2004. 220 с.
2. Научно-прикладной справочник: основные гидрологические характеристики рек бассейна Нижней Волги / под ред. В. Ю. Георгиевского. Ливны : ГГИ, 2015. 129 с.
3. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Саратовской области / Минприроды Саратовской области [Электронный ресурс]. – URL: https://minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION_ID=65 (дата обращения: 19.05.2025).
4. Пименова Е. В. Химические методы анализа в мониторинге водных объектов. Пермь : Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. 138 с.
5. Кочеткова А. И. О некоторых закономерностях накопления тяжелых металлов высшей водной растительностью на Волгоградском водохранилище // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2012. № 1 (20). С. 305–309.
6. Зубкова В. М., Болотов Н. Ю., Белозубова Н. Ю. Содержание и миграция тяжелых металлов в компонентах экосистем Волгоградского водохранилища // Аграрная наука. 2015. № 1. С. 14–16.
7. Имантаев А. Б., Чеснокова Н. Ю. Содержание тяжелых металлов в высших водных растениях Северного Каспия // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 1. С. 87–96.
8. Фомина А. А., Тихомирова Е. И., Кораблева А. И. Анализ содержания тяжелых металлов в высших водных растениях Волгоградского водохранилища в районе агломерации Саратов–Энгельс // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. № 2–3. С. 822–826.

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

М. Х. Хето¹, В. В. Рутман¹, Т. Я. Ашихмина^{1, 2}

¹ Вятский государственный университет, *tihemehito@gmail.com*,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

В статье рассматривается динамика концентраций монооксида углерода путем проведения периодических измерений атмосферного воздуха в городе Кирове в весенний, летний и осенний сезоны с 2022 по 2025 гг. Измерения были проведены в 13 точках города с использованием мобильного газоанализатора Ганк-4. Результаты показывают постепенное изменение концентраций в течение нескольких сезонов. Существует четкая взаимосвязь между транспортной активностью, использованием систем отопления, работой электростанций и сезонным повышением концентраций.

Ключевые слова: монооксид углерода, исследование атмосферного воздуха, городские районы, автомобильный транспорт, загрязнение воздуха.

Монооксид углерода (угарный газ) – это ядовитый газ без цвета и запаха. Он образуется в результате неполного сгорания ископаемого топлива и биотоплива, используемого в деятельности человека, такой как транспорт, фабрики, электростанции, некоторые системы отопления и курение табака, а также образуется из атмосферных источников (окисление углеводородов, более известное как химическое получение монооксида углерода) [1, 2]. Хотя монооксид углерода присутствует в атмосфере в ничтожных количествах, он представляет серьезную угрозу для здоровья населения, поскольку снижает способность крови переносить кислород, что приводит к проблемам с дыханием, расстройствам нервной системы, потере сознания и, при воздействии высоких концентраций, к летальному исходу. Отравление угарным газом является второй по распространенности причиной смертности от немедицинских отравлений, зарегистрированных в США [2]. С экологической точки зрения, монооксид углерода является распространенным загрязнителем атмосферного воздуха в городских районах и влияет на качество жизни в городах, особенно в районах с высокой плотностью дорожного движения и ограниченным естественным движением воздуха [3].

Несмотря на существование целенаправленных глобальных усилий по снижению уровня загрязнения монооксидом углерода, путем принятия ряда мер (например, повышения эффективности сжигания топлива за счет совершенствования конструкции двигателей внутреннего сгорания для автомобилей и транспортных средств, и перехода на возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия и энергия ветра), проблема снижения содержания монооксида углерода в атмосферном воздухе на глобальном и локальном уровнях в крупных городах полностью не решена [4]. Это связано с

выбросами в результате лесных пожаров и выбросами биомассы в летний и осенний периоды, особенно в таких регионах, как Амазония, Юго-Восточная Азия, Сибирь и Калифорния, а также выбросами при сжигании угля и биотоплива в зимний период в некоторых городских или сельских районах стран с холодным климатом. В научной литературе показано, что выбросы в результате пожаров могут распространяться на тысячи километров и, следовательно, отрицательно влиять на качество воздуха в отдаленных районах [5].

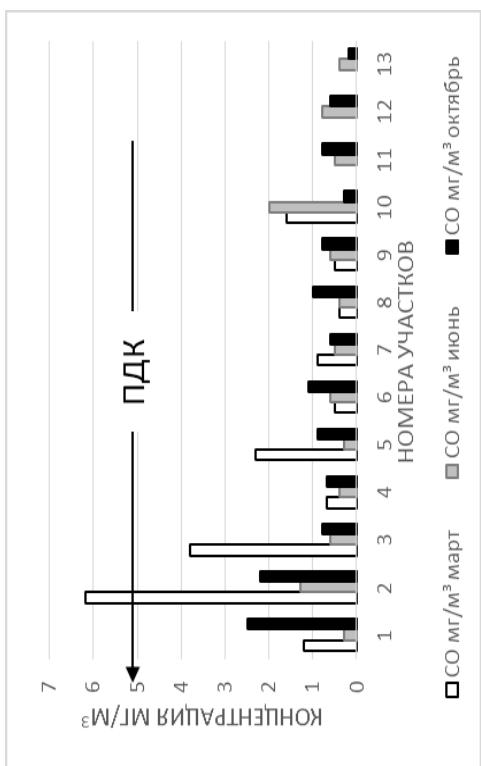
Исследования, определяющие динамику концентрацийmonoоксида углерода в г. Кирове, ограничены. Город Киров характеризуется урбанизированным характером и разнообразием источников выбросов: транспорт, промышленная деятельность, системы отопления, электростанции.

Для проведения измерений было выбрано 13 ключевых участков в черте города, из которых 10 расположены на различных участках вдоль магистральной улицы Ленина, некоторые – вблизи крупных перекрестков, и еще 3 участка в центре города, а именно в парке имени С. М. Кирова, на территории авто- и железнодорожных вокзалов. Участки показаны на рисунке 1.



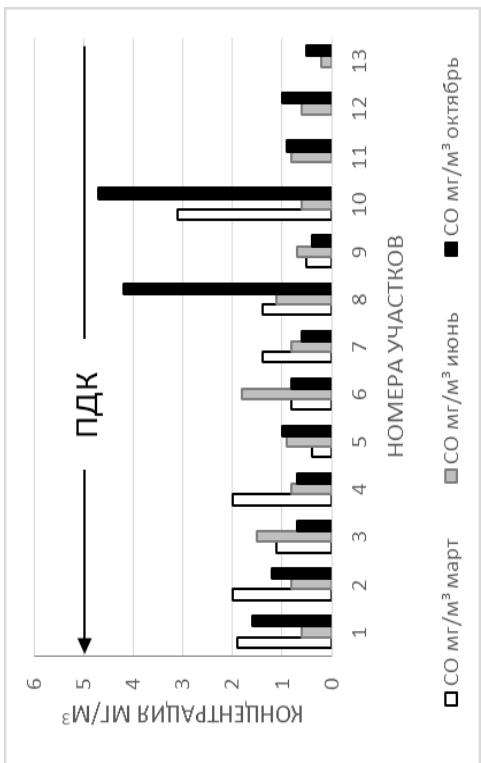
Рис. 1. Карта-схема размещения участков измерения содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Измерение проводилось дважды в день (утром с 8 до 11 ч, вечером с 16 до 19 ч) в марте, июне и октябре 2022–2025 гг. с помощью мобильного газоанализатора Ганк-4. Газоанализатор содержит ячейки с электрохимическими датчиками, и когда monoоксид углерода попадает в ячейку, эти датчики генерируют электрический ток, который прямо пропорционален концентрации monoоксида углерода в образце, а затем устройство преобразует этот ток в показания, понятные пользователю. Результаты исследования представлены на следующих графиках (рис. 2–5).

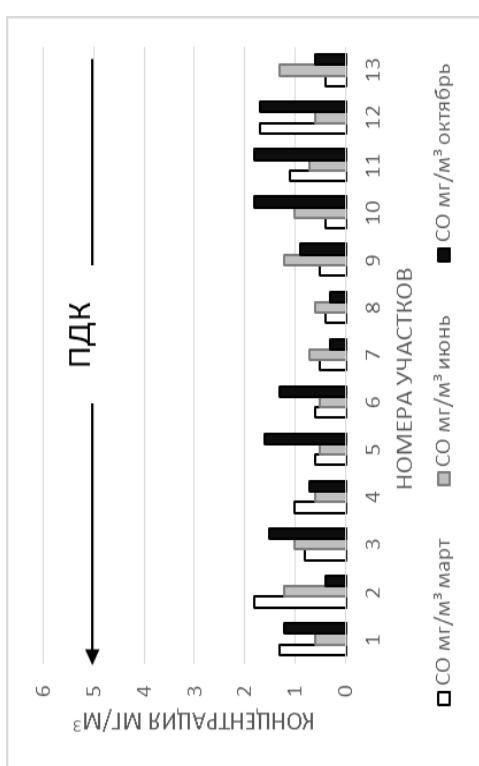


а

Рис. 2. Содержаниеmonoоксида углерода, $\text{мг}/\text{м}^3$, в 2022 г. в утренние часы (а), вечерние часы (б)

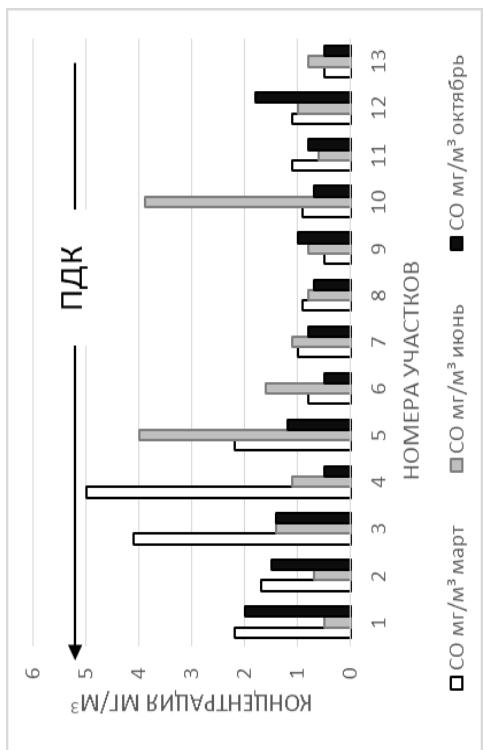


б



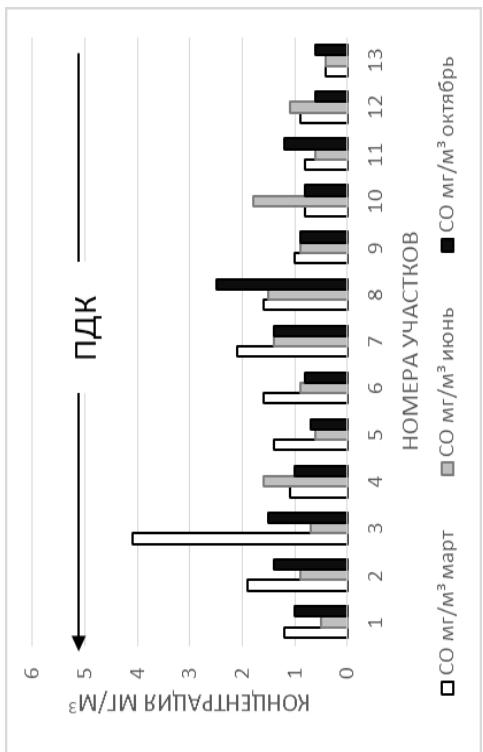
а

Рис. 3. Содержаниеmonoоксида углерода, $\text{мг}/\text{м}^3$, в 2023 г. в утренние часы (а), вечерние часы (б)

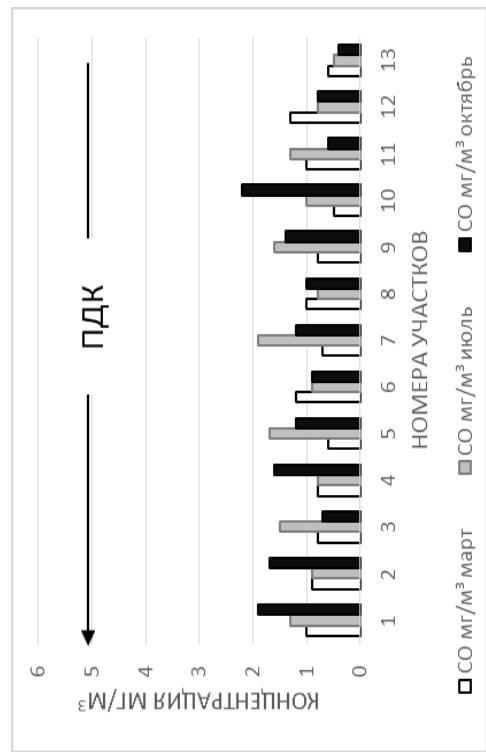


а

Рис. 4. Содержаниеmonoоксида углерода, $\text{МГ}/\text{М}^3$, в 2024 г. в утренние часы (а), вечерние часы (б)



б



а

Рис. 5. Содержаниеmonoоксида углерода, $\text{МГ}/\text{М}^3$, в 2025 г. в утренние часы (а), вечерние часы (б)

Результаты мониторинга показывают, что в течение четырех лет концентрацияmonoоксида углерода не превышала ПДК, за исключением одного случая в марте 2022 г. в точке 2 (недалеко от микрорайона «Солнечный берег») при значении 6,2 мг/м³, в то время как ПДК составляет 5 мг/м³. В остальные годы этот предел не превышался, но были заметны значительные пики, особенно в осенний период (октябрь). В холодное время года (март и октябрь) концентрация угарного газа увеличивается, и это связано с деятельностью человека, такой как эксплуатация систем отопления, сжигание топлива в печах и увеличение транспортной нагрузки. Что касается летнего сезона (июнь), то из-за отсутствия источников отопления и турбулентности воздуха наблюдается снижение концентраций, и, следовательно, улучшаются условия для рассеивания газов. Погодные условия, такие как температура и скорость ветра, также играют большую роль в распределении газообразных загрязнителей. Низкие температуры и умеренная скорость ветра способствуют накоплению загрязняющих веществ вблизи поверхности Земли, в то время как высокие температуры и порывистый ветер способствуют рассеиванию газов. В то время как перевернутые слои воздуха зимой способствуют удержанию загрязняющих веществ, что увеличивает концентрацию угарного газа.

Сравнение данных за разные годы показывает небольшое снижение концентрации окиси углерода в 2025 г., вероятно, благодаря успешным мерам по предотвращению загрязнения окружающей среды на местах и обновлению парка автомобилей. Однако в октябре (осенью) все еще наблюдаются пики, которые требуют дополнительного внимания.

Библиографический список

1. Global atmospheric carbon monoxide budget 2000–2017 inferred from multi-species atmospheric inversions / B. Zheng, F. Chevallier, Y. Yin, et al. DOI: 10.5194/essd-11-1411-2019 // Earth Syst. Sci. Data. 2019. Vol. 11. No. 3. P. 1411–1436.
2. Kleinman M. T. Carbon monoxide. DOI: 10.1002/9781119438922.ch12 // Environmental toxicants: human exposures and their health effects / Eds. M. Lippmann, G. D. Leikauf. John Wiley & Sons Inc., 2020. P. 455–486.
3. Saadi D., Tirosh E., Schnell I. The relationship between city size and carbon monoxide (CO) concentration and their effect on heart rate variability (HRV). DOI: 10.3390/ijerph18020788 // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. Vol. 18. No. 2. Article No. 788.
4. Volatile chemical products emerging as largest petrochemical source of urban organic emissions / B. C. McDonald, J. A. de Gouw, J. B. Gilman, et al. DOI: 10.1126/science.aaq0524 // Science. 2018. Vol. 359. No. 6377. P. 760–764.
5. Andreae M. O. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning – an updated assessment. DOI: 10.5194/acp-19-8523-2019 // Atmos. Chem. Phys. 2019. Vol. 19. No. 13. P. 8523–8546.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПАХООБРАЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ПРИМЕРЕ МЕРКАПТАНОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДА

М. Х. Хето, В. В. Рутман

Вятский государственный университет, mihemedhito@gmail.com

В статье рассматривается содержание в воздухе таких важных запахообразующих веществ как меркаптаны (метил-, этилмеркаптаны). Данные были собраны в марте, июле и октябре 2025 г. в различных участках г. Кирова. Сделаны выводы о распределении меркаптанов в атмосфере во времени и пространстве. Результаты показали, что концентрация меркаптанов не превышает допустимых пределов.

Ключевые слова: меркаптаны, общепромышленные запахообразующие загрязняющие вещества, качество атмосферного воздуха, городская среда, газоанализатор, запах.

Меркаптаны (или тиолы) – это сероорганические соединения, содержащие функциональную группу -SH (тиоловая группа). Они являются одними из наиболее заметных и проблематичных загрязнителей атмосферного воздуха, главным образом из-за их чрезвычайно сильного и неприятного запаха.

Меркаптаны присутствуют в атмосферном воздухе повсеместно, хотя их концентрации могут значительно варьировать. Они обнаруживаются как в сельской местности, так и в промышленных зонах и городских агломерациях.

Выделяют природные источники меркаптанов, основным из которых является биологическое разложение серосодержащих органических соединений. Меркаптаны образуются в результате анаэробного разложения органического вещества (например, в болотах, свалках, сточных водах, животноводческих комплексах). Метилмеркаптан (CH_3SH) и этилмеркаптан ($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$) являются типичными продуктами такого разложения. Также меркаптаны могут выделяться в небольших количествах из вулканов. Некоторые растения и микроорганизмы производят меркаптаны в процессе своей жизнедеятельности [1, 2].

Особую важность в загрязнении атмосферного воздуха имеют антропогенные источники. В первую очередь, это промышленные выбросы предприятий нефте- и газоперерабатывающей промышленности. Одним из крупнейших источников выбросов меркаптанов является целлюлозно-бумажная промышленность, широко использующая соединения серы. Также химическая промышленность, производящая синтез меркаптанов и их производных. Сточные воды и осадки на очистных сооружениях часто являются источниками меркаптанов и других дурно пахнущих соединений. Сюда же можно отнести животноводческие фермы и хранилища навоза.

Меркаптаны используются в качестве одорантов в природный газ и пропан-бутановую смесь для придания им характерного запаха, с целью обнаружения его утечек. При утечках горючих газов, меркаптаны попадут в атмосферу [3].

Меркаптаны представляют ряд проблем для здоровья человека, главная из которых это запах. Меркаптаны обладают чрезвычайно низким порогом восприятия запаха. Их запах часто описывают как гнилая капуста, тухлые яйца, чеснок, газ или запах скунса. Метилмеркаптан имеет резкий неприятный запах, напоминающий запах гнилой капусты или тухлых яиц. Порог восприятия: 0,000070 ppm (объемные). Этилмеркаптан имеет очень неприятный, запах скунса. Порог восприятия: 0,0000087 ppm (объемные) [4].

В высоких концентрациях меркаптаны могут быть токсичны. Они вызывают раздражение слизистых оболочек глаз, носа, горла, а также могут привести к головным болям, тошноте, головокружению и даже (в очень высоких концентрациях, обычно при авариях) к поражению нервной системы и дыхательной недостаточности. Однако в обычных атмосферных условиях их концентрации редко достигают токсичных уровней, но часто превышают порог восприятия запаха. Из-за очень низкого порога восприятия запаха, меркаптаны являются причиной значительного дискомфорта для населения даже при концентрациях, которые считаются безопасными с точки зрения прямой угрозы здоровью. Это приводит к жалобам на качество воздуха и снижению качества жизни [5].

В чистом атмосферном воздухе концентрации меркаптанов очень низки. Вблизи источников выбросов (например, промышленных предприятий, свалок) они могут значительно возрастать, но всё ещё редко достигают уровней, которые опасны для жизни. Тем не менее, даже небольшое повышение концентрации приводит к ощутимому запаху. Измерение концентрации меркаптанов в атмосферном воздухе требует чувствительных аналитических методов. Часто используется газовая хроматография с селективными детекторами или масс-спектрометрией. Существуют также портативные газоанализаторы, способные определять меркаптаны, обычно на электрохимических сенсорах.

Целью исследования является определение содержания меркаптанов и других общепромышленных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на различных участках г. Кирова и выявление наиболее загрязненных территорий городской среды.

Меркаптаны в 2025 г. определялись совместно с проведением мониторинга состояния атмосферного воздуха, в ходе которого проводятся замеры содержания четырёх общепромышленных загрязняющих веществ:monoоксида углерода (CO), сероводорода (H₂S), аммиака (NH₃), метана (CH₄), а также углекислого газа (CO₂), составной части парниковых газов. Измерение проводилось с помощью портативного газоанализатора ГАНК-4. Было выбрано 10 основных участков вдоль улицы Ленина в районах, близких к крупным перекрёсткам, и ещё три в центре города (рис.). Это места, где ландшафт понижается и повышается. Именно в этих участках транспортные потоки в городе

распределяются неравномерно в течение дня, наибольшая активность которых наблюдается с 8 до 10 ч утра и с 16 до 19 ч вечера. Замеры проводились три раза в год в сухую маловетренную погоду. В марте до таяния снега, в июле во время активной листовой фазы растительности и в октябре до снегопадов и после увядания зелёной листвы. На рисунке показаны площадки в г. Кирове, на которых проводилось измерение содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Номера участков отмечены по направлению с юга на север [6].

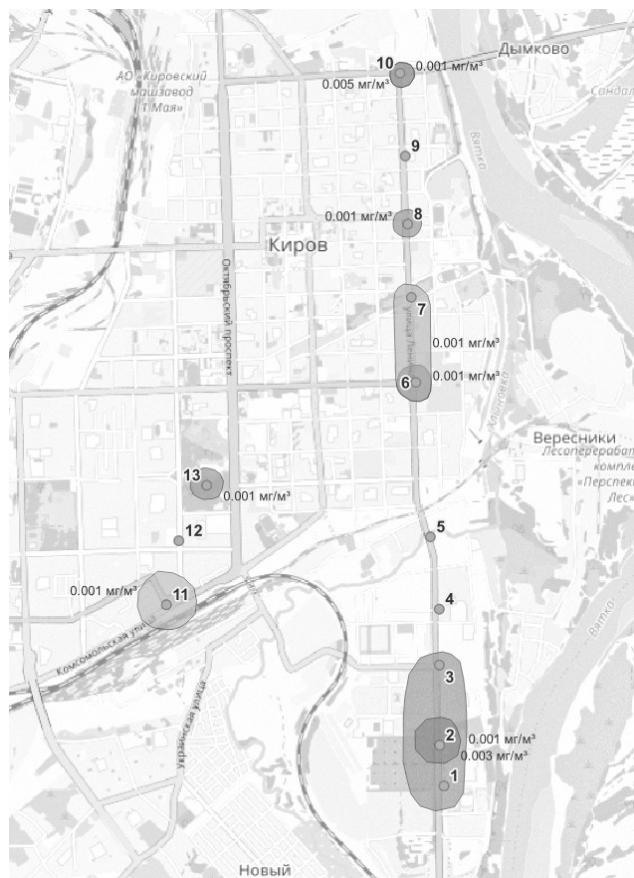


Рис. Карта-схема размещения участков измерения содержания меркаптанов в атмосферном воздухе.
Закрашенные области обозначают обнаруженные меркаптаны

В марте 2025 г. меркаптаны были обнаружены в количестве $0,001 \text{ mg/m}^3$ на ул. Профсоюзной, точка № 10 и в районе железнодорожного вокзала (точка № 11) в утренние часы. Вечером меркаптаны были обнаружены в этих же точках, но на перекрестке ул. Ленина и Профсоюзной, их концентрация возросла до $0,005 \text{ mg/m}^3$. Это наибольшее зафиксированное значение, при ПДК $0,012 \text{ mg/m}^3$.

Меркаптаны были зафиксированы и в июле, но их распределение изменилось. Утром они были зафиксированы в точке 6 (филармония), в точке 8 (гостиница) и в парке им. С. М. Кирова, в точке 13. Концентрация во всех утренних замерах составила $0,001 \text{ mg/m}^3$. В вечерние часы ситуация по меркаптанам резко поменялась. В южной части ул. Ленина было зафиксировано

скопление этих веществ в точках 1, 2 и 3. В Малых Чижах (точка 2) концентрация составила $0,003 \text{ мг}/\text{м}^3$, а в районе «Солнечный берег» (точка 1) и около зонального института (точка 3) зафиксировано $0,001 \text{ мг}/\text{м}^3$ меркаптанов.

По данным замеров в октябре, была зафиксирована концентрация меркаптанов $0,001 \text{ мг}/\text{м}^3$ в точке 6, район филармонии утром, а вечером, такое же содержание было отмечено в точке 7, в овраге и в точке 10, на перекрестке с ул. Профсоюзной. На рисунке изображены области вокруг точек, на которых был зафиксирован меркаптан и показана его концентрация.

Распределение меркаптанов в городском воздухе может быть связано с наличием предприятий кожевенной и резиновой промышленности в северной части города [6] и локализаций животноводческих хозяйств вблизи точек замера [7, 8].

По сумме, наибольшая концентрация меркаптанов была зафиксирована в марте и июле $0,008 \text{ мг}/\text{м}^3$. В октябре суммарная концентрация значительно ниже $0,003 \text{ мг}/\text{м}^3$. По времени суток утром суммарная концентрация меркаптанов меньше ($0,006 \text{ мг}/\text{м}^3$), чем вечером ($0,013 \text{ мг}/\text{м}^3$) практически в два раза.

Известно, что запах усиливается в стабильных атмосферных ночных условиях при скорости ветра от низкой до умеренной, когда приповерхностный воздух, загрязненный запахообразующими веществами, не поднимается вверх, а остаётся у поверхности и распространяется почти ламинарным потоком над местностью в соответствии с её рельефом. Большинство случаев возникновения запаха регистрируется в промежутках между 5–7 и 19–22 часами, что связано с относительно высокой активностью в жилых помещениях и стабильными атмосферными условиями.

Важную роль в распространении запаха играет и температура воздуха. При более высоких температурах улучшаются условия для анаэробного разложения органических отходов, при этом многие запахообразующие вещества переходят в газообразное состояние. Сочетание теплой погоды и стабильных погодных условий в вечерние и утренние часы приводит к тому, что шлейф запаха может распространяться на расстояние более 3 км.

Библиографический список

1. Самакаева Т. О. Меркаптаны – источник сырья для газохимии // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 4. С. 10–16.
2. Оаэ С. Химия органических соединений серы. М. : Химия, 1975. С. 512.
3. Ковалев Б. К. Некоторые проблемы одоризации газа [Электронный ресурс] – URL: https://www.gazprommash.ru/factory/vestnik/vestnik1/vestnik_st6/ (дата обращения: 05.11.2025)
4. Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я, Хето М. Х. Проблемы устранения запахового загрязнения окружающей среды побочными продуктами птицеводства (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2024-4-006-020 // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 1. С. 6–20.
5. Андрейчиков М. В., Свириденко М. А., Ясько М. В. Определение содержания меркаптанов в атмосферном воздухе на промышленных объектах Республики Беларусь // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. Гомель : БелГУТ, 2018. С. 164–165.

6. Хето М. Х., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я. Определение меркаптанов и общепромышленных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Кирова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2025. С. 134–139.

7. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Основные подходы к снижению запахового загрязнения окружающей среды предприятиями животноводства (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2024-3-006-019 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. С. 6–19.

8. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Технологии контроля запаха в условиях животноводческих предприятий // Вестник Вятского ГАТУ. 2025. № 1 (23). С. 103–113.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА РЕКРЕАЦИОННЫЙ ВОДОЕМ В БАССЕЙНЕ РЕКИ СЫСОЛЫ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Т. В. Шевкунова¹, Е. Н. Патова²

¹ Сыктывкарский государственный университет, *obedik@bk.ru*,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, *patova@ib.komisc.ru*

В работе рассматриваются экологические риски, обусловленные возрастанием антропогенной нагрузки на пойменный рекреационный водоем, используемый для сброса малоочищенных коммунально-бытовых стоков. На основе изучения гидрохимических характеристик и сообществ фитопланктона установлены повышенные концентрации органических загрязнителей и биогенных элементов, связанных с недостаточной эффективностью работы очистных сооружений.

Ключевые слова: экологические риски, эвтрофикация, антропогенная нагрузка, пойменный водоем, гидрохимические характеристики, фитопланктон.

Воздействие человека в условиях урбанизации оказывает значительную нагрузку на природные экосистемы, в частности, приводит к ухудшению качества поверхностных вод, деградации биоты, ухудшению качества жизни людей [1]. В современных условиях определение экологических рисков приобретает стратегическое значение для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития территорий. Идентификация рисков основана не только на анализе вероятности возникновения опасных факторов, но и на всесторонней оценке потенциальной угрозы для всех компонентов экосистем водоемов, обусловленных воздействием антропогенных факторов, среди которых преобладающими являются выбросы вредных веществ со сточными водами от промышленных предприятий и коммунально-бытового хозяйства [2–4].

Одним из источников загрязнения р. Вычегды в окрестностях г. Сыктывкара является пойменное озеро Выльты, используемое для сброса

коммунально-бытовых стоков объемом до 547,5 тыс.м³/год, с очистных сооружений поселка городского типа Краснозатонский, требующих реконструкции [5]. В последние годы на озере наблюдается устойчивая негативная динамика: учащение заморных явлений и регулярное летнее «цветение» воды, вызванное массовым развитием цианобактерий. Эти процессы являются следствием возрастающей эвтрофикации и указывают на систематическую антропогенную нагрузку на водоём. Продолжение загрязнения чревато серьёзными экологическими последствиями для реки Вычегды – единственного источника хозяйственно-питьевого водоснабжения города Сыктывкара.

Объектом является пойменное озеро Выльты (61°41'05" с. ш. 50°58'54" в. д.), расположено в черте городской застройки. Озеро малое, представляет собой старицу реки Вычегда длиной 3,08 км, максимальной шириной 0,35 км и средней шириной 0,34 км, площадью 0,88 км². Средняя глубина озера 3 м, максимальная – 6,5 м. Озеро используется для сброса коммунально-бытовых стоков с очистных сооружений, а также для рекреации, ловли рыбы и как порт для малых судов. В летний и зимний период в озере регулярно наблюдается массовая гибель рыб.

В августе 2025 г. выполнен отбор проб для гидрохимического, микробиологического анализа и проб фитопланктона на четырех станциях (рис.).

При отборе проб измерена температура воды, удельная электропроводность с помощью кондуктометра DS/EC/pH&TempMultiparameter (Китай). Отбор проб для определения гидрохимических показателей осуществлялся в соответствии с ГОСТ Р 59024 «Вода. Общие требования к отбору проб». Исследовано свыше 20 гидрохимических показателей органического и неорганического загрязнения воды, основными из которых являются: цветность, содержание железа, ионов аммония, нитратов, нитритов, ортофосфатов, БПК₅, ХПК и др. При анализе полученных образцов были использованы спектрофотометрический, титриметрический, потенциометрический, гравиметрический, флюориметрический методы и метод высокоеффективной жидкостной хроматографии.



Рис. Схема станций отбора на оз. Выльты (использованы Яндекс Карты)

Отбор проб для микробиологических показателей был проведен на станциях 1 и 2 по ГОСТ 31942 «Вода. Отбор проб для микробиологических показателей». Образцы природной воды были исследованы на наличие возбудителей кишечных инфекций бактериальной природы и общих колиформных бактерий (ОКБ) титрационным методом и методом накопления соответственно.

Отбор проб воды для исследования фитопланктона объемом 50 л осуществляли из поверхностных горизонтов, концентрировали пробу с помощью планктонной сети (мельничный газ № 77) [6]. Изучали живые и фиксированные раствором формальдегида (4%) пробы. Для определения цианобактерий и водорослей использовали световой микроскоп Nikon Eclipse80i (Япония) и электронный микроскоп MIRA-3 TESCAN (Чехия). Используемые методы анализа проб воды и фитопланктона описаны нами ранее [7, 8].

На момент отбора образцов температура воды в озере составляла 16,6–16,8 °С.

Гидрохимические показатели. Электропроводность природной воды является количественной характеристикой, связанной напрямую с содержанием в природной воде растворенных ионов и служит косвенным показателем минерализации. Исследования показали, что на всех станциях значения электропроводности стабильны и находятся в пределах 63,0–142,7 мкСм. Содержание основных растворенных анионов определены в диапазоне 6,0–9,5 мг/дм³ для сульфатов и 6,5–9,0 мг/дм³ для хлоридов. Показатель жесткости позволяет классифицировать исследуемую природную воду как «мягкая», суммарное содержание катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} составляет 1,3–1,5 мг-экв/л. Еще одной количественной характеристикой суммарного содержания растворенных минеральных и органических веществ является сухой остаток, значение которого для всех станций 102–122 мг/дм³. Полученные результаты указывают на отсутствие выраженных источников минерального загрязнения в зоне наблюдений.

Значения водородного показателя в водах озера находятся в диапазоне 7,53–7,80, что характерно для природных водных объектов, в которых повышенная щёлочность обусловлена естественным геохимическим фоном – в частности, более высоким содержанием гидрокарбонатов 85,4–109,8 мг/дм³ по сравнению с остальными анионами. Поступление стоков коммунально-бытового происхождения и поверхностного стока, включающих моющие препараты и продукты метаболизма, способствует дополнительному повышению pH среды в щелочную сторону.

Экспериментальные данные свидетельствуют о значительном повышении показателей цветности – значения колеблются от 60 до 159 градусов. Подобная ситуация объясняется совокупным воздействием двух факторов: избыточным содержанием железа (до 3,9 мг/дм³) и повышенной концентрацией органических загрязняющих веществ.

В отличие от большинства химических соединений, растворенный кислород демонстрирует обратную корреляцию: его дефицит в природных водо-

ёмах ведёт к ухудшению состояния водной экосистемы [9]. Самые низкие значения до 6 мг/л наблюдаются в точке 2 в месте сброса сточных вод.

К числу основных антропогенных индикаторов загрязнения исследуемого водного объекта сточными водами относятся перманганатная окисляемость – 16,8–23 мг/дм³, химическое потребление кислорода – 48–57 мг/дм³ и биологическое потребление кислорода (БПК₅) – 4,23–20,1 мгО₂/дм³, в период исследований отмечено превышение ПДК для всех этих показателей в 1,5–2 и раза и более. На высокую степень эвтрофикации исследуемого водоема указывают также содержания основных биогенных элементов – азота и фосфора. Аммонийный азот отмечен в диапазоне 0,2–1,2 мг/дм³, фосфаты 0,084–0,28 мг/дм³.

Микробиологические показатели. Микробиологический состав бытовых сточных вод отличается разнообразием и высокой плотностью заселения микроорганизмами, включая группу общих колiformных бактерий. Поступление таких вод в естественные водоёмы ведёт к антропогенному загрязнению, диагностируемому по росту концентрации ОКБ в водной среде. Так, на станции 2 уровень ОКБ достигает 700 КОЕ/100 мл, на станции 1 порядка 240 КОЕ/100 мл, что свидетельствует о фекальном загрязнении водоема. Возбудители кишечных инфекций бактериальной природы в исследуемых образцах не выявлены.

Фитопланктон и индикаторные виды. Всего в летнем фитопланктоне отмечено 87 видов водорослей, преобладали по разнообразию диатомовые водоросли и цианобактерии. В период отбора проб в водоеме отмечено массовое развитие фитопланктона, достигающее стадии слабого «цветения» – показатели численности были в диапазоне от 0,7–1,8 млн клеток/дм³. В планктоне доминировали потенциально токсичные виды цианобактерий *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae* и *Dolichospermum flos-aquae*, развитие которых отмечается в озере в летне-осенний период в течение нескольких лет. Основу планктонных сообществ формируют виды космополиты, индифферентные по отношению к кислотности и солености среды, индикаторы альфа- и бета-мезосапробных условий, что отражает загрязнение среды легко-окисляемыми органическими соединениями.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о высоком содержании органических загрязнителей в озере Выльты, о чем свидетельствует превышение таких показателей как ХПК и БПК₅ в 1–1,5 раза выше значений ПДК. Регулярно наблюдается массовое развитие токсичных видов цианобактерий, что является признаком системной антропогенной нагрузки на водоём. По эколого-санитарным и токсикологическим показателям [10, 11] воды обследованного озера отнесены: к 4 классу качества воды (4а – умеренно загрязненная), что отражают и гидробиологические показатели – состав и структура сообществ фитопланктона. Прогрессирующие процессы эвтрофикации создают значимый экологический риск для внутренней экосистемы водоема, а также представляют опасность для населения, использующего данный водоем в рекреационных целях. Кроме того, загрязняющие вещества и

токсичные цианобактерии из оз. Выльты попадают в р. Вычегду – главный источник питьевой воды для г. Сыктывкара и других населенных пунктов Республики Коми. Такая ситуация создаёт риски для санитарно-эпидемиологического благополучия региона. В целях снижения антропогенной нагрузки необходима разработка комплексных мер, включая модернизацию инфраструктуры очистных сооружений, а также усиление контроля за сбросами в водоем и организация регулярного мониторинга за состоянием данного водного объекта.

Библиографический список

1. Слуковский З. И. Микроэлементный состав донных отложений малых озер как индикатор возникновения экологических рисков в условиях урбанизированной среды (Республика Карелия). DOI: 10.35567/1999-4508-2018-6-6 // Водное хозяйство России. 2018. № 6. С. 70–82.
2. Бельская Е. Н., Сугак Е. В. Оценка экологических рисков // Решетневские чтения. 2014. № 18. С. 345–346.
3. Степанова Н. Ю. Оценка экологического риска для устойчивого функционирования Куйбышевского водохранилища как водоема многоцелевого назначения // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2008. № 4. С. 201–208.
4. Штебнер С. В. Оценка экологических рисков // Бюллетень науки и практики. 2022. № 11. С. 419–422.
5. Решение Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми от 27 марта 2023 г. № 121 «О предоставлении водного объекта в пользование» // Официальный сайт МУП «Жилкомуслуги». 2023. URL: <https://mupgku11.ru> (дата обращения: 21.08.2025).
6. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Отв. ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовской. М. : Наука, 1975. 240 с.
7. Патова Е. Н., Стенина А. С., Шабалина Ю. Н. Фитопланктонные сообщества реки Вычегда в зоне поступления очищенных сточных вод целлюлозно-бумажного производства. DOI: 10.15372/SEJ20210606 // Сиб. экол. журн. 2021. Т. 28. № 6. С. 746–756.
8. Качество вод реки Вычегда в условиях поступления очищенных сточных вод целлюлозно-бумажного производства / Е. Н. Патова, Б. М. Кондратенок, М. Д. Сивков, С. Н. Костова. DOI: 10.15372/SEJ20210602 // Сиб. экол. журн. 2021. Т. 28. № 6. С. 696–714.
9. Шевкунова Т. В. Гидрохимические показатели и индикаторные виды водорослей в рекреационном пойменном водоеме (бассейн р. Вычегда) // Актуальные проблемы биологии и экологии : материалы докладов XXXII Всерос. молодежная науч. конф. (с элементами научной школы. Сыктывкар : ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2025. С. 138–139.
10. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксююк, В. Н. Жукинский, П. Н. Брагинский и др. // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–76.
11. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

СЕКЦИЯ 2

ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ И БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ПОЧВАХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН г. ВОРОНЕЖА

С. С. Астанин¹, Н. Н. Назаренко², И. Д. Свистова¹

¹ Воронежский государственный педагогический университет,
microbyrafl@gmail.com,

² Воронежский государственный аграрный университет, *talalajko@mail.ru*

Проведена оценка содержания нефтяных углеводородов в почвах разных категорий рекреаций Воронежа. Согласно гигиеническим нормативам почвы всех рекреаций имеют допустимый уровень загрязнения. Превышения относительно регионального фона нефтепродуктов и ПДК бенз(а)пирена обнаружены в почвах рекреаций центра города с высоким уровнем транспортной нагрузки. В качестве местного урбанизированного фона при мониторинговых исследованиях городских почв рекомендуем использовать среднее содержание нефтепродуктов 50 мг/кг, установленное для пригородных лесных массивов, находящихся на значительном удалении от города.

Ключевые слова: загрязнение, почва, нефтепродукты, бенз(а)пирен, рекреация.

Особое место среди антропогенных почв занимают городские почвы под зелеными насаждениями. Почвенный покров лесопарковых ландшафтов выполняет широкий спектр экологических и экосистемных функций, обеспечивает замкнутость биогеохимических циклов и биоразнообразие [1]. Почвы рекреаций включают в себя как слабо преобразованные зональные почвы, так и антропогенные (урбанозёмы, культурозёмы), искусственно сконструированные (реплантозёмы) (Urbic Technosol по WRB, 2014). Для них характерна неоднородность почвенных горизонтов, варьирование биологических и физико-химических характеристик, наличие естественных и антропогенных компонентов.

Городские почвы испытывают длительное комбинированное воздействие, приводящее к химическому загрязнению поллютантами (тяжёлыми металлами, нефтяными и полициклическими ароматическими углеводородами), которые влияют на биологическую активность, самоочищающую способность и трансформацию почвенных свойств [2, 3]. В этих условиях происходит ухудшение эколого-санитарной обстановки в целом по городу, что может оказать негативное влияние на здоровье людей.

В урбоэкосистеме основными техногенными источниками выбросов являются промышленные предприятия и дорожно-транспортный комплекс. Большая часть научных исследований посвящена оценке загрязнения почв рекреационных территорий соединениями тяжёлых металлов в мегаполисах разных городов мира (Санкт-Петербург, Москва, Нью-Йорк, Стокгольм, Пекин и др.), где отмечалось их значительное превышение по сравнению с региональным фоном и гигиеническими нормативами. В последние времена всё большее внимание во многих крупных городах России привлекает проблема загрязнения почв органическими загрязнителями (нефтепродукты и полиарены) в связи с масштабностью их распространения и опасными свойствами, увеличивающими экологический риск [4, 5]. В почве углеводороды способны сохраняться в течение десятков лет, что говорит о возможности их долгосрочного депонирования [6]. Не исключение и промышленный г. Воронеж, где кроме выбросов предприятий машиностроения, значительный вклад в общегородские объёмы газопылевых выбросов привносит растущий парк автомобилей, который по диоксидам азота дает 80%, а по углеводородам – 96% от всех загрязнений [7]. В связи с этим проблема состояния окружающей среды для города очень актуальна.

Изучению загрязнения почв углеводородами посвящено много работ разных лет, касающихся промышленных и селитебно-транспортных зон города Воронежа [8–10]. При этом исследователи в качестве фона, как правило, используют лесопарковые почвы, так как в РФ нормативная база (ПДК) по содержанию нефтепродуктов в городских почвах отсутствует. Однако уровень химического загрязнения почв рекреаций также может быть довольно высоким, особенно если они расположены в деловом центре города в непосредственной близости к транспортным развязкам и парковкам. Поэтому количественная оценка содержания углеводородов в почвах разных рекреаций города представляет особую важность в системе мониторинга для целей обнаружения местного урбанизированного фона.

Цель работы – оценка современных уровней содержания нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена в почвах рекреаций г. Воронежа.

В качестве объектов исследования были выбраны почвы разных категорий рекреаций, отличающихся по площади, интенсивности антропогенной и рекреационной нагрузки, типу почв:

1. Пригородные рекреации (массивы Воронежской нагорной дубравы) в основном представлены естественными серыми лесными почвами; испытывают минимальную антропогенную нагрузку; расположены вдали от делового центра города и многоэтажной жилой застройки.

Почвенный покров рекреационного городского комплекса неоднороден, представлен антропогенно-преобразованными почвами с разным уровнем общегородской нагрузки:

2. Рекреации с умеренным уровнем нагрузки (крупные парки, дендрапии и ботанические сады), расположены вдали от многоэтажной застройки;

3. Рекреации с высоким уровнем антропогенной нагрузки в центре города (небольшие скверы и парки), вблизи плотной высотной застройки и крупных транспортных развязок.

Образцы почвы отбирали в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 в июле 2024 г. из слоя 0–15 см методом конверта в проекции кроны основных древесных ценозообразователей. Геохимический анализ отобранных образцов проведен в центре лабораторного анализа и технических измерений г. Воронежа. Содержание углеводородов определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на анализаторе «Флюорат-02-2М» с флуориметрическим детектированием. Массовую долю нефтепродуктов в пробах почв определяли по ПНД Ф 16.1.64-10, извлечение 3,4-бенз(а)пирена выполнено по ПНД Ф 16.1.39-03. Степень загрязнения почв углеводородами оценивалась по превышению их содержания над фоном, хотя данные по области и городу немногочисленны, разрознены и не отличаются полнотой. Имеются сведения, что региональный фон по нефтепродуктам для Воронежской области составляет 15 мг/кг [11], а их гигиенический норматив ОДК = 300 мг/кг (ГН 2.1.7.2511-09). Бенз(а)пирен – токсикант I класса опасности регламентирован установленным нормативом ПДК = 0,02 мг/кг (СанПиН 2.1.7.1287-03).

Сравнение фактических концентраций нефтепродуктов в почвах различных рекреаций с ОДК не выявило превышений, что позволяет говорить о минимальном уровне загрязнения (рис.). Однако установлено повсеместное загрязнение почвенного покрова нефтепродуктами на сигнальном уровне относительно регионального фона. Так, средняя концентрация нефтепродуктов (50 мг/кг) в естественных нативных почвах пригородных лесов ненамного превысила фоновые значения. Тенденция явного роста прослеживалась в урбопочвах городских рекреаций, где обнаружена максимальная концентрация нефтепродуктов (300 мг/кг), что в 20 раз выше регионального фона. Мозаичность этих почв обуславливает значительный разброс показателей от 68 до 300 мг/кг (коэффициент варьирования достигает 65%).

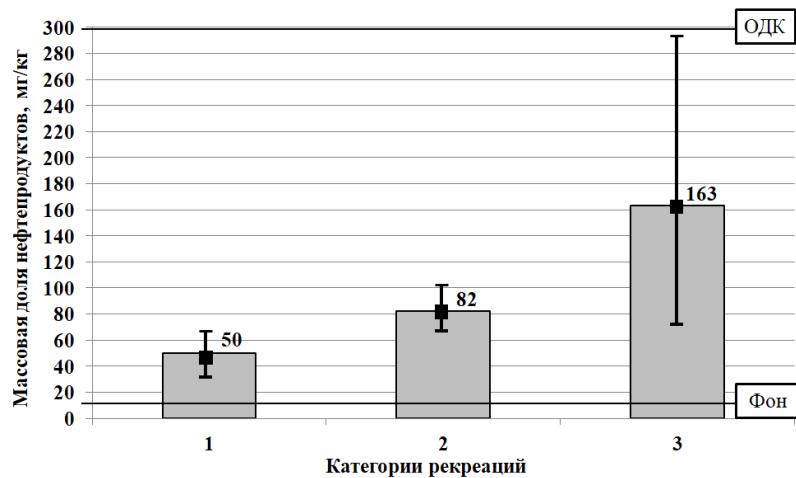


Рис. Содержание нефтепродуктов в почвах разных категорий рекреаций Воронежа, где указаны средние значения и диапазон варьирования показателей

Наши результаты, в целом, соответствуют данным других авторов, согласно которым максимальные концентрации загрязняющих веществ в почвах приурочены к территориям, находящимся в зоне общегородского и транспортного воздействия, несмотря на то, что некоторые рекреации центра города имеют природоохранный статус.

Согласно разработанным критериям эколого-геохимическое оценки почв по бенз(а)пирену нами не обнаружено превышений ПДК в почвах исследуемых рекреаций. В основном, показатели были ниже предела обнаружения метода высокоэффективной жидкостной хроматографии. Исключение составляли три локальные пробы почвы, отобранные в скверах «Транспортный» и «Учёных» в центральной части города и в парке им. Глинки в районе сельскохозяйственного университета, где содержание достигало 0,028–0,036 мг/кг, что в 1,8 раза выше ПДК. Эти рекреации территориально расположены очень близко к автопарковкам и сети транспортных развязок.

Таким образом, геохимический анализ почв различных категорий рекреаций Воронежа позволил установить, что все они имеют допустимый уровень содержания нефтяных углеводородов. Однако, большинство рекреаций центра города, расположенных вблизи дорожной сети имеют высокие показатели по нефтепродуктам и единичные превышения по бенз(а)пирену. Аналогичная ситуация установлена нами ранее для урбанизированных зон г. Воронежа. Поэтому в качестве городского (урбанизированного) фона можем рекомендовать использовать среднее содержание нефтепродуктов 50 мг/кг, установленное нами для пригородных почв лесных массивов Воронежской нагорной дубравы.

Библиографический список

1. Васенев В. И., Ромзайкина О. Н., Гаджиагаева Р. А. Экологические функции и экосистемные сервисы городских и техногенных почв: от теории к практическому применению (обзор). DOI: 10.1134/S0032180X18100131 // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1177–1191.
2. Назаренко Н. Н., Свистова И. Д. Биодинамика и загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами почв г. Воронежа // Экология и биология почв : материалы Междунар. конф. Ростов-на-Дону, 2014. С. 557–560.
3. Бахматова К. А., Матинян Н. Н., Шешукова А. А. Антропогенные почвы городских парков (обзор). DOI: 10.31857/S0032180X22010026 // Почвоведение. 2022. № 1. С. 77–95.
4. Полициклические ароматические углеводороды в урбаниземах Воронежа / Н. Н. Назаренко, Н. В. Каверина, К. Е. Стекольников, И. Д. Свистова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2017. № 1. С. 92–97.
5. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Васильевского острова (Санкт-Петербург) / Е. Д. Лодыгин, С. Н. Чуков, В. А. Безносиков, Д. Н. Габов // Почвоведение. 2008. № 12. С. 1494–1500.
6. Пиковский Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М. : МГУ, 1993. 209 с.
7. Доклад о состоянии окружающей среды на территории Воронежской области в 2024 году. Воронеж : ВГУ, 2025. 192 с.

8. Назаренко Н. Н., Свистов А. К., Каверина Н. В. Углеводородное загрязнение городских почв в условиях антропогенного воздействия // Экология родного края: проблемы и пути решения : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 2. Киров : Изд-во ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 57–60.
9. Назаренко Н. Н., Свистова И. Д. Содержание бенз[а]пирена в почвах урбанизированных территорий (на примере города Воронежа) // Успехи современного естествознания. 2016. № 1. С. 142–146.
10. Михайлова А. А., Попова Л. Ф. Влияние автотранспорта на загрязнение урбоЭКОСИСТЕМЫ Архангельска // Экология урбанизированных территорий. 2011. № 1. С. 47.
11. Каверина Н. В. Нефтепродукты в почвах придорожных пространств // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2002. № 1. С. 108–111.

ВЛИЯНИЕ ЗООГУМУСА *HERMETIA ILLUCENS* НА ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОБЕДНЕННОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ

Д. Б. Кочергина, Е. А. Пушкирева, Е. В. Коваль
ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет,
undina2-10@yandex.ru

В процессе исследования оценивали изменение химических показателей почвы (кислотности, массовой доли органического вещества и содержания общего азота) под действием различных доз зоогумуса *Hermetia illucens* (0,5; 1; 1,5; 2 и 3 кг/м²). Установлено, что зоогумус в дозировке выше 1,5 кг/м² способствовал накоплению органического вещества почв в 2 раза от контрольного количества и общего азота, а также поддерживал pH на нейтральном уровне.

Ключевые слова: зоогумус, *Hermetia illucens*, обменная кислотность, актуальная кислотность, гумус, массовая доля органического вещества, влажность почв.

Учитывая ограниченность природных ресурсов и растущую конкуренцию за землю, сохранение и восстановление плодородия почв становится важной задачей для обеспечения устойчивого развития сельского хозяйства. Сегодня от 15 до 36% всех почв относятся к коммерчески непригодным для использования [1]. Восстановление почв необходимо для повышения эффективности использования земли, снижения зависимости от химических удобрений и предотвращения деградации почвенных ресурсов, что в конечном итоге способствует долгосрочной продовольственной безопасности и экологической стабильности. Кроме того, восстановление плодородия способствует снижению эрозии и вымывания питательных веществ, улучшает биологическую активность почвы и способствует сохранению биоразнообразия, что важно для поддержания экологического баланса и климатической устойчивости региона.

Такие источники органического вещества, как корневые остатки растений и внесённые органические удобрения, такие как навоз, компост и торф обеспечивают постоянное обновление и повышение содержания гумуса, способствуя улучшению свойств почвы и ее плодородия. Однако, для почв с высокой антропогенной нагрузкой этого недостаточно. Для поддержания экологического баланса и оптимизации плодородия почв наблюдается тенденция к увеличению использования натуральных удобрений, к которым относится зоогумус *H. illucens*.

Зоогумус обладает рядом положительных особенностей: способен удерживать влагу в почве и улучшать ее структуру [2], в нем отсутствуют патогенные микроорганизмы [3], отличается от многих аналогов повышенным содержанием азота, калия и фосфора [4], при этом, он не оказывает отрицательного влияния на микроорганизмы [5, 6].

Цель данной работы – оценить изменения химических показателей обедненных почв, обработанных зоогумусом *H. illucens* после сбора урожая. Результаты таких исследований необходимы для разработки рекомендаций по оптимальным нормам внесения и подтверждения экологической безопасности зоогумуса для его интеграции в практику сельского хозяйства.

Зоогумус был произведен в лаборатории ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, где содержится колония насекомых. Культивирование черной львинки производили по стандартной методике в оптимальных условиях [7]. Рацион личинок состоял из куриного корма, обогащенного равным объемом воды, согласно [8].

Данный участок земли был задействован в хроническом эксперименте (в течение 3 лет) по оценке эффективности зоогумуса в отношении повышения урожайности пшеницы [5]. В рамках эксперимента мягкая яровая пшеница выращивалась на опытных участках площадью 1 м² с применением зоогумуса черной львинки в дозировках 0,5; 1; 1,5; 2 и 3 кг/м² [9]. Почвы отличались песчаным гранулометрическим составом с литоморфными и биоморфными включениями. Контроль – микроделянки без внесения удобрения. Осенью, после сбора урожая образцы почвы отбирали методом конверта, высушивали до воздушно-сухого состояния и анализировали по показателям кислотности, содержания органического вещества, общего азота.

Актуальную кислотность оценивали электрометрически в водной вытяжке, используя прибор pH-420 [10]. Обменную кислотность определяли по ГОСТ 26483.85.

Массовую долю органического вещества определяли по ГОСТ 26213-2021 [5].

Содержание общего азота определяли методом Кельдаля на полуавтоматическом аппарате АКВ-10 (Vilitek).

Было установлено, что все образцы почв, включая контрольный, относились к нейтральным по показателю актуальной кислотности (табл.). Актуальная кислотность отражает содержание угольной кислоты (H₂CO₃), а также частично растворимых органических и аминокислот, образующихся в резуль-

тате деструкции органического вещества, и гидролитически кислых солей. Также источником протонов в растворе могут быть соединения Al, Fe и Mn, проявляющие кислотные свойства [10]. Внесение зоогумуса незначительно снижало актуальную кислотность к границам слабощелочной реакции, при этом, зависимость «доза-эффект» не была выявлена, однако в вариантах с внесением зоогумуса в концентрациях 3 кг/м² отмечалось незначительное понижение pH по сравнению с контролем и другими вариантами.

Нейтральные почвы не требуют известкования, а также являются наиболее подходящими для выращивания таких культур, как яровая и озимая пшеница, клевер, столовая и сахарная свёкла, люцерна и др. [11]. Известно, что интервал pH 5,5–7 соответствует наиболее агрономически благоприятной структуре почвы, высокому качеству гумуса и оптимальному водному режиму [12].

Обменная кислотность (pH_{KCl}), которая отражает, помимо свободных кислот и протонов, ионы H⁺ и Al³⁺ в поглощенном состоянии, также была в пределах нейтральных значений (табл.). Как правило, значения обменной кислотности оказываются ниже, чем показатели актуальной кислотности, что было отмечено и в нашем исследовании (табл.). Тем не менее, стоит отметить, что добавка зоогумуса снижала значения pH_{KCl}, особенно в наименьшей и наибольшей дозировке.

Таблица

Влияние зоогумуса *H. illucens* на химические показатели почв

Вариант, концентрация зоогумуса, кг/м ²	Кислотность		Массовая доля органического вещества, %	Общий азот, %
	pH _{H₂O}	pH _{KCl}		
Контроль (0)	7,22	6,97	0,56±0,02	0,11±0,03
0,5	7,30	6,55	0,88±0,08	0,10±0,01
1	7,28	6,67	0,88±0,02	0,11±0,03
1,5	7,30	6,69	1,06±0,19	0,14±0,01
2	7,27	6,61	1,19±0,02	0,14±0,001
3	7,17	6,55	1,10±0,03	0,14±0,004

Наиболее ценный компонент почв, определяющий ее плодородие, – это органическое вещество почвы. Оно представляет собой сложный химический комплекс органических соединений биологического происхождения. В почве непрерывно происходят два противоположных процесса: минерализация органического вещества, в результате которой высвобождаются питательные элементы в минеральной форме, и гумификация – синтез новых гумусовых соединений. Гумус богат азотом (от 95 до 99%), фосфором (до 60%) и серой (около 80%), а также содержит немного калия, кальция, магния, микроэлементов и других необходимых элементов [11]. По содержанию гумуса почвы делятся на 6 групп [13].

Установлено, что в контрольном варианте содержание гумуса составляло 0,56%, что соответствует I группе почв (с очень низким содержанием гумуса менее 1%) (табл.). Также к I группе почв относились варианты с использованием 0,5 и 1 кг/м² зоогумуса. В варианте с действием зоогумуса в дози-

ровке 1,5–3 кг/м² отмечали повышение содержания органического вещества свыше 1%, что соответствует второй категории (низкое содержание 1–1,5%), но все равно данные почвы относятся к очень малогумусовым.

Причиной низкого содержания органического вещества является интенсивное использование почвы, при котором из нее выносится много питательных элементов. Кроме того, дождливое лето и осень 2025 г. могли способствовать выносу питательных веществ из почвы.

Содержание общего азота – важный показатель качества почв. В составе растений на азот приходится до 1,5% от их сухой массы. Азот – строительный компонент, он входит в состав белков, ферментов, хлорофилла, нуклеиновых кислот, тем самым определяет рост растений, интенсивность фотосинтеза, обмен веществ [11]. Общий азот, однако, не отображает количество азота, находящегося в доступной для растений форме.

В контрольном варианте и в вариантах с использованием зоогумуса в дозе 0,5 и 1 кг/м² содержание общего азота было в пределах 0,1% (табл.). При добавлении более высоких доз зоогумуса отмечали рост азота до 1,14%. Данные значения являются более высокими, чем характерные для бедных органическим веществом песчаных почв (0,03–0,04% норма) [14]. При этом отмечали высокую степень положительной корреляции между содержанием органического вещества и общего азота в опытных вариантах ($r = 0,76$).

Таким образом, было установлено, что зоогумус способен оказывать положительные эффекты на почвы, в том числе обедненные, в концентрации свыше 1,5 кг/м². Отмечается нейтральная реакция среды – пригодная для выращивания сельскохозяйственных культур, агротехнических мероприятий для ее оптимизации не требуется. Содержание органического вещества в почве, в которую вносили 2 кг/м² зоогумуса черной львинки, возрастало в 2 раза от контрольного уровня, что позволило повысить категорию данных почв от безгумусных до очень низкогумусных. Также зоогумус в этих концентрациях способствует накоплению общего азота в почвах. Полученные данные не дают в полной мере позиционировать зоогумус, как удобрение, для этого необходимы дальнейшие исследования.

Работа выполнена в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Разработка технологий переработки побочных продуктов животноводства с созданием кормовых добавок, био- и органоминеральных удобрений (FESW-2023-0020)».

Библиографический список

1. Marginal lands: a review of papers from the Scopus database published in English for the period of 1979–2022 / I. Jumaniyazov, M. Juliev, M. Reimov, et al. DOI: 10.37501/soilsa/169657 // Soil Science Annual. 2023. Vol. 74. No. 2. Article No. 169657.
2. Пендюрин Е. А., Сапронова Ж. А., Токач Ю. Е. Зоокомпост личинок мухи черная львинка как влагоудерживающий агент в почвах. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-59-65 // Природообустройство. 2023. № 3. С. 59–65.

3. Manure pretreatments with black soldier fly *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae): a study to reduce pathogen content / M. K. Awasthi, T. Liu, S. K. Awasthi, et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139842 // Sci. Total Environ. 2020. Vol. 737. Article No. 139842.
4. Переработка отходов в биомассу и эффективное сокращение *Salmonella* spp. с использованием черной львинки (*Hermetia illucens* L.) / А. А. Лящев, Е. В. Коваль, И. А. Прок и др. DOI: 10.23670/IRJ.2022.126.123 // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 12.
5. Assessment of the toxicological safety of soil after the application of zoohumus *Hermetia illucens* / A. Olkova, E. Koval, E. Pushkareva, A. Lyashchев DOI: 10.22059/poll.2025.386007.2670 // Pollution. 2025. Vol. 11. No. 3. P. 901–913.
6. Власова О. А. Зоогумус как одна из форм инновационного органического удобрения // Природа гуминовых веществ и их применение в различных отраслях народного хозяйства : сб. трудов Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященная памяти д. б. н., профессора Игоря Дисановича Комиссарова в честь 95-летия со дня рождения. Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2024. С. 100–104.
7. Исследование фитотоксичности водных вытяжек зоогумуса *Hermetia illucens* L. на жизнеспособность и развитие пшеницы / Е. А. Пушкарева, Е. В. Коваль, А. А. Лящев и др. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 4 (102). С. 26–33.
8. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) / D. C. Sheppard, J. K. Tomberlin, J. A. Joyce et al. DOI: 10.1603/0022-2585-39.4.695 // J. Med. Entomol. 2002. Vol. 39. No. 4. P. 695–698.
9. Пушкарева Е. А., Коваль Е. В. Влияние зоогумуса *Hermetia illucens* на рост и развитие колоса пшеницы, выращенной в условиях обедненной почвы Тюменской области // Молодежная наука для развития АПК : сб. трудов LX студенческой науч.-практ. конф. Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. С. 31–36.
10. Соколова Т. А., Толпешта И. И., Трофимов С. Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и в почвенном растворе. Тула : Гриф и К, 2012. 124 с.
11. Бабаева К. С. Краткое пособие по агрохимическим свойствам почвы: зачем и почему мы это анализируем? [Электронный ресурс]. – URL: <https://direct.farm/content-3ca/3ca6d0a7303a4db79bb354bc6d4ccf4b3215362.pdf> (дата обращения: 09.11.2025).
12. Актуальная, обменная и гидролитическая кислотности, pH почвы [Электронный ресурс]. – URL: <https://revitaplant.ru/kislotnosti-i-rn> (дата обращения: 09.11.2025).
13. Марчик Т. П., Ефремов А. Л. Почвоведение с основами растениеводства. Гродно : ГрГУ, 2006.
14. Середина В. П., Спирина В. З. Методы определения питательных элементов (NPK). Томск : ТГУ, 2007. 87 с.

УГОЛЬНАЯ ЗОЛА КАК УДОБРЕНИЕ ДЛЯ ГОРОДСКОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ БЫВШЕГО КВАТУ

Ю. С. Михалицына, Я. П. Погудина

Вятский государственный университет,

julechkafluffy@yandex.ru, Pogudina.ja@yandex.ru

В статье представлены результаты комплексного обследования почвы на территории бывшего Кировского военного авиационно-технического училища (КВАТУ), включающие определение ее типа и химического состава. Проведены исследования возможности использования угольной золы как удобрения в городском озеленении на примере территории бывшего КВАТУ.

Ключевые слова: урбанозем, кислотность, тяжелые металлы, бенз(а)пирен, гумус, угольная зола, вегетационный опыт, озеленение.

В южной части Октябрьского района г. Кирова расположена территория бывшего Кировского военного авиационно-технического училища (КВАТУ). Училище было открыто в 1979 г., в год начала военного конфликта в Афганистане, и просуществовало до 2009 года. Площадь территории бывшего КВАТУ составляет около 29 га. На данный момент территория не используется, на ней сохранились различные здания и сооружения, разрабатывается проект ее развития.

В настоящей работе проведены комплексные исследования состояния почв на данной территории, а также исследования возможности использования угольной золы как удобрения в городском озеленении на примере территории бывшего КВАТУ.

Свойства городских почв существенно отличаются от природных зональных почв вследствие воздействия на них антропогенных процессов. Одним из основных типов городских почв являются урбаноземы. Главные диагностические горизонты при выделении урбаноземов – горизонты урбик (U). Согласно [1] урбик – это горизонт гумусово-аккумулятивной природы мощностью не менее 5 см. Горизонт формируется на дневной поверхности преимущественно из постепенно накапливающегося и перерабатываемого в результате урбопедогенеза материала.

В заложенных на территории бывшего КВАТУ почвенных полиямах зафиксирован суглинистый горизонт U мощностью до 30 см. Таким образом, на большей части рассматриваемой территории встречены урбаноземы на погребенных дерново-подзолистых почвах, являющихся зональными для Кировской области.

В центре рассматриваемой территории отобран почвенный образец из поверхностного слоя почвы (глубина отбора 0,0–0,2 м) [2, 3]. Отобранный образец исследован по показателям кислотности, содержания тяжелых метал-

лов, нефтепродуктов, бенз(а)пирена, радионуклидов, гумуса, а также F^- , SO_4^{2-} и Cl^- в водных вытяжках из почвы.

Содержание в почве нефтепродуктов определялось флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «ФЛЮОРАТ-02»; валовых форм тяжелых металлов – методом атомно-абсорбционной спектрометрии; бенз(а)пирена – методом ВЭЖХ с использованием флуориметрического детектора; радионуклидов – с использованием МКГБ-01 «РАДЭК» спектрометра-радиометра гамма-, бета- и альфа-излучения.

Определение степени кислотности проводилось потенциометрическим методом в солевой вытяжке с использованием стеклянного электрода; количества обменной кислотности – методом потенциометрического титрования солевой вытяжки из почвы гидроокисью натрия до pH 8,2; гидролитической кислотности – методом обработки почвы раствором ацетата натрия (1 моль/дм³) и последующего потенциометрического измерения pH полученной суспензии; фторид-ионов – потенциометрическим методом с ионоселективным электродом; сульфат-ионов – турбидиметрическим методом; хлорид-ионов – меркуриметрическим методом; гумуса – по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (фотоэлектроколориметрия).

Результаты анализа почвы, а также их сравнение с нормативами представлены в таблице 1. ПДК (ОДК) тяжелых металлов и бенз(а)пирена для суглинистых нейтральных почв, и ПДК ионов в воде представлены в СанПиН 1.2.3685-21 [4], ПДК нефтепродуктов отсутствует, поэтому критерием оценки был «допустимый уровень загрязнения (1 уровень) [5].

Таблица 1

Результаты анализа химического состава почвы

Определяемые показатели, единица измерения	Результаты	ПДК / ОДК
Актуальная кислотность (pH солевой вытяжки)	6,36	–
Обменная кислотность, ммоль/100 г почвы	0	–
Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г почвы	2,8	–
Zn (валовая форма), мг/кг	99±30	220
Cd (валовая форма), мг/кг	< 0,1	2,0
Pb (валовая форма), мг/кг	5,0±1,5	130
Hg (валовая форма), мг/кг	0,012±0,005	2,1
Cu (валовая форма), мг/кг	27±8	132
Ni (валовая форма), мг/кг	34±10	80
As (валовая форма), мг/кг	3,0±0,9	10
Нефтепродукты, мг/кг	45±18	1000
Бенз/а/пирен, мг/кг	< 0,005	0,02
Органическое вещество (гумус), %	0,2	–
F^- , мг/дм ³	1,37	1,5
SO_4^{2-} , мг/дм ³	3,47	500,0
Cl^- , мг/дм ³	2,127	350,0

Результаты радиологического анализа почвы представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты радиологического анализа почвы

Удельная активность радионуклидов, Бк/кг				A _{эфф.}
²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	
11±2	11±1	300±30	7±1	51,1

Для оценки уровня радиоактивности рассчитана эффективная удельная активность природных радионуклидов ($A_{\text{эфф.}} = A(\text{Ra}) + 1,3A(\text{Th}) + 0,09A(\text{K})$) в почвогрунтах, и проведен сравнительный анализ полученных данных с установленными нормативами.

Согласно «Норм радиационной безопасности НРБ-99/2009» [6] эффективная удельная активность природных радионуклидов не должна превышать для строительных материалов при возведении жилых и общественных зданий (I класс) – 370 Бк/кг.

Радионуклид ¹³⁷Cs имеет техногенное происхождение. Согласно Приложению 3 к ОСПОРБ-99/2010 [7] удельная активность данного радионуклида, при которой допускается неограниченное использование твердых материалов, составляет 100 Бк/кг.

По ГОСТ 17.5.3.06-85 [8] для южно-таежно-лесной зоны, к которой относится территория г. Кирова, массовая доля гумуса в плодородном слое почвы должно составлять не менее 1%.

В опробованной почве химического и радиологического загрязнения не выявлено, содержание гумуса является низким, почва имеет нейтральную юреацию. Таким образом, необходимо внесению дополнительных питательных компонентов в почву при озеленении городской территории.

В качестве питательного компонента применялась угольная зола ТЭЦ-5 г. Кирова. По результатам исследований [9] было определено, что в золе содержатся в значительных количествах железо, алюминий и кислород, также она содержит фосфор, кальций, магний, кремний, серу и калий, а тяжелые металлы – в незначительных количествах.

В основном элементы находятся в золе в нерастворимом в воде состоянии – в виде солей и оксидов. Для определения легко растворимой части, которая может быть токсична при повышенном содержании, были проанализированы водные вытяжки из используемой золы на содержание $\text{Fe}_{\text{общ.}}$ и Al^{3+} , Cl^- , SO_4^{2-} и PO_4^{3-} .

Водная вытяжка готовилась из соотношения 1 часть золы к 10 частям дистиллированной воды. Смесь ставилась на 30 мин на лабораторный встряхиватель, а затем фильтровалась через фильтр «Синяя лента».

Определение содержания Cl^- и SO_4^{2-} в полученных фильтратах проведено по вышеуказанным методикам, содержания PO_4^{3-} – фотометрическим методом; $\text{Fe}_{\text{общ.}}$ – фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой; Al^{3+} – фотометрическим методом с алюминоном.

Результаты исследования водной вытяжки из золы, а также их сравнение с нормативами представлено в таблице 3.

ПДК $\text{Fe}_{\text{общ.}}$, Al^{3+} , Cl^- и SO_4^{2-} в водных вытяжках из почвы представлены по табл. 3.13 СанПиН 1.2.3685-21, ПДК для PO_4^{3-} – по [10].

Таблица 3

Результаты анализа водной вытяжки из угольной золы

Показатель	Содержание в водной вытяжке золы (С), мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³
$\text{Fe}_{\text{общ.}}$	0,0217	0,3
Al^{3+}	0,16	0,2
Cl^-	19,143	350
SO_4^{2-}	4,533	500
PO_4^{3-}	0,5	0,61

Сравнение полученных результатов с нормативами показывает, что в растворимом в воде состоянии находится небольшое количество данных компонентов угольной золы.

В то же время в легко растворимом состоянии в золе находится часть фосфора, вероятно, в составе оксида фосфора(V). Фосфор является биогенным элементом, поэтому для расчета дозы золы в последующих вегетационных опытах она рассматривалась как фосфатное удобрение.

По данным официального сайта [11] основным видом топлива для ТЭЦ-5 г. Кирова по проекту был определен каменный уголь Кузнецкого угольного бассейна марки самоспекающийся (СС). Анализ литературных данных [12] показал, что содержание P_2O_5 в золе, образующейся при сжигании кузнецкого угля марки СС, может достигать 1,2%.

В качестве тестового растительного образца применялась травосмесь газон «Экспресс», состоящая из райграса пастбищного и однолетнего. Райграс относится к семейству злаки. Фосфатные удобрения в вегетационных опытах вносят из расчета, чтобы на 1 кг почвы получалось 0,1 г фосфора для злаковых культур (0,23 г в пересчете на P_2O_5). С учетом теоретического содержания P_2O_5 в используемой золе, одинарная доза ее внесения на 1 кг почвы составила 19 г.

Ранее проведенные исследования [9] показали, что в качестве подкормки для растений предпочтительнее рассматривать немагнитную часть угольной золы. В связи с этим из золы выделялась немагнитная фракция (НФ) при помощи постоянного магнита.

Почва насыпалась в пластиковые контейнеры по 500 г в каждый. Составы опытных образцов почвы и дозы вносимой в них НФ золы:

- 1) почва без добавления золы (контроль);
- 2) почва с добавлением НФ золы в 0,5 дозе 9,5 г / кг почвы;
- 3) почва с добавлением НФ золы в 1 дозе 19 г / кг почвы.

Опыты повторялись в 3 параллелях.

В каждый контейнер сеяли по 20 штук предварительно замоченных семян газонной травы. Далее семена прорашивались в стационарных условиях: комнатная температура, регулярный полив, освещенность равномерная естественная. Через 28 день определялось количество взошедших семян, измерялась длина наземной части и корешков растений.

Проведена статистическая обработка полученных результатов (табл. 4).

Таблица 4

Результаты вегетационного опыта

№ опыта	Средняя длина корня, см	Средняя длина ростка, см	Число взошедших семян
1	37,54	74,77	13
2	41,88 (max)	91,88 (max)	8
3	31,38	91,38	13

Максимальная длина корня и ростка наблюдалась при внесении в почву 0,5 дозы НФ золы, но количество взошедших семян при этом меньше контроля. При внесении в почву одинарной дозы НФ золы средняя длина ростка также превышает контрольный опыт, а число взошедших семян равно контрольному опыту. Средняя длина корня при этом меньше контрольного опыта. Таким образом, однозначно режим дозирования немагнитной фракции угольной золы определить не удалось, но при правильном подборе данного значения ее внесение в почву может улучшить рост и развитие растений при озеленении городских территорий.

Библиографический список

1. Прокофьева Т. В., Мартыненко И. А., Иванников Ф. А. Систематика почв и почвообразующих пород города Москвы и возможность включения их в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 611–623.
2. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб : действ. с 01.01.2019. М., 2018. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293736/4293736817.pdf> (дата обращения: 23.10.2025).
3. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа : действ. с 01.01.2019. М., 2018. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293737/4293737734.pdf> (дата обращения: 23.10.2025).
4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : принят 28.01.2021 : действ. с 01.03.2021. М., 2021. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
5. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель : утв. Роскомземом 28.12.1994, Минсельхозпродом России 26.01.1995, Минприроды России 15.02.1995. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
6. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 : принят 07.07.2009 : действ. с 01.09.2009. М.: 2009. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
7. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) : принят 26.04.2010 : действ. с 17.09.2010. М.: 2010. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
8. ГОСТ 17.5.3.06-85 Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ : действ. с 01.07.86. М., 2002. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294851/4294851967.pdf> (дата обращения: 23.10.2025).
9. Михалицына Ю. С., Погудина Я. П. Исследование возможности использования золы уноса ТЭЦ в качестве удобрения // Экология родного края: проблемы и пути их ре-

шения : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2025. С. 57–61.

10. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 26 мая 2025 г. № 296 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». М., 2025. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

11. Кировская ТЭЦ-5 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tplusgroup.ru-org/kirov/organization/kirovskaja-chp5/> (дата обращения: 23.10.2025).

12. Энтин З. Б., Нефедова Л. С., Стржалковская Н. В. Золы ТЭС – сырье для цемента и бетона // Цемент и его применение. 2012. № 2. С. 40–46.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЧВ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

А. С. Олькова, А. Т. Черезова, А. С. Корякина, А. М. Шеромов

Вятский государственный университет,

usr08617@vyatsu.ru, stud159803@vyatsu.ru, stud159811@vyatsu.ru,

stud208013@vyatsu.ru

Целью работы был выбор тест-организма, толерантного к низкому уровню pH почвенной вытяжки и чувствительного к загрязнению тяжелыми металлами, а именно солями цинка и меди. Показано, что тест-система «Эколюм» значительно реагирует как на уровень pH вытяжки из почвы, так и на привнесенное загрязнение. Ответные реакции *P. caudatum* были более стабильными.

Ключевые слова: лес, почва, качество окружающей среды, биотестирование.

Леса занимают 51% площади Российской Федерации. По данным государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), по состоянию на 2020 г. на лесных землях преобладают хвойные породы, которые занимают 56,2% лесной площади. Среди лесообразующих пород четвёртое место по площади занимают насаждения ели (ели сибирская и европейская) [1]. В России их общая площадь превышает 760 тыс. км² (ок. 11% лесопокрытой площади лесного фонда РФ) [2]. Следовательно, оценка состояния экосистем еловых лесов является важной задачей для многих регионов.

Почва, в том числе лесная, способна поглощать техногенные выбросы, постепенно накапливая ряд веществ сверх фонового уровня. Обычно это касается нефтепродуктов, хлорид-ионов и тяжёлых металлов (ТМ), которые при избыточном содержании проявляют токсические свойства. Они не разрушаются в окружающей среде, включаются в биологический круговорот веществ, влияя на все трофические уровни [3].

Оценить качество лесной почвы можно биологическими методами, например, биотестированием, которое позволяет выявить комплексное (инте-

гральное) воздействие веществ, содержащихся в пробе почвы. Однако почвы еловых лесов обладают особенностями, осложняющими проведение их биотестирования: низкий уровень рН, низкое содержание доступных биогенных элементов, грубогумусовое органическое вещество.

Целью нашей работы был выбор тест-организма, толерантного к низкому уровню рН почвенной вытяжки и чувствительного к загрязнению ТМ, а именно солями цинка и меди.

В качестве объекта исследования была взята почва из ельника зелено-мошника в Слободском районе Кировской области (Россия). Почва отбиралась из верхнего генетического горизонта, освобождалась от включений, гомогенизировалась и использовалась для лабораторного моделирования загрязнения.

Моделирование загрязнения проводили путем внесения в контейнеры с почвой растворов $\text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, ZnCl_2 до достижения в почве концентраций металлов 1, 5 и 25 ОДК [4]. Параллельно моделировали аналогичное загрязнение с повышением уровня рН с помощью твердого доломита. Время культивирования составило 30 дней. В это время поддерживали влажность почвы на уровне 60% весовым методом. Затем пробы высушивали и проводили биотестирование двумя методами: по изменению биолюминесценции бактериального препарата «Эколюм» [5] и изменению хемотаксиса инфузорий [6]. Также в каждой пробе модельного опыта измеряли рН почвы.

Уровень кислотности для контролей с доломитом и без него составил 6,30 и 4,62 ед. рН соответственно. Растворы солей ТМ незначительно изменили кислотность естественной почвы, однако смешали рН в сторону кислой реакции в почве с доломитом, в интервалы значений 6,26–5,62 ед. рН для меди и 6,12–5,68 ед. рН для цинка. Результаты эксперимента представлены на рисунках 1 и 2.

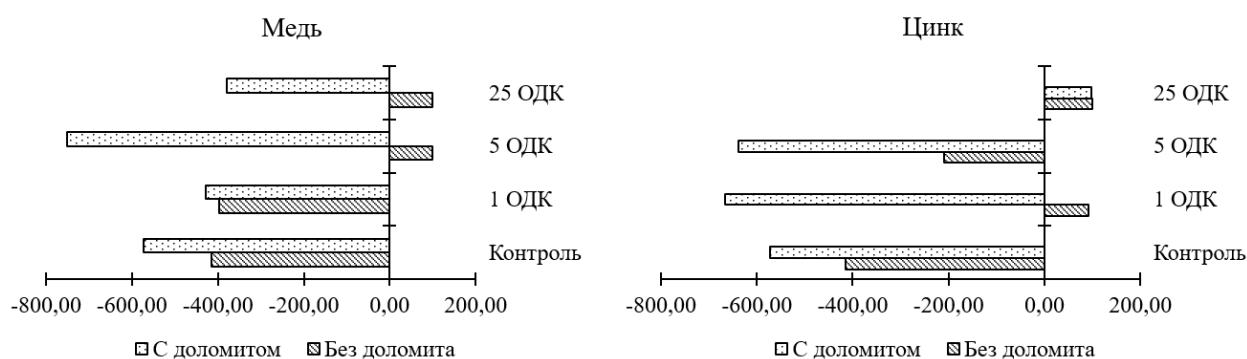


Рис. 1. Результаты биотестирования почвы из елового леса с помощью препарата «Эколюм»

Загрязнение почвы $\text{Cu}(\text{II})$ приводило к снижению биолюминесценции препарата «Эколюм», начиная с добавок 5 ОДК, для цинка – 1 ОДК. Добавка доломита в общем случае приводила к снижению индекса токсичности. Исключением выступил образец почвы с концентрацией цинка, равной 25 ОДК,

где как кислая почва, так почва с повышенным уровнем рН оказалась сильно токсичной ($T > 50$ у.е.).

Результаты биотестирования модельной почвы с помощью *Paramecium caudatum* были иными (рис. 2).

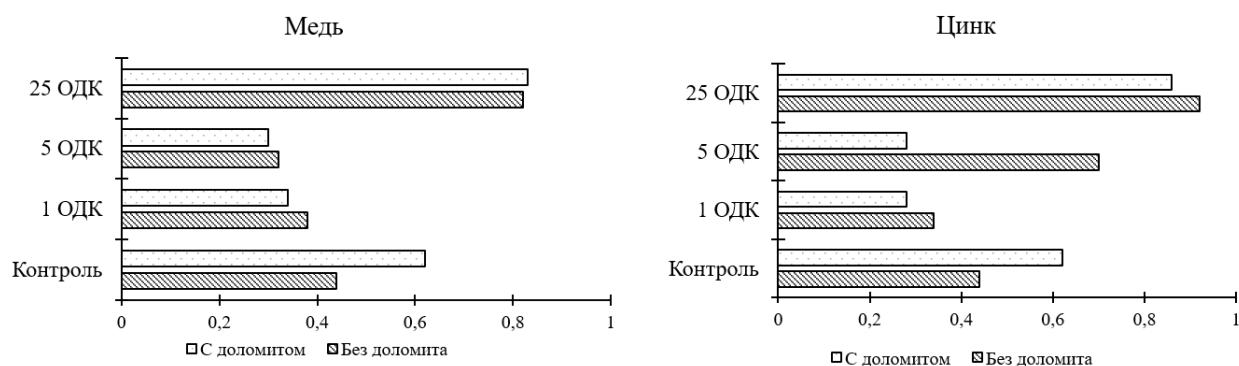


Рис. 2. Результаты биотестирования почвы из елового леса с помощью инфузорий *P. caudatum*

В отличие от предыдущего теста стимуляции хемотаксиса инфузорий не наблюдали. Контрольные пробы почвы с сильно кислой реакцией характеризовались в данном биотесте повышенными индексами токсичности по сравнению с почвой, где уровень рН был компенсирован доломитом. При загрязнении почвы ельника медью значимых отличий в пробах с одинаковым загрязнением, но разным уровнем рН, не было, при этом реакция тест-организма на повышение содержания меди в образце была закономерной.

При загрязнении почвы цинком, повышение уровня рН снижало токсичность образцов только, максимальный эффект отмечен при 5 ОДК цинка в почве.

Эффект снижения токсичности почвы при повышении уровня её рН, связан с тем, что ионы меди и цинка обладают наибольшей подвижностью в кислых, нежели нейтральных средах [7].

Биотестирование почвы елового леса с естественной сильно кислой реакцией и повышенным с помощью доломита уровнем рН показало, что тест-система «Эколюм» значительно реагирует как на уровень рН вытяжки из почвы, так и на привнесенное загрязнение. Ответные реакции *P. caudatum* были более стабильными: с одной стороны, тест-организмы реагировали на загрязнение, с другой стороны, были толерантны к изменению уровня рН. Следовательно, для оценки токсикологических свойств почв елового леса при мониторинговых и инженерно-изыскательских работах рекомендуется использовать биотест на основе хемотаксиса *P. caudatum*.

Библиографический список

- Лесные генетические ресурсы России: изучение, сохранение, использование, управление : коллективная монография. В 2-х кн. / Отв. ред. М. М. Паленова. Кн. 1. Пушкино : ВНИИЛМ, 2024. 546 с.

2. Рысин Л. П. Еловые леса. Большая российская энциклопедия. В 30 т. Т. 9. М., 2007. 767 с.

3. Шакирова А. Д., Исламова А. А. Мониторинг почвы в зоне влияния асфальтобетонного завода. DOI: 10.32415/jscientia.2019.07.01 // Juvenis Scientia. 2019. № 7. С. 4–7.

4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022?ysclid=mj8ca056c0852350143&index=464> (дата обращения: 05.10.2025)

5. ПНДФ Т 14.1:2:3:4.11-04. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм». М., 2004. 31 с.

6. ФР 1.39.2015.19243. Методика определения токсичности проб почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер». 2015. 30 с.

7. The effect of pH on the uptake and toxicity of copper and zinc in a tropical freshwater alga (*Chlorella* sp.) / K. L. Wilde, J. L. Stauber, S. J. Markich, et al. DOI: 10.1007/s00244-004-0256-0 // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2006. Vol. 51. No. 2. P. 174–185.

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЧВЕННОГО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

Е. М. Перминова, В. А. Ковалева, Е. М. Лаптева, Ю. В. Виноградова
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
perminova@ib.komisc.ru

Показано изменение комплекса почвенных микроорганизмов в результате сведения древесного яруса и последующего естественного лесовосстановления. Глубокие изменения экологических условий приводят к снижению количества КОЕ всех эколого-трофических групп, численности и видового разнообразия почвенных микромицетов, а также показателей базального дыхания и углерода микробной биомассы в органогенных горизонтах на первых этапах сукцессионного развития. В минеральном горизонте снижение характерно не для всех рассматриваемых показателей.

Ключевые слова: естественное лесовосстановление, почвенные микромицеты, эколого-трофические группы микроорганизмов.

В таежной зоне основным антропогенным фактором, влекущим глубокие изменения во всех компонентах лесных экосистем, является промышленная заготовка древесины. Результатом сведения древесного яруса является увеличение увлажненности и солнечной инсоляции территории лесосеки. Синергическое влияние этих факторов приводит к быстрому развитию политриховых и сфагновых мхов, что влечет за собой нарастание мощности подстилочного горизонта почв. Минеральная толща почвенного профиля, находящая-

яся в состоянии повышенного гидроморфизма, характеризуется усилением глеевых процессов и потечностью гумуса в верхних минеральных горизонтах [1]. В ходе естественного лесовосстановления спустя несколько десятилетий мощная оторфованная подстилка из долгомошных и сфагновых мхов сменяется грубогумусовой подстилкой, сложенной листвой мелколиственных пород деревьев и характеризующейся значительно меньшей мощностью. Качественное и количественное изменение растительного опада, принимающего участие в формировании органогенного горизонта почв фитоценозов послерубочного происхождения оказывает непосредственное влияние на комплекс почвенных микроорганизмов и их функциональную активность.

Таким образом, цель исследования – оценить диагностическую значимость комплекса почвенных микроорганизмов, функционирующих в условиях посттехногенного восстановления древесной растительности в подзоне средней тайги.

Исследования проводили в Усть-Куломском лесничестве Республики Коми. На территории лесничества были выделены участок коренного ельника мелкотравно-чернично-зеленомошного и три участка вторичных фитоценозов, представляющих собой хроноряд, где 2, 18 и 50 лет назад проводились зимние сплошнолесосечные рубки главного пользования. Некоторые характеристики участков исследования приведены в таблице. Рассматриваемые фитоценозы приурочены к водораздельным автоморфным позициям ландшафта, развиваются на подзолистых с микропрофилем подзола почвах. Ранее были опубликованы работы по изучению изменения биохимической активности почв [2], особенностей трансформации органического вещества почвы [3], а также ряд работ по исследованию физико-химических показателей [4, 5], где была дана подробная характеристика каждого исследуемого участка.

Отбор образцов проводился в течение вегетационного сезона 2018 г. (май, июль, август, октябрь), на трех участках – КЕ, ПП2 и ПП3 были отобраны почвенно-подстилочные образцы, подстилка отбиралась в соответствии с подгоризонтами О1, О2, О3, из минеральной толщи отбирались верхние 5 см элювиального горизонта. На каждом участке для отбора образцов закладывалось по 10–15 прикопок. В июле 2020 г. отбор образцов проводился на участках КЕ, ПП0, ПП2 и ПП3. На участках вторичных фитоценозов были выделены элементы лесосеки – пасечный участок, волок пасечный и волок магистральный. На каждом выделенном элементе повторность отбора образцов составила 5–10. Подстилка на подгоризонты не подразделялась, из минеральной толщи, как и в предыдущий год исследования, отбирались верхние 5 см элювиального горизонта.

Таблица

Характеристика участков исследования

Координаты	Тип рубки	Возраст	Элемент	Тип растительного сообщества
Коренной ельник (КЕ)				
61°45' с.ш. 54°17' в.д.	—	60–230 лет	—	Ельник мелкотравно-чернично-зеленомошный
Вырубка 2017–2018 гг. (ПП-0)				
61°48' с.ш. 54°15' в.д.	Зимняя сплош- нолесосечная, харвестер + фор- вардер	1–2 года	П	Вырубка осоково-чернично- зеленомошная
			ВП	
			ВМ	Злаково-осоковое сообщество
Вырубка 2001–2002 гг. (ПП-2)				
61°58' с.ш. 54°03' в.д.	Зимняя сплош- нолесосечная, харвестер + фор- вардер	18–19 лет	П	Елово-березовый молодой лес разнотравно-зеленомошный
			ВП	
			ВМ	Молодой березняк с ивой злако- во-разнотравный
Вырубка 1969–1970 гг. (ПП-3)				
61°48' с.ш. 54°04' в.д.	Зимняя сплош- нолесосечная, трактор ТДТ-40, хлыстовая тре- левка	50–51 год	П	Елово-березовый лес мелко- травно-чернично-зеленомошный
			ВП	
			ВМ	Березняк папоротниковый

Примечание: ПП – пробная площадка, П – пасека, ВП – волок пасечный, ВМ – волок магистральный.

Для оценки микробиологической активности почв методом посева на элективные питательные агаризованные среды определяли численность эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭТГМ). Аммонификаторы, аммилолитики, олигонитрофилы и олиготрофы учитывали соответственно на мясо-пептонном (МПА), крахмало-аммиачном (КАА) агарах, среде Эшби и голодном агаре (ГА), микроскопические грибы – на среде Чапека [6]. Таксономическую принадлежность микромицетов идентифицировали с использованием определителей.

В ходе исследования было установлено, что сведение древесного яруса в процессе промышленной заготовки древесины приводит к значительному снижению количества КОЕ всех эколого-трофических групп микроорганизмов в органогенном горизонте почв как в среднем за 2018 г., так и в июле 2020 г. При этом отбор образцов в 2020 г. с учетом элементов лесосеки показал, что подстилочные горизонты магистральных волоков характеризуются наименьшими значениями всех эколого-трофических групп микроорганизмов. В сравнении с подстилкой коренного ельника количество КОЕ на данном элементе лесосеки участка ПП0 для аммонификаторов, аммилолитиков, олигонитрофилов и олиготрофов снижается в 8,9, 2,5, 6,0, 2,9 раза соответственно. В процессе сукцессионного развития древостоя, к 50-летнему возрасту количество КОЕ ЭТГМ увеличивается, но не достигает значений, характерных для коренного ельника, за исключением аммилолитиков и олиготрофов за 2020 г. отбора, где количество КОЕ данных ЭТГМ в подстилке

различных элементов участка ПП3 выше в 1,4–2,4 и 1,2–1,8 раза соответственно. В элювиальном горизонте почв снижение количества КОЕ ЭТГМ отмечается для почв участков молодых фитоценозов, при дальнейшем развитии фитоценоза значения данных параметров возрастают и, в зависимости от погодных условий, могут превышать таковые коренного ельника.

Наибольшей численностью и количеством видов микромицетов также характеризуется органогенный горизонт почвы участка коренного ельника. Всего за весь период исследования идентифицировано 92 вида почвенных микромицетов из 23 родов. Наибольшее разнообразие микромицетов, как основных деструкторов растительного опада, сосредоточено в органогенных горизонтах. При этом максимальное видовое богатство отмечено в лесной подстилке почвы участка КЕ, из образцов которой выделено в совокупности 82 вида микромицетов. Максимальным количеством видов характеризуется род *Penicillium*, который формирует основу микромицетных сообществ в почвах таежной зоны.

Для микоценозов элювиальных горизонтов почв характерно снижение видового разнообразия, выявлено 57 видов. Наименьшим видовым разнообразием характеризуются элювиальные горизонты почв участков ПП0 и ПП2, где идентифицировано 16 и 21 вид микромицетов, соответственно.

Таким образом, с использованием методов посева на питательные селективные среды и идентификации почвенных микромицетов оценена функциональная активность почвенно-микробного блока коренного ельника и вторичных фитоценозов послерубочного происхождения. Показано, что микробный комплекс органогенного горизонта растительных сообществ, находящихся на ранних стадиях восстановительной сукцессии, характеризуется снижением значений исследуемых показателей (количество КОЕ ЭТГМ, численность и видовой состав почвенных микромицетов). Органогенный горизонт более поздних стадий восстановления лесного фитоценоза характеризуется повышением значений всех показателей, которые при определенных погодных условиях могут превышать таковые коренного ельника. Снижение количества КОЕ ЭТГМ свойственно и для микробного комплекса элювиальных горизонтов почв участков, находящихся на ранних сукцессионных стадиях восстановления. С развитием фитоценоза, к 50-летнему возрасту, значения количества КОЕ возрастают, в некоторых случаях наблюдается превышение данных параметров относительно коренного ельника. Наибольшим видовым разнообразием почвенных микромицетов характеризуются как органогенный, так и элювиальный горизонты коренного ельника.

Стоит отметить, что для получения наиболее достоверных результатов необходимо производить отбор почвенно-подстилочных образцов в соответствии с периодами вегетационного сезона; отбирать и анализировать лесную подстилку более 3 см с учетом подгоризонтов; учитывать, что на экологотрофическую структуру микроорганизмов значительное влияние оказывают погодные условия.

Библиографический список

1. Изменение почв и почвенного покрова еловых лесов после сплошнолесосечных рубок / Е. М. Лаптева, Г. М. Втюрин, К. С. Бобкова и др. DOI: 10.15372/SJFS20150505 // Сибирский лесной журнал. 2015. № 5. С. 64–76.
2. Биохимическая активность подзолистых почв на вырубках среднетаёжных еловых лесов / Е. М. Перминова, Н. Н. Бондаренко, Т. Н. Щемелинина, Е. М. Лаптева. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-1-056-066 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 1. С. 56–66.
3. Water-soluble components of organic matter of forest litters in podzolic soils of a chronological series of cutting areas / N. N. Bondarenko, E. M. Lapteva, E. V. Kuzyurova, E. M. Perminova. DOI: 10.1134/S1064229324601963 // Eurasian Soil Science. 2024. Vol. 57. No. 11. P. 1879–1888.
4. Дымов А. А., Старцев В. В. Изменение температурного режима подзолистых почв в процессе естественного лесовозобновления после сплошнолесосечных рубок. DOI: 10.7868/S0032180X16050038 // Почвоведение. 2016. № 5. С. 599–608.
5. Дымов А. А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. DOI: 10.34756/GEOS.2020.10.37828. М. : ГЕОС, 2020. 336 с.
6. Методы биодиагностики наземных экосистем / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, Ю. В. Акименко, Е. В. Даденко. Ростов н/Дону : Южный федеральный университет, 2016. 356 с.

ДЕРНОВО-КАРБОНАТНЫЕ ПОЧВЫ АТАРСКОЙ ЛУКИ

***A. M. Прокашев^{1,2}, A. С. Матушкин¹, С. А. Пупышева¹,
И. Л. Бородатый¹, Р. Р. Чепурнов¹***

¹ Вятский государственный университет, amprokashev@gmail.com,

² Вятский государственный агротехнологический университет

Представлены данные об одном из малоизученных компонентов почвенного покрова, выявленных в коренных берегах р. Вятки в районе пересечения рекой осевой зоны Вятских Увалов, характеризующие морфологию, физические и физико-химические свойства почв, сформированных на элювии коренных карбонатных пород пермской системы.

Ключевые слова: почвы на карбонатных породах, морфология, субстантивные свойства, генезис.

Дерново-карбонатные почвы – один из малоизученных компонентов почвенного покрова Вятского Прикамья (Кировская область). Это объясняется, во-первых, преимущественным вниманием исследователей к наиболее распространенным зональным типам почв – подзолистым, дерново-подзолистым, серым лесным, составляющим фоновый почвенный покров и, во-вторых, сравнительно малой распространностью карбонатных субстратов на территории данного региона, с которыми генетически связаны подобные интразональные почвы. Вместе с тем, в некоторых частях области они образуют достаточно представительные ареалы и широко используются в земледелии благодаря ряду положительных свойств. Впервые представление

о данных почвах разной подтиповой принадлежности было изложено в одной из работ В. В. Тюлина на примере южных и некоторых других районов Кировской области [1]. Позднее аналогичные почвы были обнаружены и изучены в различных геолого-геоморфологических условиях [2–4]. Нами выявлено достаточно разнообразие рельефа, почвенно-гидрологических условий, растительности, а также материнских пород, с которыми связано формирование настоящих почв: элювий известняков, мергели, мелкие песчаные двучлены, сменяемые на небольшой глубине карбонатными отложениями и др. Этим определяется разнообразие свойств и генезиса подобных почв, недостаточно изученных с литологической и иных точек зрения. Ограниченностю фактических данных о рассматриваемом типе почв региона исследований стала побудительным мотивом для продолжения изысканий в указанном направлении. Ниже представлены предварительные данные изучения дерново-карбонатных почв, характерного компонента почвенного покрова коренных берегов р. Вятки в районе Атарской Луки.

Цель работы – характеристика свойств почв, развитых на приречных склонах долины р. Вятки в районе Кукарского поднятия возвышенности Вятские Увалы с высотами около 200–75 м над у. м. Объекты – дерново-карбонатные почвы различных частей склонов, образованные под растительными ассоциациями на выходах к поверхности коренных пермских пород казанского яруса, главным образом известняков. Методы исследований: сравнительно-географический, морфолого-генетический, анализ гранулометрического состава – по Качинскому, агрохимических свойств – общепринятыми методами.

В качестве примера (табл. 1) приводится морфологическая характеристика одного из разрезов (АЛл-13) дерново-карбонатной типичной среднегумусной глинистой почвы на элювии известняка, заложенного на пологонаклонной поверхности левого коренного склона долины р. Вятки вблизи приречной части водораздела. Растительность – злаково-разнотравный клеверно-душицево-вейниковый луг.

Для морфологии данной почвы типичны: укороченность профиля, слабая каменистость, реакция с раствором 10% HCl, тёмная окраска дернового горизонта – признаки, характерные для дерново-карбонатных типичных почв.

О некоторых физических свойствах можно судить по данным гранулометрического анализа двух разрезов разной подтиповой принадлежности (табл. 2).

Представленные данные свидетельствуют о тяжелом – глинистом – гранулометрическом составе, что типично для почв, формирующихся на продуктах выветривания известняков. При их растворении происходит отмучивание глинистых примесей, отложившихся в бывших мелководных бассейнах казанского моря совместно с биогенным кальцитом. В профиле выщелоченного подтипа намечаются более выраженные признаки элювиально-иллювиального распределения ила.

Таблица 1

Морфологическая характеристика разреза АЛл-13

Горизонт, глубина, см	Морфология
O, 0–2	свежий, коричневато-буроватый, слаборазложившийся рыхлый опад травяно-кустарничковой и кустарниковой растительности, переход к следующему горизонту ясный ровный, корней нет
AUca, 2–20	влажный, тёмно-коричневый, ореховато-зернистый, глинистый, плотный, с редкими фрагментами кремнистого щебня и тонкими плитками известняка, реагирующими с 10% HCl, корней много, переход ясный, ровный
Bca, 21–35	влажный, буровато-коричневый, глинистый, мелкокомковато-зернистый, плотный, с редкими включениями известкового щебня, бурно реагирующими с HCl, корней меньше, переход волнистый
BCca, 36–46	влажный, желтовато-бурый, глинистый, смесь бесструктурного мелкозёма с карбонатной крошкой и щебнем, энергично реагирующая с HCl, корней мало

Таблица 2

Гранулометрический состав дерново-карбонатных почв

Горизонт, глубина отбора, см	Содержание фракций в мм, %						
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	< 0,01
Разрез АЛл-13: дерново-карбонатная типичная почва							
AUca, 6–16	6,0	2,0	28,2	15,3	17,1	31,3	63,8
Bca, 24–34	5,4	5,9	23,0	9,1	17,4	39,1	65,6
BCca, 35–45	6,2	5,1	24,4	16,3	19,8	28,2	64,3
Разрез АЛл-10: дерново-карбонатная выщелоченная почва							
AU, 8–18	3,4	5,6	39,5	10,7	17,3	23,5	51,5
AUB, 20–30	2,7	6,5	23,6	11,6	12,8	42,8	67,2
Cca, 55–65	5,3	8,1	27,1	22,6	18,7	18,4	59,6

Основные агропроизводственные свойства рассматриваемых почв представлены в таблице 3.

Анализ данных показал следующее:

- 1) существенные различия показателей актуальной, обменной и гидролитической кислотности гумусовых горизонтов, варьирующих от нейтральных значений в типичном подтипе до слабокислых в выщелоченном подтипе;
- 2) более контрастное вертикальное распределение упомянутых показателей в выщелоченном подтипе почв, коррелирующее с величинами сумм поглощенных оснований и степенью насыщенности основаниями;
- 3) среднее, постепенно убывающее с глубиной содержание гумуса на уровне 3–4% в дерновых горизонтах;
- 4) низкое содержание обменного калия и, особенно, подвижного фосфора (определенены по Кирсанову).

Таблица 3

Агрохимические свойства дерново-карбонатных почв

Горизонт, глубина отбора, см	Гигро влага, %	рН _{H₂O}	рН _{KCl}	Н _г	S	ЕКО	V, %	ОВ, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
									С-мол/кг почвы	мг/кг почвы
Разрез АЛл-13: дерново-карбонатная типичная почва										
AYca, 6–16	3,1	7,3	6,8	0,9	20,2	21,1	96	3,95	н/о	н/о
Bca, 24–34	4,4	7,6	6,8	0,7	19,6	20,3	96	1,89	н/о	н/о
BCca, 35–45	3,5	8,0	7,2	0,4	н/о	н/о	н/о	1,17	н/о	н/о
Разрез АЛл-10: дерново-карбонатная выщелоченная почва										
AY, 8–18	2,7	6,3	5,3	3,4	16,6	20,0	83	3,30	43	138
AYB, 20–30	3,7	6,6	5,4	2,5	19,7	22,2	89	1,83	54	166
Cca, 55–65	2,0	8,0	7,2	0,4	н/о	н/о	н/о	1,29	0,0	50

Примечание: н/о – не определено.

Представленные данные согласуются с данными других авторов [1]. Они свидетельствуют о важной роли почвообразующей породы – элювия известняка, нивелирующей на начальных этапах педогенеза элювирующую роль местного климата, с характерным для него близким к промывному типом водного режима. Дополнительным сдерживающим фактором может служить ускоренная скрытная денудация почвенных профилей склоновых местоположений. Тем не менее, эти данные указывают на возможность перехода к усилению элювиального тренда по мере выщелачивания углекислого кальция, особенно в разрезе АЛл-10, занимающем более низкое склоновое – транзитное положение в рельефе, по-видимому, за счет дополнительного поверхностного и внутрипочвенного притока атмосферных вод. В этом подтипе возможно протекание лессиважа, т. е. обезылиивания гумусоаккумулятивного горизонта в результате декальцирования верхней части профиля. Обеспеченность CaCO₃ не оказала существенного положительного влияния на гумусное состояние почв. Одной из возможных причин этого может быть относительно повышенные темпы естественного эрозионного обновления почвенных профилей на покатых склонах Атарской Луки.

Таким образом, исследуемые почвы придолинных геоморфологических позиций обнаруживают черты близости с дерново-карбонатными почвами ранее изученных районов. Несмотря на более высокую буферную способность к подкислению по сравнению с почвами на бескарбонатных породах, они не в состоянии противостоять фоновым процессам элювиальной природы, характерным для Вятского Прикамья. В настоящее время почвы формируются при ведущей роли биогенно-аккумулятивных процессов – дернового и подстилкообразования. Однако при промывном водном режиме, по мере декальцирования, в них могут быть «запущены» и процессы-антагонисты: выщелачивание, возможно с параллельным допущением щелочного гидролиза и лессива-

жа, а в перспективе – элювиально-глеевого процесса и, возможно, кислотного гидролиза.

Библиографический список

1. Тюлин В. В. Почвенный покров и природные условия Кировской области // Агрохимическая характеристика почв СССР. Центральные области Нечерноземной зоны РСФСР. М. : Наука, 1972. С. 157–232.
2. Дерново-карбонатные почвы на элювии песчаника – раритеты в мире вятских почв / А. М. Прокашев, И. А. Вартан А. С. , Матушкин и др. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 10–15.
3. Дерново-псаммокарбонатные почвы Верхневетлужской низменности / А. М. Прокашев, Б. А. Ананченко, А. В. Тюлькин и др. // Почвы и их эффективное использование : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию со дня рождения профессора, академика РАЕН Ирека Галеевича Юлушева. Киров : Вятский ГАТУ, 2024. С. 35–40.
4. Чепурнов Р. Р., Прокашев А. М. Ландшафтная структура долинно-междуречного геоэкотона нижней Вятки. Киров : ВятГУ, 2020. 210 с.

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ОРГАНОГЕННЫХ ГОРИЗОНТАХ В ПОЧВАХ НА ДВУЧЛЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

E. A. Скребенков^{1, 2}, Н. Н. Бондаренко², С. В. Денева², Е. М. Лаптева^{1, 2}

¹ Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, *evgeniigskrebenkov@mail.ru*,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, *elena.lapteva.60@mail.ru*

В ходе исследования выявлены существенные различия в запасах углерода в подстилках почв лесных экосистем различного типа. Минимальные значения отмечены в ельниках травяных и мелколиственных лесах с дренированными почвами, максимальные – в ельниках и сосновых кустарничково-сфагновых с переувлажнёнными торфяными почвами.

Ключевые слова: органогенные горизонты, подстилка, почвы, двучленные отложения, тайга.

Таёжные экосистемы являются одним из крупнейших резервуаров органического углерода в северных широтах [1], при этом значительная его часть аккумулируется в органогенных горизонтах почв – лесной подстилке и торфяных слоях. В условиях средней тайги аккумуляция и трансформация органического вещества тесно связаны с режимом увлажнения, микрорельефом и структурой растительного покрова, что приводит к высокой пространственной неоднородности запасов углерода. Как правило, в подстилках таежных почв содержание углерода выше по сравнению с ниже – лежащими мине-

ральными горизонтами в 9–44 раз в зависимости от условий формирования почв [2].

В Республике Коми почвы, формирующиеся на двучленных почвообразующих породах, занимают примерно 27% ее площади [2]. К особенностям почвообразующих пород, имеющих двучленный характер, является подстилание песков суглинками, которые служат водоупором, создают устойчивое сезонное переувлажнение всего профиля почв, а также играют роль «водоотвода», если такие породы залегают на склоновых поверхностях рельефа [3, 4]. К одной из таких территорий, где распространены преимущественно двучленные почвообразующие породы, относится государственный природный заказник республиканского значения «Ляльский» (Республика Коми, МО МР «Княжпогостский»). В настоящее время на территории этого резервата создан тестовый полигон для мониторинга парниковых газов в рамках Российской системы климатического мониторинга (ВИП ГЗ) с целью создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и оценки бюджета углерода в лесах и других наземных системах [5].

Настоящее исследование направлено на количественную оценку запасов органического углерода в горизонтах лесных подстилок и торфяных горизонтах почв, формирующихся на двучленных отложениях в различных типах среднетаежных лесов.

Объектом исследования послужили почвы тестового полигона «Ляльский». Площадь полигона составляет 4 км². Мощность песчаной толщи, подстилаемой моренными суглинками, варьирует от нулевых значений до 100 см и более.

На территории полигона закладывали 30 постоянных пробных площадей (ППП) в различных растительных сообществах для оценки содержания и запасов в почвах органического углерода ($C_{\text{орг}}$). В совокупности заложены 30 разрезов и 60 полуразрезов. Для диагностики и идентификации почв использовали принципы современной классификации почв России [6, 7].

Содержание $C_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ определяли газохроматографическим методом на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O) (ФР.1.31.2016.23502), содержание карбонатов – на кальциметре производства компании Eijkelkamp Agrisearch Equipment (Нидерланды), согласно ISO 10693:1995. При отсутствии в образцах почв карбонатов принимали равенство $C_{\text{общ}} = C_{\text{орг}}$. При наличии карбонатов содержание $C_{\text{орг}}$ рассчитывали по разности между величиной $C_{\text{общ}}$ и содержанием углерода карбонатов.

Запасы органического углерода (Q) рассчитывали в почвенных горизонтах с учетом плотности почв, мощности горизонтов и их каменистости [8, 9]:

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

где: Q – запас углерода в горизонте/слое, т/га; $C_{\text{орг}}$ – содержание органического углерода, %; ρ – плотность горизонта/ слоя, г/см³; h – мощность горизонта/слоя, см; CF – доля крупнозема (частиц диаметром $d > 2$ мм) в долях от единицы.

Статистическую обработку полученного массива данных выполняли в программе Microsoft Excel.

Заложенные 30 ППП можно условно отнести к 6 группам типов леса в соответствии с составом древостоя и характером напочвенного покрова:

1 – мелколиственные травяные, кустарничковые и травяно-кустарничковые березовые и осиновые леса (5 ППП), почвы – подзолы, подзол-элюваземы, дерново-элюваземы, дерново-элюваземы, дерново-подзол-элюваземы.

2 – ельники травяные, в том числе ельники травяно-кустарничковые (4 ППП), почвы – дерново-элюваземы, дерново-подзол-элюваземы, подзол-элюваземы, элюваземы.

3 – ельники кустарничково-зеленомошные, в том числе ельники кустарничково-долгомошные (4 ППП). Почвы этих участков представлены подзолами, подзол-элюваземами и элюваземами, встречаются почвы с признаками переувлажнения – торфяно-подзол-элюваземы глеевые;

4 – ельники кустарничково-сфагновые, в том числе травяно-сфагновые (8 ППП). Почвы этих участков переувлажнены, но в границах участков, благодаря особенностям микрорельефа и мозаичности напочвенного покрова, возможно сочетание переувлажненных почв: торфяно-подзолов глеевых, торфяно-(подзол)-элюваземов глеевых, торфяно-глееземов с торфяным горизонтом до 20–30 см и автоморфными почвами – дерново-подзол-элюваземами;

5 – сосняки кустарничково-зеленомошные (4 ППП) характеризуются сочетанием подзолов глееватых, развитых в относительно дренированных условиях микрорельефа, и торфяно-подзолов глеевых;

6 – сосняки кустарничково-сфагновые (5 ППП) занимают слабодренированные ландшафты с переувлажненными почвами – торфяно-подзолами глеевыми.

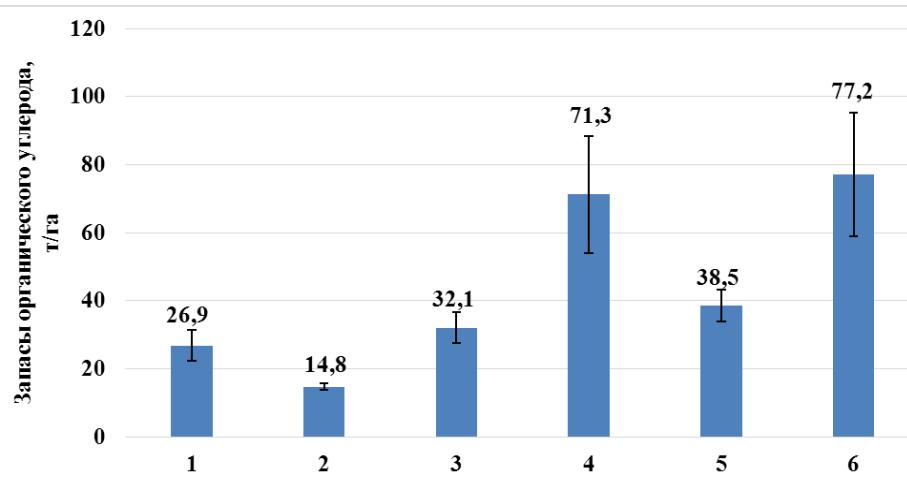


Рис. Запасы органического углерода в органогенных горизонтах, т/га.

1–6 – группы типов леса в соответствии с составом древостоя и характером напочвенного покрова (см. в тексте).

Примечание: планками погрешностей отмечена ошибка средней.

Запасы углерода в лесных подстилках и торфяных горизонтах почв значительно варьируют между типами лесных сообществ, что отражает различия в условиях увлажнения, типе напочвенного покрова и составе растительности (рис.). Минимальные значения характерны для ельников травяных (группа 2) – около 14,8 т С/га, что объясняется относительно высокой степенью минерализации органического вещества и отсутствием выраженного накопления торфа. Схожие, но немного более высокие показатели отмечены в почвах березняков и осинников (группа 1) – 26,9 т С/га, где формируются сравнительно небольшие по мощности, но хорошо разложившиеся подстилки.

Наибольшие запасы углерода выявлены в органогенных горизонтах почв ельников кустарничково-сфагновых (группа 4) и сосняков кустарничково-сфагновых (группа 6) – 71,3 и 77,2 т С/га соответственно. Это связано с постоянным переувлажнением, низкой скоростью разложения органического вещества и формированием мощных торфяных горизонтов. Промежуточные значения отмечены для почв ельников кустарничково-зеленомошных (группа 3) – 32,1 т С/га и сосняков кустарничково-зеленомошных (группа 5) – 38,6 т С/га, где соотношение дренированных и переувлажнённых микроположений сбалансировано.

Возрастание запасов углерода по градиенту от групп лесов 1–2 к группам леса 5–6 отражает переход от автоморфных и хорошо дренированных почв к полугидроморфным и торфяным, что подтверждает ведущую роль влажности и гидроморфизма в аккумуляции органического вещества. Высокие значения стандартной ошибки в сфагновых типах леса (до 17–18 т/га) указывают на выраженную мозаичность условий и неоднородность торфяной толщи.

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

Библиографический список

1. Потоки углерода в экосистемах средней тайги Центральной Сибири / А. В. Панов, А. В. Махныкина, А. В. Урбан и др. DOI: 10.15372/SJFS20240305 // Сибирский лесной журнал. 2024. № 3. С. 37–53.
2. Атлас почв Республики Коми / под ред. Г. В. Добровольского, А. И. Таскаева, И. В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
3. Тонконогов В. Д. Каверин Д. А., Забоева И. В. Особенности почв на двучленных отложениях северо-востока Европейской России // Почвоведение. 2004. № 3. С. 261–270.
4. Генезис и миграция веществ в почвах на двучленных породах ЦЛГПБЗ Тверской области / И. М. Яшин, Л. П. Когут, И. И. Васенев и др. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2014. № 3. С. 5–20.
5. Загирова С. В. Реализация важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» в Республике Коми // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 14–17.
6. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 341 с.

7. Полевой определитель почв России. М. : Почвенный ин-т имени В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
8. Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Суханова Н. И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М. : Наука, 1996. 254 с.
9. Моделирование динамики органического вещества почв / А. В. Смагин, Н. Б. Садовникова, М. В. Смагина и др. М. : Издательский Дом (типография) МГУ имени М. В. Ломоносова, 2001. 120 с.

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕЛИОРАНТОВ ДЛЯ ЩЕЛОЧНЫХ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

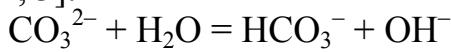
M. X. Хемо

Вятский государственный университет, mihemedhito@gmail.com

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

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

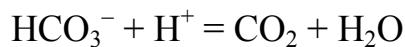
Масштабное засоление обрабатываемых земель и обусловленное этим опустынивание входит в число важнейших проблем современной экологии. Особую остроту проблема засоления приобретает в районах поливного (иrrигационного) земледелия на фоне глобальных климатических изменений. Засоление представляет собой процесс накопления в почве легкорастворимых солей. С химической точки зрения тип засоления можно определить по доминирующему в почве анионам. Наиболее распространены почвы с хлоридным, сульфатным, хлоридно-сульфатным и карбонатным засолением [1]. Карбонатное засоление, обусловленное накоплением в почве соды (Na_2CO_3), считается наиболее опасным для растений, поскольку гидролиз соответствующей соли приводит к подщелачиванию почвенного раствора до вредного для живых организмов уровня [2, 3]:



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

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





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

В ряде публикаций последних лет показано, что для мелиорации щелочных засоленных почв могут найти применение серосодержащие отходы, а именно серо-грунтовая смесь, образующаяся в местах хранения серы открытым способом (на серных картах) [5–7]. Использование отходов серы позволяет существенно снизить расходы на химическую мелиорацию щелочных засоленных почв.

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

Для проведения исследований использовали образцы серогрунтовой смеси (СГС), отобранные с поверхности серной карты. Перед внесением в почву СГС растирали в фарфоровой ступке и просеивали через сито с размером ячеек 1x1 мм. Не поддающиеся измельчению твердые включения грунта удаляли. Для экспериментальных исследований использовали измельченную серу с небольшими включениями мелких частиц грунта, которые не отделялись при просеивании. Содержание серы в подготовленной для проведения исследований СГС составляло $85\pm5\%$, размеры частиц S^0 не превышали 0,16 мм. Более тщательная очистка серы от примеси грунта не имеет практического смысла, поскольку грунт является носителем уникальной сероокисляющей микробиоты и снижает пожароопасность мелиоранта.

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

Образцы щелочной засоленной почвы, используемой для проведения исследований, имели следующие характеристики: удельная электропроводность (УЭП) – 280 ± 22 мкСм/см; содержание CO_3^{2-} – $0,11\pm0,04$ мг-экв/100г; HCO_3^- – $0,75\pm0,14$ мг-экв/100г; pH фильтрованной водной вытяжки (1:5) – $8,8\pm0,2$; доля анионов, обусловливающих щелочность – выше 20% от общей суммы анионов; общая щелочность $>$ суммы $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

Варианты эксперимента:

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

Подготовленные образцы почвы смешивали с добавками согласно вариантам эксперимента, помещали в пластиковые контейнеры, увлажняли дистиллированной водой до влажности 60% и оставляли в лабораторном помещении при температуре 20 ± 2 °C в условиях естественного освещения. В течение всего периода наблюдений (24 дня с момента внесения добавок)

воду в контейнеры не добавляли. Масса почвы в каждом контейнере составляла 2 кг. Исследования проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку полученных данных выполняли в программе Microsoft Excel. Для оценки статистической значимости различий средних значений определяемых показателей применяли t-критерий Стьюдента.

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

В таблице 1 приведены данные о динамике изменения рН водных вытяжек из почвы.

Таблица 1

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

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

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

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

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

В таблице 2 приведены данные о динамике изменения УЭП.

Таблица 2

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

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

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

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

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

Таблица 3

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

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

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

Добавка серы (варианты 2 и 4) привела к снижению содержания CO_3^{2-} ниже предела обнаружения метода (ГОСТ Р 59540–2021). Содержание HCO_3^- в водной вытяжке снизилось в 2,8–3,7 раза. Наименее выраженный результат наблюдался в варианте 3 (добавка навоза КРС). Полностью устранить гидрокарбонаты из щелочной засоленной почвы при внесении серы и навоза КРС не удалось. Часть гидрокарбонатов сохранялась во всех вариантах, независимо от количества внесенной серы. Наименьшая концентрация HCO_3^- была выявлена в варианте 2 (самая высокая добавка серы).

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

Выводы. Использование отходов серы в качестве сырья для производства мелиорантов для щелочных засоленных почв имеет большое практическое значение.

ское значение, поскольку позволяет сократить количество техногенных отходов и улучшить экологическую обстановку в местах размещения серных отвалов.

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

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

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

Библиографический список

1. Пилипенко В. Н., Яковлева Л. В., Федотова А. В. Современное состояние засоленных почв дельты Волги // Фундаментальные исследования. 2005. № 8. С. 145–149.
2. Засоление почвы и его влияние на растения / В. В. Иванищев, Т. Н. Евграшкина, О. И. Бойкова, Н. Н. Жуков // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2020. № 3. С. 28–42.
3. Сырчина Н. В., Скугорева С. Г., Кутявина Т. И. Рациональная утилизация серосодержащих отходов. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-4-151-156 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 4. С. 151–156.
4. Манжина С. А. К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: Российские и зарубежные практики // Мелиорация и гидротехника. 2021. № 3. С. 163–181.
5. Сырчина Н. В., Рутман В. В., Сазанова М. Л. Оценка безопасности мелиорантов на основе серо-грунтовой смеси методом фитотестиования // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Киров, 23–24 апреля 2024 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 276–280.
6. Иванова Н. Н., Сырчина Н. В., Мартынова Е. В. Натуральный мелиорант для восстановления плодородия почв с карбонатным типом засоления // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 175–180.
7. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В. Влияние мелиорантов и удобрений на основе элементарной серы на почвенные диатомовые водоросли // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 18–19 ноября 2024 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 198–201.
8. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Кондакова И. А. Влияние молотой серы на альгоцианофлору щелочных засоленных почв. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-1-131-140 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 1. С. 131–140.

ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL PRINCIPLES OF SOIL RECLAMATION IN DEGRADED AREAS

*F. B. Abdukholikov¹, H. K. Karshibaev¹, A. S. Abduraimov¹,
J. A. Jumanov¹, O. R. Xujamkulov¹, M. M. Norkulov²*

¹ *Gulistan State University, Gulistan, Uzbekistan,*

farrukh.abdukholikov@gmail.com,

² *Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan*

This article analyzes the causes of land degradation resulting from economic activities, their ecological and agricultural significance, and the processes of land reclamation. The importance of technical and biological reclamation stages and the prospects for restoring disturbed lands in agriculture, forestry, and water management are discussed. The study focuses on ensuring ecological sustainability and the rational use of natural resources.

Keywords: degraded lands, reclamation, technical reclamation, biological reclamation, soil fertility, ecological stability.

In the course of human economic activity, the pressure exerted on the natural environment is steadily increasing. In particular, the degradation of the soil layer, alteration of hydrological regimes, formation of technogenic relief forms, and reduction of natural fertility under the influence of anthropogenic factors have led to the expansion of disturbed land areas. Such lands not only lose their economic value but also negatively affect the stability of ecosystems.

At present, the main sources of land degradation include open-pit mining of mineral resources, industrial and construction waste, soil salinization and erosion resulting from improper irrigation practices, collector-drainage dumpings, and abandoned canal beds. Consequently, a decrease in agricultural land area and the disruption of natural landscapes are being observed [1, 2].

Therefore, the identification, inventory, and reclamation of such lands represent an important scientific and practical issue.

Land reclamation – recultivation – is carried out in two main stages: technical and biological. The technical stage involves cleaning of overburden materials, burying of waste, leveling of the land surface, and terracing. The biological stage, in turn, focuses on improving the agrophysical, agrochemical, and biochemical properties of the soil, restoring the fertile layer, and creating favorable conditions for plants through phytomeliorative measures [3].

In recent years, particular attention has been given to the effective use of fertile and potentially fertile soil layers during reclamation processes. Specifically, measures such as soil layering, placement of collector-drainage dumpings in natural depressions, and leveling of old canal beds play a significant role in preparing degraded lands for reuse [4].

The comprehensive implementation of reclamation measures is essential for restoring soil fertility, maintaining ecological balance, and supporting biological diversity.

The Government of the Republic of Uzbekistan has adopted a number of legal acts aimed at restoring ecological balance and ensuring the rational use of land resources. In particular, the Resolution of the Cabinet of Ministers dated April 29, 2023, No. 169 – “On measures for the reclamation of disturbed lands, preservation of the fertile soil layer, and organization of its rational use” – serves as one of the key normative documents regulating this process at the legislative level [5].

The problem of land reclamation has become one of the major global ecological challenges of our time. Anthropogenic factors — including mining, construction, and industrial waste — have led to land degradation, adversely affecting soil fertility, biological diversity, and the stability of natural landscapes. Therefore, reclamation processes hold significant ecological, economic, and social importance.

A. Bradshaw [6] emphasized that the natural self-restoration capacity of ecosystems is insufficient, and thus human intervention plays a crucial role in accelerating recovery processes. G. M. Tordoff et al. [7] identified the restoration of soil biological activity as a key factor in reclamation and scientifically demonstrated that the addition of organic materials to soil accelerates ecosystem recovery.

R. F. Hüttl and W. Gerwin [8] evaluated reclamation not only as the restoration of soil and vegetation but also as a comprehensive process of reshaping entire landscape systems. They proposed the concept of a “landscape-scale approach” to ensure sustainable rehabilitation. V. Sheoran et al. [9] highlighted that the selection of locally adapted, stress-tolerant, and fast-growing plant species is essential for ensuring ecosystem stability in post-mining land reclamation. J. Lundholm et al. [10] analyzed the importance of phytodiversity in reclamation and demonstrated that plant species compatibility contributes to the long-term stability of ecosystems.

N. Kuter developed criteria for assessing the economic feasibility and agricultural usability of reclaimed lands, emphasizing the integration of ecological and economic aspects [11]. Organic fertilizers and biomaterials improve soil properties and enhance its fertility potential [12].

Thus, land reclamation requires a multidisciplinary approach. Considering local environmental conditions, enhancing soil biological activity, restoring native flora elements, and applying economically efficient methods are key determinants of successful reclamation outcomes.

Soil profiles were established in the upper layers of degraded mine sites based on the principles of classical pedological approaches. The field investigations were conducted in accordance with the methodological framework of the Dokuchaev Pedological School [13], as well as the techniques developed by [14] and A. A. Rode [15]. During the study, soil horizons were distinguished at depths of 0–30 cm and 30–50 cm, and their morphological characteristics were described in detail.

Soil sampling was performed following the procedures recommended by [16] and [17]. Samples from each layer were collected using a diagonal sampling meth-

od to ensure even spatial distribution across the study area. In the laboratory, the collected samples were air-dried and sieved to achieve uniform particle size for subsequent analysis. The elemental composition of the soils was determined according to the methodology [18], with quantitative assessments of the main macroelements (N, P, K, Ca, Mg) and microelements. The obtained data were processed and evaluated in accordance with the requirements of GOST 26213-91, GOST 26261-84, and GOST R 53123-2008 standards.

Preparation and mineralization of soil samples. To remove residual moisture, the collected soil samples were first dried in a VWR DRY-line drying oven (Germany) until a constant mass was achieved. From the completely dried samples, 200 mg portions were accurately weighed using an analytical balance (FA220 4N) and prepared for mineralization.

The mineralization process (conversion to a clear solution) was performed using a modern Milestone Ethos Easy digestion system (Italy). For this purpose, 200 mg of the soil sample were placed into the digestion vessel, followed by the addition of 6 ml of nitric acid (HNO_3) and 2 ml of hydrogen peroxide (H_2O_2). The nitric acid used was purified through the Distillacid BSB-939-IR infrared acid purification system to ensure analytical purity. The mixture was then subjected to complete mineralization at 180°C for 20 minutes.

After completion of the mineralization process, the resulting clear solution was transferred into a conical volumetric flask and diluted to a final volume of 25 ml with distilled water (BIOSAN, Latvia). The prepared solutions were then placed into special vials through an autosampler system and made ready for subsequent chemical analysis.

The quantitative elemental composition of the samples was determined using an Avio 200 ICP–OES instrument (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometer, Perkin Elmer, USA). This spectrometer allows element detection with a sensitivity up to 10^{-9} g, providing highly precise quantification of elements in the solution. The analytical data obtained as a result of the measurements are presented in Table 1.

To remove excess moisture from the collected soil samples, they were first dried in a VWR DRY-line drying oven (Germany) until a constant mass was achieved. After the drying process was completed, a 1:10 extract was prepared from the fully dried samples. The obtained solutions were placed into special test cuvettes, and relevant analytical procedures were carried out using a spectrometer. For results see the Table.

Reclamation of soils contaminated with heavy metals is one of the most complex environmental restoration processes. Heavy metal pollution alters soil properties by causing the development of acidic or alkaline reactions, reducing cation exchange capacity, leading to nutrient loss, increasing soil density, decreasing porosity, impairing buffering capacity, and accelerating processes such as erosion and deflation. As a result, plant diversity decreases, and in severe cases, vegetation degradation or complete die-off may occur.

Table
The results of soil samples analysis

Soil Sample	Macroelement content, mg/100 g					
	Ca	K	Na	Mg	Fe	
Control	86,9375	7,2663	52,4354	37,4658	0,8481	
Reclaimed	69,3679	7,9303	39,7796	26,7005	3,0301	
Trace element content, mg/100 g						
Soil Sample	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	
Control	0.4252	0	0	0.1727	0.0094	
Reclaimed	0.4044	0.0239	0	0.1605	0.0251	
Heavy metal content, mg/100 g						
Soil Sample	Sb	Pb	As	Se	Cr	
Control	0.3729	0.7680	0.0343	0.6943	0.1253	
Reclaimed	0.3602	0.9300	0.0184	0.6030	0.1401	
Anions and compounds content, pH and electrical conductivity (EC)						
Soil Sample	SO ₄ LCK mg/100 g	Cl LCK mg/100 g	P ₂ O ₅ LCK mg/100 g	N-(NO ₃) LCK mg/100 g	pH, units	EC, S/m
Control	62.26	27.81	0	2.49	7.78	0.895
Reclaimed	64.96	32.64	0	3.82	7.83	0.927

Before initiating reclamation activities in such areas, it is essential to identify the sources and causes of contamination, reduce waste generation, and take measures to localize or eliminate pollution sources. Only under such conditions can high reclamation efficiency be achieved.

Reclamation of heavy metal-contaminated soils can be performed using the following approaches:

1. Cultivation of resistant plant species, both cultivated and wild, capable of growing under contaminated conditions. Considering specific environmental factors, the following crops can be cultivated on soils polluted with heavy metals: cereal and leguminous crops, potato, cabbage, tomato, cotton, sugar beet, and others.

2. Phytoremediation (Phytorecultivation) — restoration of soils through plants capable of accumulating heavy metals in their vegetative organs. During the vegetation period, certain plant species can absorb toxic heavy metals, particularly lead, originating from automobile emissions. Therefore, establishing vegetation cover on contaminated areas is an effective and environmentally friendly approach. For instance, pepper (*Capsicum* spp.) is effective for removing zinc, lead, and cadmium; mustard (*Brassica* spp.) is suitable for eliminating chromium; buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) for nickel; and for soils contaminated with radioactive isotopes, pea, alfalfa, and tobacco plants can be effectively used [19].

In the reclaimed soil samples, the concentrations of most chemical elements were found to be slightly higher or maintained at stable levels compared to the control samples. This indicates that the soil restoration process was effective and that the reclamation measures contributed positively to the recovery of soil functionality.

Macroelements (Ca, K, Na, Mg, Fe). The content of these elements in the reclaimed soil was slightly lower than in the control samples but remained within the optimal range, ensuring a favorable nutrient environment for plant growth.

Microelements (Cu, Mn, Zn, Ni, Co, Mo). Their concentrations were close to or slightly higher than those of the control samples, indicating the reactivation of biogeochemical processes in the soil.

Heavy metals (Sb, Pb, As, Se, Cr, Ti, Hg). Their levels were low, suggesting that toxic elements did not accumulate in the soil — an ecologically positive outcome.

Anions and compounds (SO_4^{2-} , Cl^- , N-NO_3 , P_2O_5). Their values in the reclaimed soil were somewhat higher, reflecting enhanced organic matter decomposition and increased nutrient cycling activity.

pH and electrical conductivity. For both sample groups, the pH remained around 7.7, maintaining a neutral reaction. A slight increase in electrical conductivity indicates active ion exchange processes within the soil.

Thus, the conducted studies have demonstrated that effective reclamation of disturbed lands requires the integration of technical and biological measures to improve the soil's physicochemical and agrobiological properties. It is recommended to:

- select plant species adapted to local environmental conditions;
- apply organic and mineral fertilizers to enhance nutrient availability;
- regulate soil moisture regimes;
- conduct continuous ecological monitoring of reclaimed areas.

These measures collectively ensure the long-term efficiency and sustainability of soil reclamation processes.

References

1. Jumayev J., Atayeva Z. Causes of soil degradation and measures to prevent it // Universum: chemistry and biology : internet scientific journal. 2023. No. 6. URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/15529>.
2. The modern problems of sustainable use and management of irrigated lands on the example of the Bukhara Region (Uzbekistan) / R. Kulmatov, A. Rasulov, D. Kulmatova, et al. DOI: 10.4236/jwarp.2015.712078 // J. Water Resource Prot. 2015. Vol. 7. P. 956–971.
3. Banov M., Tsolova V., Zhelezov G. Basic methodology and modern technological solutions for reclamation of disturbed lands and soils // Problems of geography. 2019. Vol. 1. P. 3–17.
4. Reclamation measures to ensure the reliability of soil fertility / I. F. Yurchenko, M. A. Bandurin, V. A. Volosukhin, et al. DOI: 10.2991/agrosmart-18.2018.12 // Advances in Engineering Research. 2018. Vol. 151. P. 62–66.
5. On measures for the reclamation of disturbed lands, preservation of the fertile soil layer, and the rational use of land resources. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan, № RCM-169, April 29, 2023 [Internet resource]. – URL: <https://lex.uz/ru/docs/6448783#> (Assessed: 05.11.2025).
6. Bradshaw A. Restoration of mined lands – using natural processes. DOI: 10.1016/S0925-8574(97)00022-0 // Ecol. Eng. 1997. Vol. 8. No. 4. P. 255–269.
7. Tordoff G. M., Baker A. J. M., Willis A. J. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. DOI: 10.1016/S0045-6535(99)00414-2 // Chemosphere. 2000. Vol. 41. No. 1–2. P. 219–228.

8. Hüttl R. F., Gerwin W. Landscape and ecosystem development after disturbance by mining. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2004.12.002 // Ecol. Eng. 2005. Vol. 24. No. 1–2. P. 1–3.
9. Sheoran V., Sheoran A. S., Poonia P. Soil reclamation of abandoned mine land by re-vegetation: A review // International Journal of Soil, Sediment and Water. 2010. Vol. 3. No. 2. Article No. 13.
10. Lundholm J., Tran S., Gebert L. Plant functional traits predict green roof ecosystem services. DOI: 10.1021/es505426z // Environ. Sci. Technol. 2015. Vol. 49. No. 4. P. 2366–2374.
11. Kuter N. Reclamation of degraded landscapes due to opencast mining. DOI: 10.5772/55796 // Advances in Landscape Architecture / Ed. M. Özyavuz. IntechOpen, 2012.
12. Reclamation of drastically disturbed lands / Eds. R. I. Barnhisel, W. L. Daniels, R. G. Darmody. Madison, Wi, 2000. 1082 p.
13. Dokuchaev V. V. Russian Chernozem. St. Petersburg: Imperatorskoe Volnoe ekonomiceskoe obschestvo, 1883. 376 p. (in Russian).
14. Classification and diagnostics of Russian soils / Eds. L. L. Shishov, V. D. Tonkonogov, I. I. Lebedeva, M. I. Gerasimova. Smolensk : Oykumena, 2004. 342 p. (in Russian).
15. Rode A. A. System of research methods in soil science. Novosibirsk : Nauka, 1971. 92 p. (in Russian).
16. Kachinskiy N. A. Soil Physics. Moskva : Vysshaya shkola, 1970. Vol. 2. 358 p. (in Russian).
17. PND F 12.1:2:2.2:2.3:3.2-03. Methodological recommendations sampling of soils, soils, bottom sediments, silts, sewage sludge, industrial wastewater sludge, production and consumption waste. Moscow, 2014. 15 p. (in Russian).
18. Arinushkina E. V. Manual on chemical analysis of soils. Moscow : Moscow State University Publ., 1970. 244 p. (in Russian).
19. Soil reclamation – strategies and restoration methods / A. Kumar, S. Kumar, R. Juyal, et al. // Futuristic trends in agriculture / S. S. Bhatt, A. Patel, S. Kumar, M. Nautiyal. DOI: 10.22271/int.book.241. New Delhi : Integrated Publication, 2023. P. 135–149.

СЕКЦИЯ 3

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ АКТИНОБАКТЕРИЙ В ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРОБИОМОВ ВЯТСКО-КАМСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Н. А. Боков ^{1, 2}, И. Г. Широких ²

¹ Вятский государственный университет,

² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, *nikita_bokov@mail.ru*

Охарактеризовано место актиномицетов в филогенетической структуре почв природной (ППЭ), техногенной (ТПЭ), агрогенной экосистем (АПЭ). Представители филума *Actinomycetota* лидировали по относительному обилию в исследованных почвах: дерново-подзолистой (АПЭ) (19%), техносоли (ТПЭ) (25%), аллювиальной дерновой (ППЭ) (27%). Большинство выявленных семейств актинобактерий составили общее ядро актинобактериальных сообществ исследованных почв. Однако в каждом из микробиомов выявлены свои уникальные семейства (*Nocardiaceae*, *Promicromonosporaceae*, *Rubrobacteriaceae*, *Sporichthyaceae*), которые представляют интерес для их использования в целях биоиндикации.

Ключевые слова: актиномицеты, почвенный микробиом, 16S рРНК, ампликонное секвенирование, биоиндикация.

Почва является средой с исключительно богатым микробным разнообразием, большую часть которого (95–99,9%) невозможно изучать традиционными культуральными методами [1]. Развитие молекулярно-генетических подходов, таких как метабаркодинг и метагеномный анализ позволило изучать тотальную ДНК из почвы, открывая доступ к разнообразию некультивируемых микроорганизмов и устанавливая связь между конкретными таксонами и их функциями [2].

Биоинформационный анализ таких данных выявляет, как антропогенное воздействие меняет почвенный микробиом. Например, преобразование лесов в сельхозугодья увеличило разнообразие бактерий и грибов, выявленных при метагеномом анализе, а долгосрочное внесение азотных удобрений снизило относительное обилие важных бактериальных филумов, таких как *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Acidobacteria* и *Chloroflexi* [3].

Метабаркодинг играет важную роль в изучении экологии и распространении малоисследованных таксонов микроорганизмов в почвах, в том числе и актинобактерий, позволяет оценить влияние окружающей среды (температуры, влажности, растительности и т. д.) на состав актинобактериального сообщества [4]. Благодаря методам, описанным выше, возможно изучить обилие и разнообразие микроорганизмов в почвенном микробиоме, что может служить основанием для выделения групп микроорганизмов, которые могут служить маркером, по которому можно оценивать состояние и здоровье почвы.

Цель исследования – охарактеризовать место актиномицетов в филогенетической структуре микробиомов почв природной, техногенной, агрогенной экосистем.

Первый участок, типизирующий природную экосистему, находился в центральной части Кировской области, на территории ГПЗ «Нургуш», и представлял собой липняк с примесью дуба с аллювиальной дерновой почвой (ППЭ).

Второй участок, типизирующий агрогенную экосистему, находился на территории Пермского края и представлял собой возделываемый участок дерново-подзолистой почвы под кормовой культурой – левзеей сафлоровидной (АПЭ).

Третий участок, типизирующий техногенную экосистему, располагался на территории засыпанного хранилища жидких отходов производства химических предприятий г. Кирово-Чепецка Кировской области и представлен техногенным образованием – техносолью (ТПЭ).

Подготовку проб, выделение и очистку ДНК, ампликонное секвенирование 16SpPHK на приборе Illumina MiSeq (Illumina, США) осуществляли в Центре коллективного пользования «Геномные технологии, метагеномика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ (Санкт-Петербург, г. Пушкин). Первичную обработку полученных сиквенсов проводили с использованием автоматизированного алгоритма QIIME 2 [5].

В ходе последующего биоинформационного анализа проводили классификацию репрезентативных последовательностей по таксонам с восстановлением исходных филотипов (ASV – Amplicon sequence variant) и дальнейшей таксономической классификацией полученных ASV. Использовали базу нуклеотидных последовательностей SILVA 138.2. Порог классификации составлял 99%.

Для визуализации результатов изучения состава сообществ на уровне филумов использовали Microsoft Excel, данные для визуализации импортировали из QIIME 2.

Для визуализации различий в относительном обилии актиномицетных таксонов в разных почвах использовали тепловую карту, построенную с помощью онлайн сервиса NG-CHM BUILDER [6]. Количество общих семейств в списках, полученных на платформе QIIME 2, визуализировали с помощью диаграмм Венна, построенных с использованием интерактивного инструмента InteractiVenn (<http://www.interactivenn.net/>) [7].

В результате таксономического анализа микробиомов на основе базы данных SILVA 138.2 было идентифицировано 29 филумов, из которых 28 принадлежали к бактериям и 1 – к археям. Ключевой группой среди прокариот оказались актинобактерии (филум *Actinomycetota*), доля которых возрастила в ряду: дерново-подзолистая почва (19%) → техносоль (25%) → аллювиальная дерновая почва (27%) (рис. 1). Во всех исследуемых почвах актинобактерии были абсолютно доминирующими по обилию ASV.

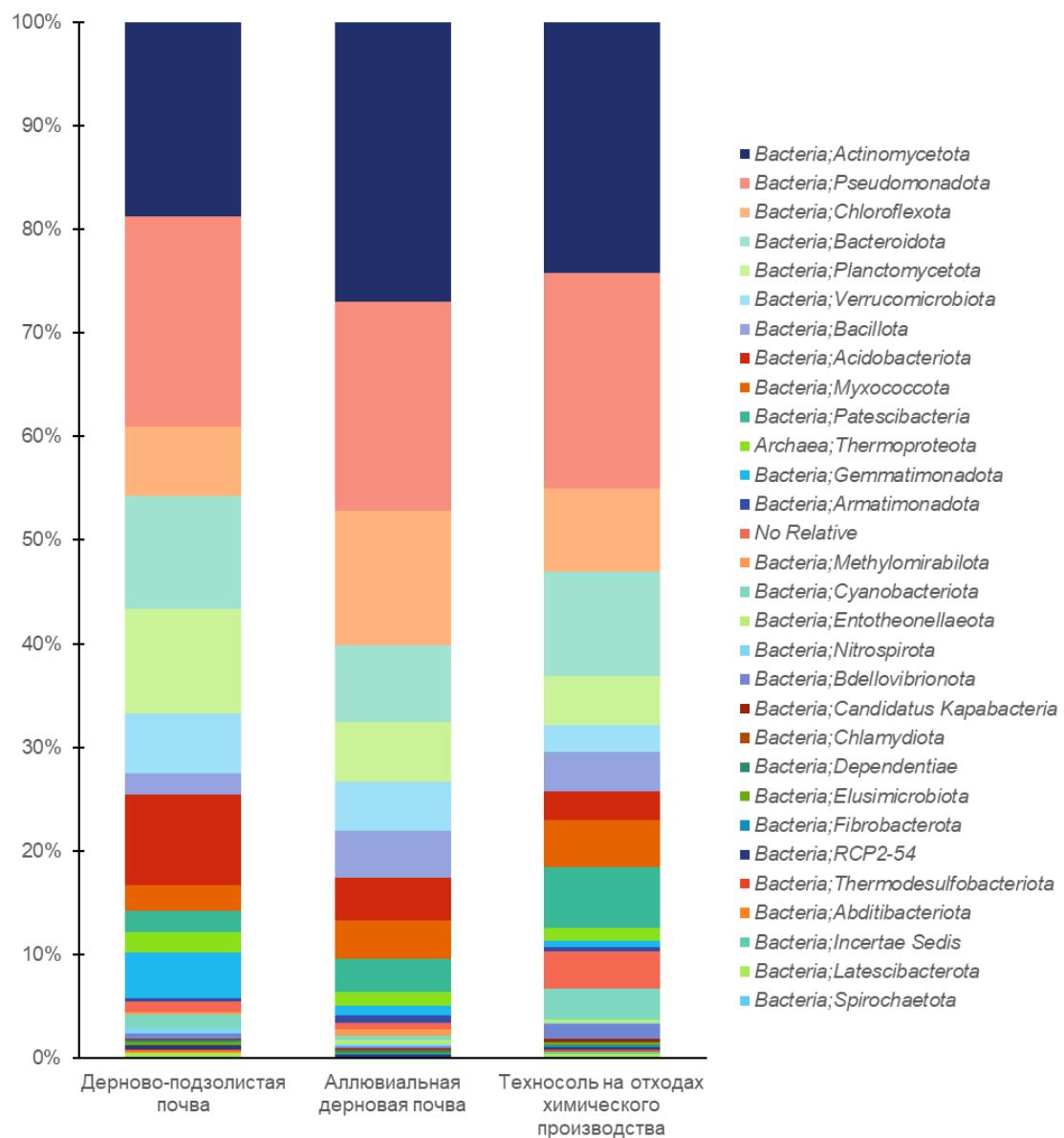


Рис. 1. Сравнительное обилие доминирующих филумов

Для углубленного сравнения состава актинобактерий последовательности были классифицированы до уровня семейства. К тепловой карте был применен алгоритм кластеризации, который отделил актиномицетное сообщество техносоли от сообществ природной и агрогенной почв (рис. 2). Общее разнообразие составило от 25 до 30 семейств на образец, с наибольшей представленностью *Ilumatobacteraceae*, *Nocardioidaceae*, *Solirubrobacteraceae*, *Acidimicrobiaceae*, *Gaiellaceae* и группы *Incertae sedis* порядка *Gaiellales*.

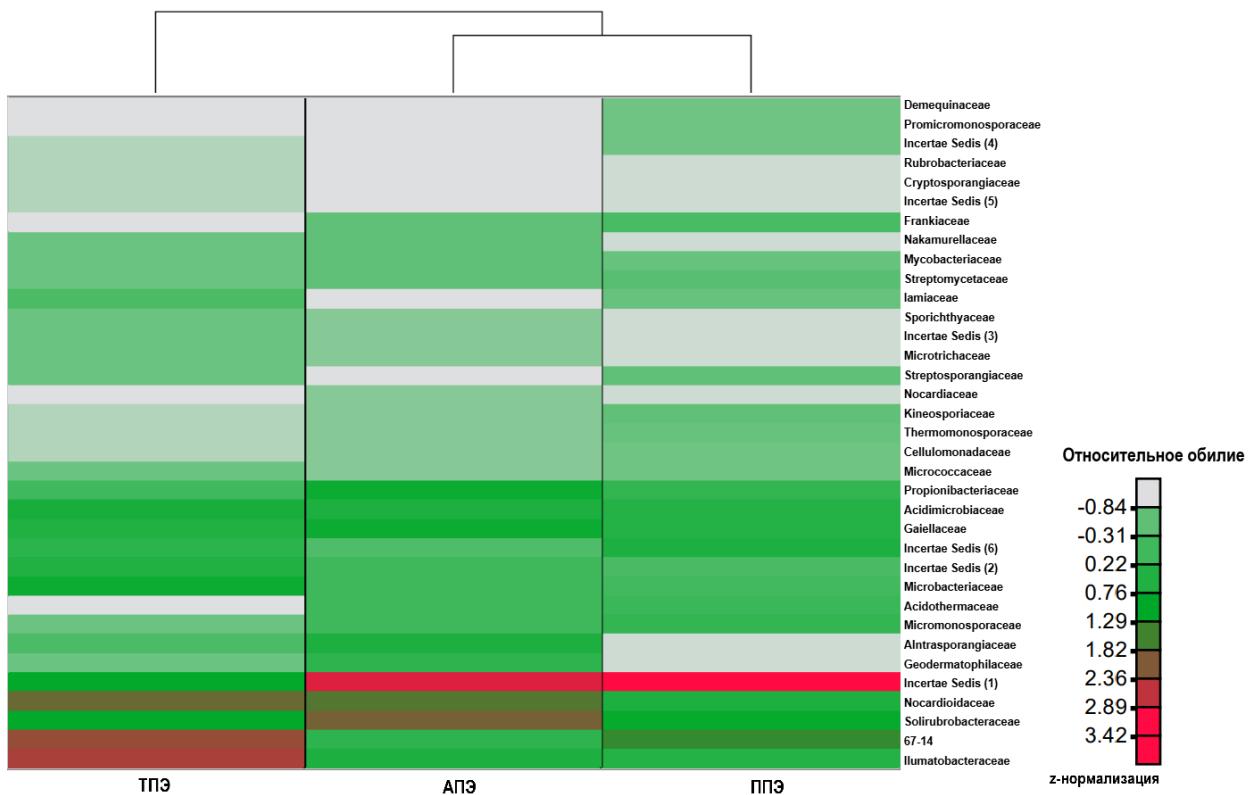


Рис. 2. Тепловая карта, отражающая относительное обилие ASV, атрибутированных с семействами, входящими в филлум *Actinomycetota*.

ТПЭ – техносоль, АПЭ – дерново-подзолистая, ППЭ – аллювиальная дерновая почва. Данные по количеству ASV, отнесенных к каждому семейству, были предварительно z-нормализованы

Сравнительный анализ выявил уникальные паттерны распределения семейств актиномицетов в трех почвенных экосистемах различного генезиса. Так, в техносоли не обнаружены представители семейств *Frankiaceae* и *Acidothermaceae*, но встречались уникальные для этой почвы представители семейств *Incertae sedis*, отнесенного к порядку PeM15, *Cryptosporangiaceae* и *Rubrobacteriaceae*.

В аллювиальной дерновой почве не встречались представители *Intrasporangiaceae*, *Geodermatophilaceae*, *Microtrichaceae*, *Sporichthyaceae*, но были обнаружены уникальные для этой почвы семейства *Promicromonosporaceae* и *Demequinaceae*.

Дерново-подзолистая почва отличается от других почв наличием семейства *Nocardiaceae* и отсутствием *Streptosporangiaceae* и *Iamiaceae*.

Уникальные таксоны, выявленные с помощью тепловых карт и диаграмм Венна (рис. 3), указывают на четкую таксономическую дифференциацию актинобактериальных сообществ, вероятно, связанную с генезисом почвы и метаболической адаптацией представителей конкретных семейств актиномицетов к условиям места их обитания.

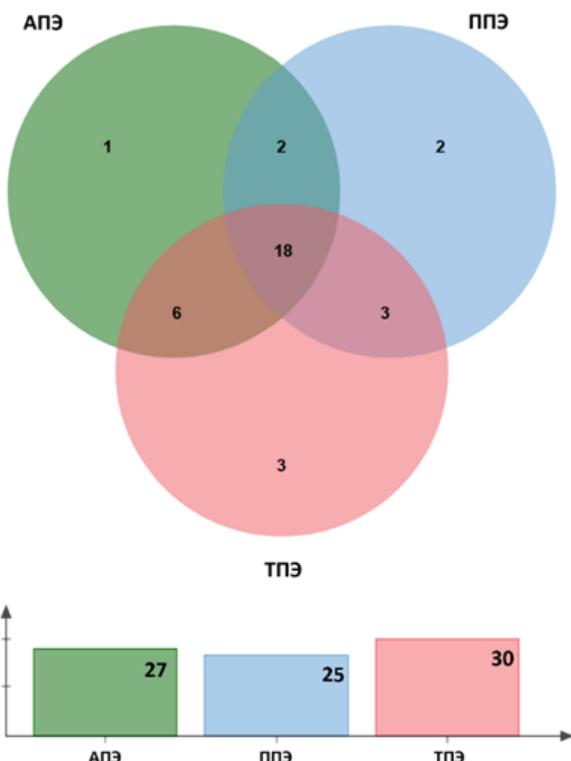


Рис. 3. Диаграмма Венна, отображающая число общих и уникальных семейств в образцах почв: ТПЭ – техносоль, АПЭ – дерново-подзолистая, ППЭ – аллювиальная дерновая почва

Проведенный анализ не только расширил наши знания о региональном разнообразии актинобактерий, но и выделил таксоны с высоким биоиндикационным потенциалом.

Таким образом, несмотря на наличие общего ядра актинобактериальных таксонов, для каждого из исследованных типов почвы выявлен уникальный таксономический профиль на уровне семейств (*Nocardiaceae*, *Promicromonosporaceae*, *Rubrobacteriaceae*, *Sporichthyaceae*), что открывает перспективы для использования их представителей в биоиндикации трансформированных почвенных 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. Torsvik V., Ovreas L. Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems. DOI: 10.1016/S1369-5274(02)00324-7 // Curr. Opin. Microbiol. 2002. Vol. 5. No. 3. P. 240–245.
2. Back to the future of soil metagenomics / J. Nesme, W. Achouak, S. N. Agathos, et al. DOI: 10.3389/fmicb.2016.00073 // Front. Microbiol. 2016. Vol. 7. Article No. 73.
3. Bacterial diversity and potential functions in response to long-term nitrogen fertilizer on the semiarid loess plateau / A. Xu, L. Li, J. Xie, et al. DOI: 10.3390/microorganisms10061248 // Microorganisms. 2022. Vol. 10. No. 8. Article No. 1579.

4. Metagenomic evidence for antibiotic-associated actinomycetes in the Karamay Gobi region / S. Yang, W. Zhang, B. Yang, et al. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1330880 // Front. Microbiol. 2024. Vol. 15. Article No. 1330880.

5. 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 // Nature Biotechnology. 2019. Vol. 37. P. 852–857.

6. Ryan M. C., Stucky M., Wakefield C. Interactive Clustered Heat Map Builder: An easy web-based tool for creating sophisticated clustered heat maps. DOI: 10.12688/f1000research.20590.2 // F1000Research. 2019. Vol. 8. Article No. 1750.

7. InteractiVenn: a web-based tool for the analysis of sets through Venn diagrams / H. Heberle, G. V. Meirelles, F. R. da Silva, et al. DOI: 10.1186/s12859-015-0611-3 // BMC Bioinformatics. 2015. Vol. 16. Article No. 169.

ПОЧВЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ И ЦИАНОБАКТЕРИИ НЕМДИНСКОГО КОМПЛЕКСА

Л. В. Кондакова^{1, 2}, Т. Я. Ашихмина^{1, 2}

¹ Вятский государственный университет, ecolab2@gmail.com,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Приведены первые сведения о видовом составе почвенных водорослей и цианобактерий Немдинского участка государственного природного заказника «Пижемский». На территории Немдинского комплекса было выявлено 56 видов почвенных микрофототрофов, в том числе: Cyanobacteria – 28 (50%); Chlorophyta – 17 (30,3%); Xanthophyta – 6 (10,7%); Bacillariophyta – 5 (9,1%).

Ключевые слова: водоросли, цианобактерии, микрофототрофы, альгоцианофлора, Немдинский комплекс.

Немдинский комплекс находится в Советском районе Кировской области на правом коренном берегу р. Немды. Благодаря выходам на поверхность пермских рифовых известняков сформировался необычный для равнинной территории скальный ландшафт. В настоящее время эта территория является частью государственного природного заказника «Пижемский». Немдинский участок расположен в полосе южнотаежных лесов. Почвенный покров представлен дерново-слабоподзолистыми и среднеподзолистыми почвами суглинистыми и глинистыми. Коренной растительностью являются елово-пихтовые и пихтово-еловые сложные леса с подлеском из липы и бересклета с участием липы, ильма, клена остролистного. Флористическая насыщенность комплекса высока 39% флоры Кировской области – 571 вид сосудистых растений [1].

Альгоцианофлора данной территории не изучалась. Согласно литературным данным, систематический состав группировок водорослей и ЦБ, обитающих на поверхности обнаженных скал, разнообразный. Развиваются диатомовые и некоторые одноклеточные зеленые водоросли, но наиболее обычны ЦБ. Они образуют наскальные пленки и корочки. Условия существования

водорослей и ЦБ этих сообществ своеобразны, и характеризуются частой и резкой сменой влажности и температуры [2].

Отбор проб для изучения почвенных фототрофных микроорганизмов проводился в сентябре 2024 года с соблюдением микробиологических требований к отбору проб [3]. Пробы отбирались в микроэкотопах: с камней, имеющих налеты с изменением цвета, корней сосны, почвы у водопада (слой 0–3 см), подушки мха с вертикальной стеной водопада. Проведено первичное исследование альгоцианофлоры. Изучение видового состава проводилось методами прямого микроскопирования свежесобранного материала и постановкой водных культур на среде Бристоль в модификации М. М. Голлербаха [4]. Определение видового состава проводили с использованием отечественных и зарубежных определителей.

На территории Немдинского комплекса было выявлено 56 видов почвенных микрофототрофов, в том числе: Cyanobacteria – 28 (50%); Chlorophyta – 17 (30,3%); Xanthophyta – 6 (10,7%); Bacillariophyta – 5 (9,1%) (табл.)

Таблица

Таксономический состав альгоцианофлоры мироэкотопов Немдинского комплекса (1 – число видов; 2 – процент)

Таксоны / микроэкотопы	С камней		С корней сосны		Почва у водопада		Мох у водопада	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Cyanobacteria	9	47	12	52	10	38	19	86
Chlorophyta	6	32	6	26	10	38	2	9
Xanthophyta	3	16	1	4	3	11	0	0
Bacillariophyta	1	5	4	17	3	11	1	5
Всего видов	19	100	23	100	26	100	22	100

ЦБ составляют 50% (28 видов) общего видового разнообразия выявленных видов. Из них отмечено 9 видов азотфикссирующих ЦБ: *Calothrix brevissima*, *Calothrix elenkinii*, *Hapalosiphon fontinalis*, *Nostoc punctiforme*, *Nostoc microscopicum*, *Nostoc linckia*. *f. linckia*, *Nostoc linckia*. *f. muscorum*, *Nostoc paludosum*, *Tolyphothrix tenuis*. Благодаря способности к усвоению свободного азота атмосферы при оксигенном фотосинтезе представители ЦБ вегетируют в условиях, непригодных для развития эукариот. Они селятся на бесплодных субстратах и участвуют в формировании первичных почв. В результате их жизнедеятельности изменяется химизм окружающей среды. Безгетероцистные ЦБ представлены видами родов: *Leptolyngbya*, *Phormidium*, *Oscillatoria*, *Plectonema*, *Pseudanabaena*, *Microcoleus*, *Schizothrix*. В рассмотренных экотопах наиболее богатое сообщество ЦБ отмечено на моховой подушке Береснятского водопада – 19 видов.

Разнообразие выявленных зеленых водорослей невелико – 17 видов. Большее число видов (10) отмечено на почве у водопада: *Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum infusionum*, *Chloroplana terricola*, *Chlorosarcinopsis minor*, *Closterium aciculare*, *Gloeocystis polydermatica*, *Follicularia paradoxalis*, *Pseudococcomyxa simplex*, *Klebsormidium flaccidum*, *Kl. nitens*, *Stichococcus minor*,

Tetracystis aggregate. Наименьшее число видов зеленых водорослей отмечено на моховой подушке (*Closterium aciculare*, *Pseudococcotuxa simplex*). Из отдела Bacillariophyta встречены *Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia borealis*, *Luticola mutica*, *L.nivalis*, *Nitzschia palea*. Данные виды диатомовых водорослей достаточно широко распространены в почвах региона.

Богатое сообщество микрофототрофов развивается на корнях сосны обыкновенной. В данной эконише было выявлено 23 вида микрофототрофов. ЦБ были представлены 12 видами: *Calothrix brevissima*, *Calothrix elenkinii*, *Nostoc paludosum*, *Nostoc punctiforme*, *Nostoc linckia f. muscorum*, *Leptolyngbya angustissima*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Phormidium splendidum*, *Phormidium animale*, *Phormidium boryanum*, *Phormidium jadinianum*. Представители Chlorophyta (6 видов): *Chlamydomonas gloeogama*, *Chlorococcum infusionum*, *Follicularia paradoxalis*, *Tetracystis aggregate*, *Stichococcus minor*, *Pseudococcotuxa simplex*. Из отдела Xanthophyta отмечен один вид *Bumilleriopsis brevis*, из отдела Bacillariophyta четыре вида: *Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia borealis*, *Luticola mutica*, *L. nivalis*.

Сообщество моховой подушки представлено 19 видами ЦБ. Отдельные виды ЦБ были отмеченные только в данном микросообществе: *Leptolyngbya henningsii*, *Microcoleus vaginatus*, *Nostoc linckia f. linckia*, *Oscillatoria limosa*, *Phormidium formosum*, *Ph. uncinatum*, *Ph. inundatum*, *Plectonema boryana*, *Schizothrix friesii*. Единично отмечены представители отделов: Chlorophyta (*Pseudococcotuxa simplex*, *Closterium aciculare*) и Bacillariophyta (*Nitzschia palea*).

Первые данные видового состава альгоцианофлоры Немдинского комплекса показали богатство и своеобразие фототрофной микрофлоры этого уникального природного уголка и необходимость изучения его фототрофных микроорганизмов.

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. Тарасова Е. М. Флора Государственного природного заказника «Пижемский». Часть 1. Немдинский комплекс. Киров, 2007. 192 с.
2. Водоросли. Справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк и др. Киев : Наук. думка. 1989. 608 с.
3. Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. М. : Наука, 1976.
4. Зенова Г. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли : учебное пособие. М. : Изд-во МГУ, 1990. 80 с.

ВИДОВОЙ СОСТАВ ФОТОТРОФОВ И САПРОТРОФНЫЕ ГРУППИРОВКИ ПРИРОДНЫХ БИОПЛЕНОК *NOSTOC COMMUNE*

Л. В. Кондакова^{1, 2}, А. И. Коротких³, Л. И. Домрачева^{1, 3}

¹ Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
ecolab2@gmail.com,

² Вятский государственный университет,

³ Вятский государственный агротехнологический университет,
nt-flora@rambler.ru

Определён видовой состав фототрофного альго-цианобактериального природного комплекса биоплёнок *Nostoc commune*. Выявлено 9 видов водорослей и цианобактерий, в том числе 3 вида гетероцистных и 4 вида безгетероцистных цианобактерий, 2 вида зелёных водорослей. Групповой состав и количественный учёт сапротрофных микроорганизмов, входящих в состав биоплёнок, показал преобладание аммонифицирующей группы бактерий. Структурно-функциональная организация биоплёнок в современных неблагоприятных экологических условиях может играть важную идентификационную и биодиагностическую роль.

Ключевые слова: природные биоплёнки, фототрофы, сапротрофы, альго-цианобактериальный комплекс.

Биоплёнки *Nostoc commune* являются природными структурированными сообществами, объединяющими фототрофные и сапротрофные виды микроорганизмов и обладающими космополитичным распространением.

В структурно-функциональной организации биоплёнок интегрирующим компонентом служит внеклеточный матрикс, а также мицелиальные нитчатые формы микроорганизмов, которые обеспечивают жизнеспособность и координированную работу полиморфных многоклеточных популяций. Предполагают, что сходство химического состава межклеточного колониального матрикса биоплёнок с межклеточным матриксом животных обусловливает и аналогию их функций – в частности, в организации межклеточного транспорта метаболитов [1–3]. Экологические особенности *N. commune* во многом определяются средообразующей ролью в многовидовых альго-цианобактериальных ценозах, которые включают разнообразные гетеротрофные микроорганизмы. Совокупная организация биоплёнок гарантирует физиологическую и функциональную стабильность, что, в свою очередь, обеспечивает успешную конкурентную стратегию в пределах экологической ниши.

Сложный механизм взаимоотношений между микроорганизмами в биоплёнках обусловливает их уникальность и открывает перспективы для применения в агробиотехнологии. В частности, биоплёнки демонстрируют устойчивость к широкому спектру стрессовых факторов, таких как засушли-

вые климатические условия, воздействие поллютантов и патогенных микроорганизмов [4–8].

Цель работы – изучение видового фототрофного и группового состава и количества сапротрофов природного комплекса биоплёнок *Nostoc commune*.

Природные биоплёнки *N. commune* были собраны в сентябре 2025 г. вдоль обочины шоссейной дороги на окраине г. Дзержинска Нижегородской области вблизи п. Пушкино у соснового бора. Биоплёнки были локализованы на песчано-подзолистой почве, почвенный покров не сомкнут (40–50%). Определение видового состава альго-цианобактериальной микрофлоры проводили прямым микроскопированием биоплёнок и постановкой чашечных и водных культур. Численность сапротрофного комплекса определяли чашечным методом Коха путём приготовления ряда последовательных разведений с последующим высеиванием на агаризованные элективные среды в чашки Петри глубинным способом: ГРМ-агар для аммонификаторов, Чапека – для микромицетов, Эшби – для азотфиксаторов, крахмало-аммиачный агар – для актиномицетов.

Видовой анализ альго-цианобактериальной микрофлоры биоплёнок *N. commune* выявил 9 видов водорослей и цианобактерий, в том числе 3 вида гетероцистных (ГЦ) цианобактерий, 4 вида безгетероцистных (БГЦ) цианобактерий и 2 вида зелёных водорослей (табл. 1). Не были обнаружены нитчатые зеленые и охрофитовые водоросли, чувствительные к загрязнению среды. Причиной этого могли быть погодные условия и экологическое состояние данной территории. Поток автотранспорта на данном участке значительно возрос, усилился антропогенный пресс.

Таблица 1

Видовой состав фототрофов биоплёнок *Nostoc commune*

Группы фототрофов	Виды
Гетероцистные (ГЦ) цианобактерии	1. <i>Nostoc commune</i> 2. <i>Nostoc punctiforme</i> 3. <i>Calothrix elenkinii</i>
Безгетероцистные (БГЦ) цианобактерии	4. <i>Phormidium autumnale</i> 5. <i>Ph. boryanum</i> 6. <i>Leptolyngbya angustissima</i> 7. <i>L. foveolarum</i>
Одноклеточные зелёные водоросли	8. <i>Clorella vulgaris</i> 9. <i>Chlorococcum</i> sp.

При микроскопировании биоплёнок было отмечено высокое обилие грибов рода *Fusarium*, нематод, простейших, что привело к быстрой деструкции биоплёнок. В чашечной культуре происходило быстрое их разрушение.

В структуре биоплёнок преобладающим по количеству видов являются безгетероцистные цианобактерии, на долю которых приходится 44% (рис. 1).

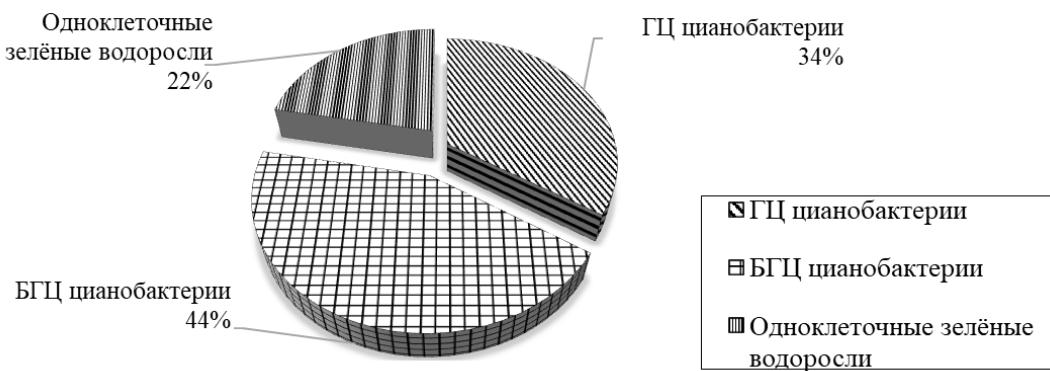


Рис. 1. Долевое соотношение групп фототрофного комплекса биоплёнок *Nostoc commune*, %

Определение численности сапротрофных микроорганизмов в составе биоплёнок показало преобладание аммонифицирующих видов микроорганизмов ($583,3 \cdot 10^4$ КОЕ/г) (табл. 2). Их численное превосходство над другими группами микроорганизмов может свидетельствовать об активной вспомогательной функции в процессах разложения отмерших клеток сапротрофов и фототрофов представителей.

Таблица 2

Численность гетеротрофных микроорганизмов в составе биоплёнок *Nostoc commune* (КОЕ/г · 10^4)

Группа микроорганизмов	Общее микробное число
Аммонификаторы	$583,3 \pm 90,7$
Азотфиксаторы	$168,3 \pm 20,2$
Актиномицеты	$158,3 \pm 35,0$
Микромицеты	$141,6 \pm 12,1$

В структуре сапротрофных микроорганизмов доля микромицетов, актиномицетов и азотфиксаторов оказалась практически наравне и суммарно составила 45%, тогда как представительство одной из групп – аммонификаторов – составило 55%.

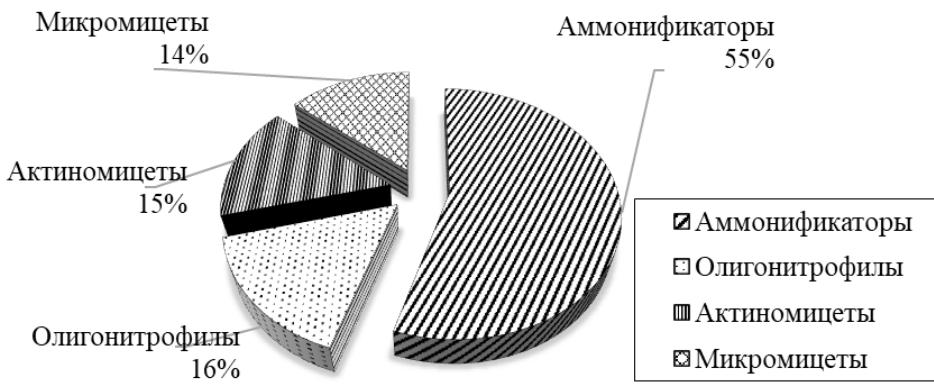


Рис. 2. Структура гетеротрофных микроорганизмов в составе биоплёнок *Nostoc commune*, %

Таким образом, биоплёнки *Nostoc commune* представляют собой уникальный природный феномен, состоящий из структурированного комплекса микроорганизмов различных систематических групп, способный к существованию в течение длительного времени. Благодаря своему многовидовому составу и совокупности свойств в современных неблагоприятных экологических условиях биоплёнки *N. commune* могут играть большую идентификационную и биодиагностическую роль.

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. Биоплёнки *Nostoc commune* – особая микробная сфера / Л. И. Домрачева, Л. В. Кондакова, О. А. Пегушина, А. И. Фокина // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 15–19.
2. Многолетние разрастания на каменистом субстрате / Т. Я. Ашихмина, Л. И. Домрачева, А. И. Коротких и др. DOI: 10.35885/1684-7318-2024-4-399-409 // Поволжский экологический журнал. 2024. № 4. С. 399–409.
3. Donlan R. M. Biofilms: microbial life on surfaces. DOI: 10.3201/eid0809.020063 // Emerging Infectious Diseases. 2002. Vol. 8. No. 9. P. 881–890.
4. 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.
5. Сорбционная активность биоплёнок цианобактерий по отношению к ионам меди(II) / С. Г. Скугорева, Л. И. Домрачева, Г. Я. Кантор, А. И. Фокина // 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. 116–121.
6. Цианобактериальные консорциумы как основа новых эффективных препаратов против фитопатогенов / А. И. Коротких, Л. И. Домрачева, А. Л. Ковина и др. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XV Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф.: Т. 1. Кн. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2020. С. 40–42.
7. Потенциал природных биоплёнок *Nostoc commune* как сорбентов тяжёлых металлов в водной среде / Е. А. Горностаева, А. И. Фокина, Л. В. Кондакова и др. // Вода: химия и экология. 2013. № 1 (55). С. 93–101.
8. Bioaccumulation and biosorption study of heavy metals removal by Cyanobacteria *Nostoc* sp. / I. Rakic, Z. Kevresan, R. Kovač, et al. DOI: 10.2298/CICEQ220511002R // Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly. 2023. Vol. 29. No. 4. P. 291–298.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ТРОФИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЧВЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АГРОЦЕНОЗА

И. И. Концевая, Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев, Д. В. Дайнеко

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,

Республика Беларусь,

ikantsavaya@mail.ru, dajneko@gsu.by, sertimo@mail.ru, daineko.d06@mail.ru

В статье представлена оценка по тестированию в условиях агроценоза влияния микробного препарата Грамисил с применением эколого-трофических индексов почвы.

Ключевые слова: эколого-трофические коэффициенты, микробоценоз почвы, биопрепараты, Грамисил.

В настоящее время при ведении сельского хозяйства, отвечающего современным условиям, все чаще применяются в растениеводстве микробные препараты [1]. Количество таких биопрепаратов, обладающими теми или иными уникальными характеристиками, ценными для интенсификации земледелия, с каждым годом возрастает. Однако разработчиками зачастую не проводится тестирование препаратов в конкретных полевых условиях [2].

Наши более ранние исследования выполнены для оценки влияния микробных препаратов, в частности злаковых культур, в разных типах почвы конкретных агроценозов [3–5]. При разработке программы исследования по проведению оценки состояния плодородия почвы, помимо выбора параметров численности и выявления изменения спектра той или иной группы микробоценоза почвы, всегда включается этап по определению степени обогащенности почвы микроорганизмами и расчету эколого-трофических индексов почвы [6]. Последний аспект позволяет сделать грамотное заключение в вопросе урегулирования плодородия почв как в агроценозах, так и в естественных экосистемах.

В данной работе исследуется влияние разных сроков внесения микробного биопрепарата Грамисил в посевах озимого ячменя на показатели эколого-трофических индексов почвы.

Тестирование выполняли в вегетационный период 2024–2025 гг. на полях агрокомбината «Южный» юго-восточного региона Беларуси. Опыт был заложен на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на посевах озимого ячменя сорта «Буслик». Опытные варианты в эксперименте обрабатывали биопрепаратором Грамисил, характеристика которого дана в работе [7], в два срока его внесения: 1) в осенний период – в фазу начала кущения; 2) в весенний период – в фазу кущения; с нормой расхода биопрепарата, равной 3 л/га. Отбор образцов почвы осуществляли по фазам роста и развития озимого ячменя: кущения, колошения, полная спелость.

Микробиологическое исследование почвы проводили согласно общепринятым в почвенной микробиологии методам [8]. Оценку состава и спектра микробного сообщества оценивали по эколого-трофическим коэффициентам и индексам: коэффициенту минерализации-иммобилизации Мишустина, индексу олиготрофности Аристовской, коэффициенту педотрофности Никитина [6]. Полученные в опыте данные подвергали статистической обработке с применением программы Excel 2016.

При изучении контрольного образца почвы на всех этапах ее отбора отмечено в большей или меньшей степени доминирование иммобилизационных процессов, о чем свидетельствуют значения коэффициента минерализации, колеблющиеся в пределах 1,2–2,0 (рис. 1). При осеннем внесении препарата Грамисил для опытных образцов почвы, отобранных в фазы кущения и колошения, установлена интенсификация иммобилизационных процессов по сравнению с контролем, соответственно, коэффициент минерализации равен 1,5–1,7 и 1,2. В тоже время для образцов, отобранных в фазе полной спелости, отмечали, что при обработке Грамисилом процессы минерализации и иммобилизации осуществляются с равной скоростью, на это указывает значение коэффициента минерализации, равное 1,1. При весеннем внесении биопрепарата для образцов почвы, отобранных в фазы колошения и полной спелости, фиксировали результаты, противоположные полученным при осеннем сроке внесения Грамисила (рис. 1).

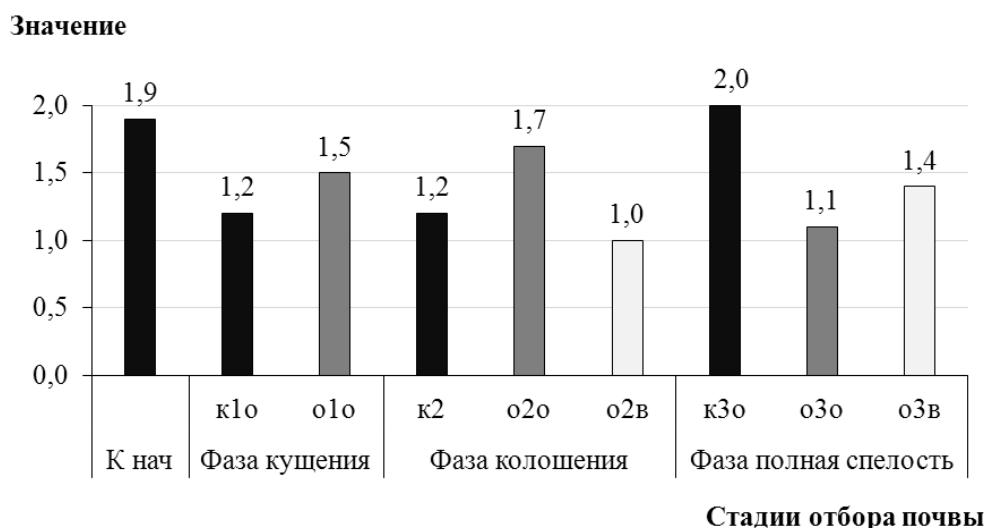


Рис. 1. Коэффициент минерализации и иммобилизации.
Здесь и далее на рис. 2, 3: к – контроль; о – опыт; о – осеннее
внесение биопрепарата; в – весенне внесение биопрепарата

Коэффициент минерализации позволяет установить степень развития амилолитической микрофлоры, которая отвечает за разложение соединений из группы олигосахаридов и крахмала, и аммонифицирующей части микрофлоры почвы, которая контролирует процесс разложения азотсодержащего органического вещества почвы (КАА/МПА, крахмало-аммиачный агар/мясопептонный агар). По доминированию одной из указанных физиоло-

гических групп микроорганизмов в первую очередь определяют интенсивность минерализационных либо иммобилизационных процессов в почве.

Коэффициент олиготрофности рассчитывается как отношение численности микроорганизмов, учтенных на обедненной среде (ГА (голодный агар)), к численности на полноценной среде МПА (мясо-пептонный агар). Он позволяет оценить активность олиготрофной микрофлоры.

Полученные в эксперименте значения коэффициента олиготрофности свидетельствуют о том, что при осеннем внесении препарата в опытных образцах по сравнению с контролем, отобранных в фазу колошения, замедляются процессы деструкции органического вещества, а в фазе колошения, наоборот, повышаются. При весеннем внесении Грамисила значения в опытных и контрольных вариантах сопоставимы: 1,7–2,0 и 1,5–2,2, соответственно (рис. 2). Данный результат указывает, во-первых, на отсутствие негативного действия биопрепарата на процессы превращения органической биомассы, во-вторых, на переход изучаемого агроценоза в более устойчивое состояние к концу вегетационного периода.

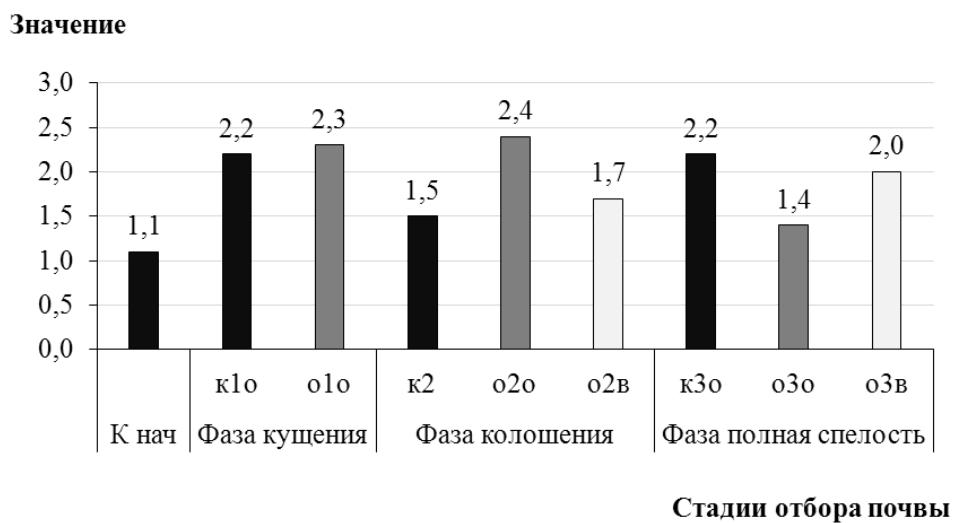


Рис. 2. Коэффициент олиготрофности Аристовской

Коэффициент педотрофности Никитина (НА/МПА, нитритный агар/мясо-пептонный агар) позволяет оценить уровень развития микроорганизмов автохтонной части изучаемого агроценоза, участвующих в производстве гумусовых соединений.

Внесение Грамисила в осенний период приводит к постепенному снижению интенсивности процессов разложения, трансформации и синтеза гумуса по мере развития вегетационного периода. Обработка тестируемым биопрепаратором в весенний период при отборе почвы на стадии колошения показывает низкую скорость гумификации, на стадии полная спелость – активное производство гумусовых соединений почвы (рис. 3), соответственно, значения коэффициента педотрофности равны 0,6 и 2,2.

Значение

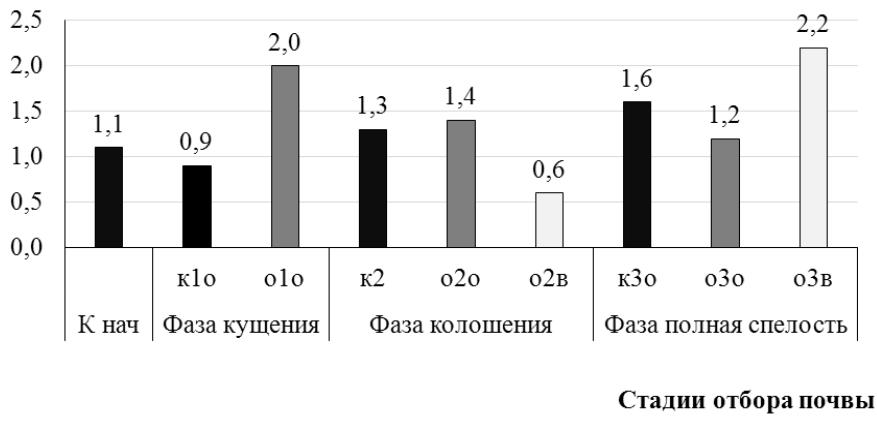


Рис. 3. Коэффициент педотрофности Никитина

Таким образом, использование эколого-трофических коэффициентов позволило установить, что при осеннем внесении Грамисила отмечено снижение устойчивости изучаемого агроценоза к негативным воздействиям по мере развития сроков вегетации. При весеннем внесении биопрепарата в конце вегетации биогеоценоз в большей степени приближен к естественным ценозам изучаемой почвенно-климатической зоны по сравнению контрольным вариантом и вторым опытным вариантом.

Библиографический список

1. Timofeeva A., Galyamova M., Sedykh S. Prospects for using phosphate-solubilizing microorganisms as natural fertilizers in agriculture. DOI: 10.3390/plants11162119 // Plants. 2022. Vol. 11. Article No. 2119.
2. Trends in soil microbial inoculants research: a science mapping approach to unravel strengths and weaknesses of their application / L. Canfora, C. Costa, F. Pallottino, S. Mocali. DOI: 10.3390/agriculture11020158 // Agriculture. 2021. Vol. 11. No. 2. Article No. 158.
3. Влияние инокулянта «Ресойлер» на взаимоотношения основных эколого-трофических групп микроорганизмов в посевах озимой ржи / И. И. Концевая, Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев, Т. А. Медведская // Известия ГГУ имени Ф. Скорины. 2023. № 6. С. 28–34.
4. Влияние биопрепарата «Полибакт» на особенности взаимоотношений основных эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов в посевах ярового ячменя / И. И. Концевая, Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев, В. О. Красных // Веснік Мазырскага дзяржаўнага педагогічнага ўніверсітэта імя І. П. Шамякіна. 2023. № 1 (61). С. 15–21.
5. Влияние микробного препарата ПолиФунКур на агрономически полезные группы микроорганизмов почвы в посевах кукурузы / И. И. Концевая, Н. М. Дайнеко, К. О. Заблицкий, А. В. Минина // Бюллентень науки и практики. 2018. Т. 4. № 9. С. 96–102.
6. Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. Н. Новгород : Нижегород. с.-х. акад., 2012. 192 с.
7. Препарат микробный «Грамисил» [Электронный ресурс]. – URL: <https://pesticidy.by/mikrobiologicheskie-udobreniya/preparat-mikrobnyj-gramisil-zh/> (дата обращения: 20.01.2025).
8. Прудникова С. В. Методы микроэкологического исследования наземных, водных и воздушных экосистем. Красноярск : СФУ, 2007. 152 с.

**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
ФИЦ «Пущинский научный центр биологических исследований РАН»
(Институт биохимии и физиологии микроорганизмов
имени Г. К. Скрябина РАН), *kuv@pbcras.ru*

Предложена лабораторная модель кюветного амперометрического биосенсора для оценки влияния солей меди и цинка на дыхательную активность трех штаммов хемолитотрофных ацидофильных бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* различного происхождения.

Ключевые слова: хемолитотрофные ацидофильные бактерии *Acidithiobacillus ferrooxidans*, иммобилизация, кислородный электрод Кларка, сульфат меди, сульфат цинка.

Хемолитотрофные ацидофильные бактерии *Acidithiobacillus ferrooxidans* широко используются для выщелачивания ценных металлов из минерального сырья [1]. Бактерии *A. ferrooxidans* растут при pH ниже 3,0. Накопление их биомассы происходит медленно, так как она образуется из карбонатных форм углерода, содержание которых в кислой среде низко. Потребление кислорода бактериями может служить не только показателем использования субстрата, но и общим показателем активности. Существующие методы экспресс-оценки токсичности имеют свои ограничения. Широкое применение нашли биосенсоры на основе целых клеток микроорганизмов [2]. Воздействие загрязняющих веществ на микроорганизмы приводит к изменению их дыхательной активности, что может использоваться для оценки токсичности. В частности, представляется возможным оценить переносимые бактериями концентрации токсикантов. Бактериальное выщелачивание металлов – это процесс извлечения металлов из руд с помощью микроорганизмов. Критерием отбора выщелачивающих штаммов является степень резистентности к токсикантам, в данном случае, к сульфатам меди и цинка.

Целью работы являлась применение амперометрического метода оценки влияния солей меди и цинка на дыхательную активность штаммов хемолитотрофных ацидофильных бактерий *A. ferrooxidans* различного происхождения.

В работе использовали три штамма *A. ferrooxidans*, различных по исходным экосистемам обитания. Штамм ВКМ В-3655 выделен из сульфидной арсено-пиритной руды, республика Казахстан; штамм ВКМ В-3906 выделен из силикатной латеритной железо-никелевой руды, Оренбургская область, Россия [3] и хемолитотрофный ацидофильный штамм *A. ferrooxidans* Тио 1,

выделен нами из подотвальных вод халкопиритной руды г. Оренбург, Оренбургская область, Россия.

Для получения биомассы бактерии культивировали на модифицированной среде Сильвермана-Лундгрена 9К [4], содержащей следующие компоненты (г/л): $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 3, KCl – 0,1, K_2HPO_4 – 0,5, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – 0,01, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 18,0, 10 н. H_2SO_4 – 4,5 мл/л. Культивирование проводили при 28°C в стационарном режиме в течение 4–5 суток. Клеточную суспензию бактерий *A. ferrooxidans* BKM B-3655, BKM B-3906 и Тио 1 центрифугировали при 12000 g в течение 3 мин при комнатной температуре, дважды отмывали буферным раствором (рН 2,2) состава, г/л: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 3,0, KCl – 0,1, K_2HPO_4 – 0,5, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – 0,01 (рН 2,2). Затем 5 мг сырой биомассы, сконцентрированной в 10 мкл буферного раствора (рН 2,2), наносили на хроматографическую стеклобумагу («Whatman GF/A», Великобритания), формируя пятно диаметром 3,0 мм. Подсушивали при комнатной температуре в течение 20 мин. Биорецептор, который получили, фиксировали на измерительной поверхности кислородного электрода типа Кларка (Кронас, Москва, Россия) с помощью нейлоновой сетки. Измерения проводили в открытой кювете объёмом 2,0 мл с буферным раствором рН 2,2. Проверяли воздействие 5 концентраций сульфата меди (мМ в кювете) 0,79; 1,58; 3,15; 6,30; 12,60 и 5 концентраций сульфата цинка: 0,78; 1,55; 3,10; 6,20 и 12,40. Исследования проходили с помощью потенциостата IPC-Micro (Кронас, Москва, Россия) при комнатной температуре и непрерывном перемешивании. Измерения проводили после того, как устанавливалась базовая величина эндогенного дыхания бактерий, графически отображавшаяся как постоянная линия [5].

Результаты, представленные в таблице, показали, что у трех штаммов *Acidithiobacillus ferrooxidans* реакция на введение в кювету различных концентраций сульфата меди и сульфата цинка оказалась неодинаковая.

Таблица

Влияние концентраций сульфата меди и сульфата цинка на снижение дыхательной активности бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*

CuSO_4 , мМ	%	ZnSO_4 , мМ	%
Тио 1		Тио 1	
B-3906 3,15	0,50	B-3906 1,55	0,25
B-3655 12,6	2,00	B-3655 3,10	0,50

Как видно из таблицы, для штамма Тио 1 сульфат меди и сульфат цинка даже в больших концентрациях (12,6 мМ и 12,4 мМ, соответственно) из 5-х исследуемых, не снижали дыхательной активности бактерий. По отношению к сульфату меди штаммы расположились в следующем порядке: самый реагирующий штамм оказался B-3906 (3,15 мМ), B-3655 только с 12,60 мМ. По отношению к сульфату цинка наблюдалась реакция штаммов при концентрациях. Для штамма *A. ferrooxidans* B-3906 снижение дыхания наблюдалось уже с концентрации 1,55 мМ, а для штамма *A. ferrooxidans* B-3655 с 3,10 мМ.

Для штамма *A. ferrooxidans* B-3906 сульфат цинка более токсичен по сравнению с сульфатом меди, так, уже при 1,55 мМ сульфата цинка снижалась дыхательная активность, а для сульфата меди только при 3,15 мМ, то есть в 2 раза при больших концентрациях. Для штамма *A. ferrooxidans* B-3655 аналогичная тенденция при 3,10 мМ сульфата цинка наблюдалось снижение дыхательной активности, в то время как для сульфата меди только при 12,60 мМ, то есть в 4 раза при большей концентрации.

Полученные результаты показали, что бактерии, выделенные из разных мест обитания, имеют различную резистентность к тяжелым металлам, в частности, к сульфатам меди и цинку. Причина устойчивости к меди трех штаммов одного и того же ацидофильного микроорганизма может быть определена небольшими различиями в их геномах, вызванными генетическим обменом. Эти межпопуляционные взаимодействия могут не только приводить к изменениям в способности бактерий адаптироваться к окружающей среде, но и способствовать отбору микроорганизмов для улучшения промышленных биодобывающих операций. Современные знания показывают, что ключевыми элементами,участвующими в устойчивости к металлам у микроорганизмов окружающей среды, по-видимому, являются широкий репертуар известных детерминант устойчивости к металлам [6–8]. Характеристика факторов устойчивости к металлам не только поможет нам понять механизмы, которые ацидофильные биовыщелачивающие микроорганизмы используют для адаптации к экстремальным условиям, но и, в конечном итоге, позволит усовершенствовать процессы биодобычи или биоремедиации металлов.

Потребление кислорода позволяет регистрировать дыхательный ответ бактерий на внешнее воздействие – внесение токсикантов, и рекомендовать амперометрический метод с использованием электрода типа Кларка как экспресс – метод для оценки физиологических свойств микроорганизмов.

Библиографический список

1. *Acidithiobacillus ferrooxidans* and its potential application / S. Zhang, L. Yan, W. Xing, et al. DOI: 10.1007/s00792-018-1024-9 // Extremophiles. 2018. Vol. 22 P. 563–579.
2. Чепкова И. Ф. Амперометрические биосенсоры на основе клеток микроорганизмов для оценки токсичности продукции бытового назначения : спец. 03.01.06 – биотехнология (в т. ч. бионанотехнологии) : дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2012. 142 с.
3. Approaches to improve the bioleaching of arsenopyrite flotation concentrate with *Acidithiobacillus ferrooxidans*: a comparison of two strains of different origin / T. Abashina, A. Yachkula, A. Shaikin, M. Vainshtein. DOI: 10.3390/engproc2024067060 // Eng. Proc. 2024. Vol. 67. No. 1. Article No. 60.
4. 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.
5. *Rhodococcus qingshengii* Gl Mm1 as the basis for a biosensor for determination of the fungicide carbendazim / T. N. Kuvichkina, E. N. Kaparullina, N. V. Doronina, A. N. Reshetilov. DOI: 10.1134/S0026261723604062 // Microbiology. 2024. Vol. 93. P. 160–162.
6. Хомченкова А. С. Исследование влияния различных концентраций солей тяжелых металлов на рост культуры ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № S31. С. 217–222.

7. Navarro C. A., Bernath D., Jerez C. A. Heavy metal resistance strategies of acidophilic bacteria and their acquisition: importance for biomining and bioremediation // Biological Research. 2013. Vol. 46. P. 363–371.

8. *Acidithiobacillus ferrooxidans* metabolism: from genome sequence to industrial applications / J. Valdés, I. Pedrosa, R. Quatrini, et al. DOI: 10.1186/1471-2164-9-597 // BMC Genomics. 2008. Vol. 9. Article No. 597.

МИКРОБИОМ МОЛЛЮСКА *ANADARA KAGOSHIMENSIS* КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ГЕНАМИ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТИБИОТИКАМ

О. Д. Лановая, А. Е. Полиниченко, Л. Е. Хмелевцова, И. С. Сазыкин
Южный федеральный университет, *lanovaia@sfedu.ru*

В работе представлены данные наличия и распространения генов устойчивости к антибиотикам и тяжелым металлам у бактерий, обитающих в жабрах и кишечнике *Anadara kagoshimensis*. Моллюски были отобраны в Таганрогском заливе Азовского моря в сентябре 2024 года в 7 точках. Методом ПЦР в реальном времени были исследованы 11 генов резистентности к антибиотикам (*aadA2*, *vanB*, *ermB*, *trpA*, *MecA*, *sul2*, *tetO*, *blaCTX-M*, *blaVIM*, *blaNDM*, *qnrS*) и 2 гена устойчивости к металлам (*merE*, *zntA*). Были выявлены различия в профиле генов резистентности между микробиомом жабр и кишечника: жабры характеризуются большим разнообразием и количественным содержанием большинства генов, тогда как в кишечнике их спектр ниже. Кроме того, в некоторых точках были обнаружены гены устойчивости к антибиотикам второй линии (*ermB*, *trpA*, *qnrS*), что свидетельствует о высокой антропогенной нагрузке в Таганрогском заливе.

Ключевые слова: биоиндикация, биотестирование, гены резистентности к антибиотикам, Азовское море, экологический мониторинг.

Распространение генов резистентности к антибиотикам (АРГ) и металлам (МРГ) является глобальной мировой проблемой. АРГ придают бактериям устойчивость к различным классам антибиотиков, что приводит к неэффективности антибактериальной терапии и увеличению смертности от бактериальных заболеваний [1]. Гены устойчивости к металлам являются индикатором загрязнения водной среды, а также, благодаря схожему механизму, помимо металлов способны перекрестно обеспечивать устойчивость и к ряду антибиотиков [2]. Эти гены часто ко-локализуются на общих мобильных генетических элементах и распространяются среди бактерий совместно.

Из-за широкого использования антибиотиков и зачастую отсутствия систем очистки сточных вод [3] часть антибиотиков попадает в водные экосистемы в биологически активной форме, вызывая распространение АРГ среди бактерий, обитающих в толще воды и бактерий, ассоциированных с водными животными.

Двустворчатые моллюски, являясь фильтраторами, способны аккумулировать в себе загрязнители из воды, а также поглощать и бактерии, находящиеся на поверхности взвешенных частиц [4]. Это приводит к увеличению количества бактерий, несущих АРГ, в микробиоме моллюсков, и делает их идеальными индикаторами наличия АРГ в водной среде.

В этом исследовании модельным объектом выступает *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) – Анадара неравностворчатая. *Anadara kagoshimensis* – это морской двустворчатый моллюск, употребляемый в пищу, из-за чего возможна передача АРГ и МРГ из микробиома моллюска в микробиом кишечника человека.

Для оценки наличия исследуемых генов из жабр и кишечника моллюсков была выделена метагеномная ДНК, которая затем при помощи ПЦР в реальном времени исследована на предмет содержания АРГ и МРГ. В данной работе были изучены 11 генов резистентности к антибиотикам (гены устойчивости к аминогликозидам *aadA2*, ванкомицину *vanB*, макролидам *ermB* и *trphA*, метициллину *MecA*, сульфонамидам *sul2*, тетрациклином *tetO*, цефалоспоринам и монобактамам *blaCTX-M*, карбопенемам *blaVIM*, бета-лактамам *blaNDM*, фторхинолонам *qnrS* и 2 к металлам (гены устойчивости к ртути *merE*, цинку, кадмию и свинцу *zntA*).

Наиболее распространеными были гены устойчивости аминогликозидам (*aadA2*), цефалоспоринам *blaCTX-M* и метициллину *MecA*. Среди МРГ распространены оба исследуемых гена *merE*, *zntA* (рис.).

В ходе исследования была обнаружена разница между микробиомом жабр и кишечника. В микробиоме жабр более широкий профиль и высокая концентрация обнаруженных генов, тогда как в кишечнике исследуемые гены встречаются реже (табл.). Разный спектр генов свидетельствует о различных механизмах поступления и накопления АРГ в ткани.

Так, для генов *aadA2* и *blaCTX-M* характерна высокая статистически значимая разница, как в распространённости генов, так и в их концентрации: оба этих показателя в микробиоме жабр значительно выше. Ряд генов (*vanB*, *trphA*, *tetO*, *blaNDM*, *blaVIM*) были обнаружены только в жабрах. Микробиом кишечника демонстрирует присутствием гена *qnrS*, а также повышенным содержанием *merE* и *MecA*, что отличает его от профиля жабр.

Стоит отметить, что в ходе работы были также обнаружены гены устойчивости к «резервным» антибиотикам второй линии (*ermB*, *trphA*, *qnrS*), что говорит о высокой антропогенной нагрузке на Таганрогский залив. Эти гены были обнаружены в относительно невысоких концентрациях, и содержались только в микробиоме жабр, что свидетельствует о том, что микробиом жабр более склонен к накоплению АРГ (вероятно, из-за особенностей строения жабр и непосредственного контакта бактерий жабр с окружающей средой).

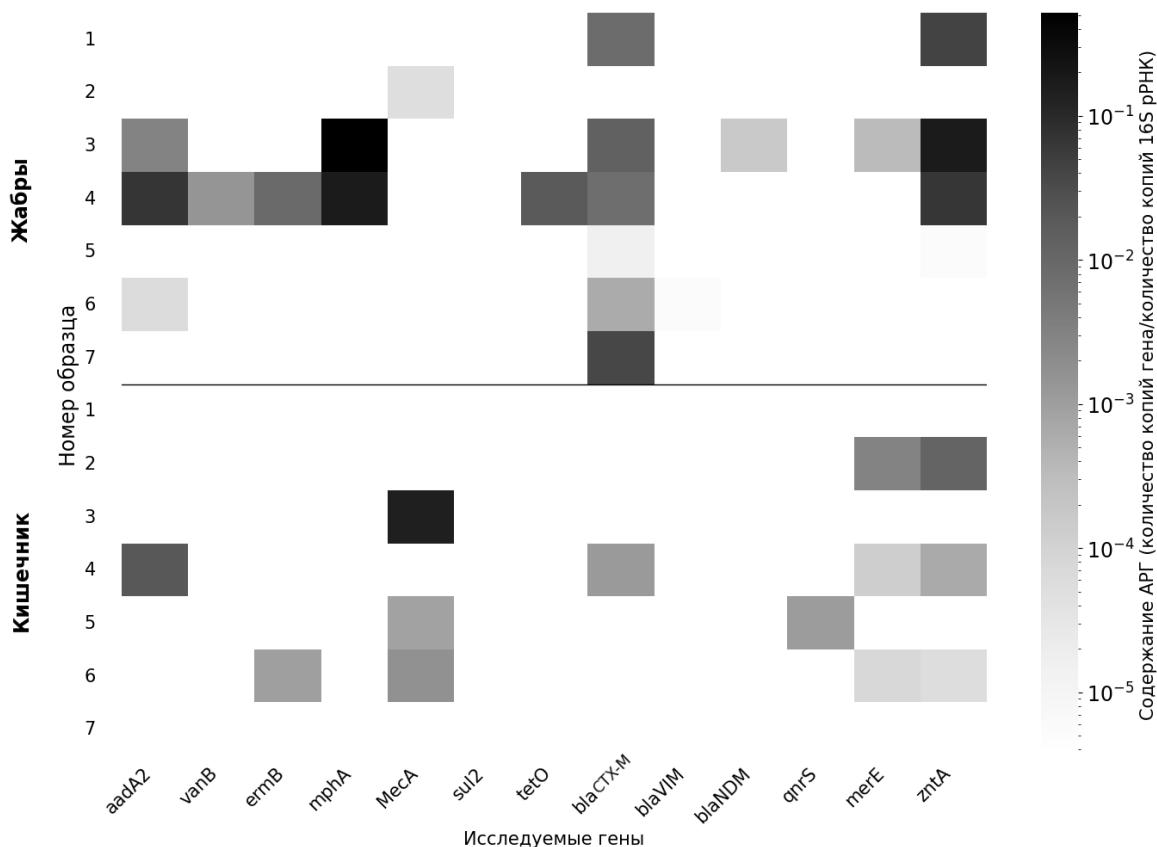


Рис. Содержание АРГ в образцах тканей *Anadara kagoshimensis*

Таблица

Среднее содержание исследуемых генов в микробиоме жабр и кишечника

Ген	Целевой антибиотик/металл	Среднее содержание в микробиоме жабр	Среднее содержание в микробиоме кишечника
<i>aada2</i>	Аминогликозиды	$1,9 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-2}$
<i>vanB</i>	Ванкцомицин	$1,4 \times 10^{-3}$	—
<i>ermB</i>	Макролиды	$8,9 \times 10^{-3}$	$9,9 \times 10^{-4}$
<i>mphA</i>	Макролиды	$3,5 \times 10^{-1}$	—
<i>MecA</i>	Метициллин	$5,2 \times 10^{-5}$	$3,8 \times 10^{-2}$
<i>sul2</i>	Сальфонамиды	—	—
<i>tetO</i>	Тетрациклины	$1,9 \times 10^{-2}$	—
<i>blaCTX-M</i>	Цефалоспорины и монобактамы	$9,9 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$
<i>blaVIM</i>	Карбопенемы	$5,5 \times 10^{-6}$	—
<i>blaNDM</i>	Большинство β -лактамов	$1,7 \times 10^{-4}$	—
<i>qnrS</i>	Фторхинолоны	—	$1,1 \times 10^{-3}$
<i>merE</i>	Ртуть	$3,3 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-3}$
<i>zntA</i>	Цинк, кадмий, свинец	$7,1 \times 10^{-2}$	$4,1 \times 10^{-3}$

Примечание: прочерк обозначает, что исследуемый ген не был обнаружен.

Основываясь на полученных данных, можно говорить о тканеспецифичности накопления генов. Микробиота жабр является резервуаром генов устойчивости к макролидам (*mphA*), β -лактамам (*blaCTX-M*, *blaNDM*, *blaVIM*) и тяжелым металлам (*zntA*), тогда как кишечник повышенным содержанием

генов к метициллину (*Meca*) и хинолонам (*qnrS*). Таким образом, микробиота моллюсков может быть важным инструментом для мониторинга АРГ и МРГ в водной среде.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FENW-2024-0026.

Библиографический список

1. High throughput screening of antimicrobial resistance genes in Gram-negative seafood bacteria / S. Delannoy, C. Hoffer, R. Youf, et al. DOI: 10.3390/microorganisms10061225 // Microorganisms. 2022. Vol. 10. No. 6. Article No. 1225.
2. Sun F., Xu Z., Fan L. Response of heavy metal and antibiotic resistance genes and related microorganisms to different heavy metals in activated sludge. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113754 // J. Environ. Manag. 2021. Vol. 300. Article No. 113754.
3. Urban wastewater treatment plants as hotspots for the release of antibiotics in the environment: a review / I. Michael, L. Rizzo, C. Mc Ardell, et al. DOI: 10.1016/j.watres.2012.11.027 // Water Res. 2013. Vol. 47. No. 3. P. 957–995.
4. Павленко Л. Ф., Анохина Н. С., Барабашин Т. О. Накопление и выведение углеводородов двустворчатыми моллюсками в зависимости от уровня нефтяного загрязнения донных отложений // Труды АЗНИИРХ. 2023. Т. 4. С. 192–200.

БИОСИНТЕТИЧЕСКИЙ И ГИДРОЛИТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ СТРЕПТОМИЦЕТОВ ИЗ АРИДНЫХ ПОЧВ ГПЗ «ДАГЕСТАНСКИЙ»

A. С. Махлачева

*Вятский государственный университет,
Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, alena.makhlacheva@gmail.ru*

В статье представлена сравнительная характеристика комплексов стрептомицетов, изолированных из трех аридных почв заповедного участка «Сарыкумские барханы», расположенного на границе низменности и горных хребтов Дагестана. Показано, что в исследуемых почвах частота выделения изолятов с бактерицидной активностью выше, чем изолятов с антифунгальным действием. Выявлено, что почти все изоляты, выделенные из исследуемых образцов, обладают способностью разлагать целлюлозу.

Ключевые слова: *Streptomyces*, антифунгальная активность, бактерицидное действие, целлюлозолитическая активность.

Актиномицеты – спорообразующие, грамположительные бактерии, способные к формированию ветвящегося мицелия, типичные представители почвенной микробиоты. В почвах среди культивируемых актиномицетов доминируют актиномицеты рода *Streptomyces* [1].

Актиномицеты являются неотъемлемым компонентом почвенной экосистемы. Они обеспечивают растения элементами минерального питания, производят биологически активные вещества, пополняют запас гидролитиче-

ских ферментов почвы. Особенностью вторичного метаболизма многих видов стрептомицетов является продукция антибиотиков, литических ферментов, фунгистатических веществ, благодаря которым они могут ограничивать численность других микроорганизмов. Экологические функции актиномицетов в почве связаны с разложением растительных полимеров, значительная доля которых представлена целлюлозой [2].

Порядок *Actinomycetales* объединяет в себе виды микроорганизмов, которые, благодаря своим адаптационным способностям, присутствуют в различных экологических нишах. Подобные способности открывают возможности выживания в любых условиях природной среды [3]. Изучение актинобиоты в почвах различных природно-климатических зон позволяет оценить региональный потенциал актиномицетов для использования в современных биотехнологиях.

Почва является тем природным субстратом, из которого актиномицеты выделяются в наибольшем количестве и разнообразии. Особый интерес представляют, в том числе, почвы аридных зон, характеризующиеся дефицитом влаги, высокими показателями температуры и, зачастую, концентрации солей. В условиях аридного климата с полупустынным ландшафтом формируются сообщества почвенных актиномицетов со специфическими свойствами [4].

Цель работы – изучение биосинтетических и гидролитических свойств природных изолятов актиномицетов из аридных почв для оценки их биотехнологического потенциала.

В работе использовали образцы почв, отобранные в осенний период в трех различных биотопах участка «Сарыкумские барханы» Государственного природного заповедника «Дагестанский». Участок расположен в Кумторкалинском районе, в 18 км к северо-западу от г. Махачкалы, у основания северных склонов хребта Нарат-Тюбе, на левом берегу реки Шура-Озень. Образцы почв были отобраны 1) из почвы песчаного бархана, 2) в древесно-кустарниковых зарослях (тополиная роща) и 3) в долине реки с луговой растительностью и разреженными полосами пойменной древесно-кустарниковой растительности (пойма р. Шура-Озень). Перед посевом образцы прогревали при 70 °С в течение 4 ч для ограничения роста немицелиальных бактерий. Посев проводили из разведений почвенных суспензий на казеоглицериновый агар (КГА). Чашки с посевами инкубировали при 28 °С в течение двух недель. Из колоний с признаками, характерными для рода *Streptomyces*, было выделено 30 культур, у которых в дальнейшем определяли антигенистическую и целлюлозолитическую активность.

Антигенистическую активность актиномицетов исследовали методом агаровых блочков. В качестве тест-культур использовали фитопатогенные грибы (*Fusarium culmorum*, *F. oxysporum*, *Alternaria sp.*) и бактерии (*Pseudomonas serotina*, *P. marginata*, *Erwinia rhamontici*) из рабочей коллекции ФАНЦ Северо-Востока. Для получения блочков стрептомицеты выращивали в газонной культуре на овсяном агаре при 28 °С в течение 7 сут. Затем блочки

с бактериальным мицелием (диаметром 5 мм) помещали на поверхность питательной среды, предварительно засеянную тест-культурой фитопатогена. Для выращивания тест-культур грибов использовали картофельный агар, для бактерий – плотную среду RHM. Через 3 сут совместного культивирования измеряли диаметры зон ингибирования роста фитопатогенных грибов и бактерий, по которым судили о степени антагонистической активности исследуемых штаммов.

Для исследования целлюлазной активности проводили тест с Конго красным. Посев штаммов актиномицетов производили уколами в агаризованную среду Гетчинсона с карбоксиметилцеллюлозой. Чашки Петри инкубировали при 28 °С в течение 10 суток. При определении целлюлазной активности поверхность питательной среды заливали 0,1% раствором Конго красного, инкубировали 15 мин при комнатной температуре. Затем раствор красителя сливал и заливали поверхность среды 1М раствором NaCl, инкубировали 10 мин. О ферментативной активности штаммов судили по величине светлой зоны вокруг колоний.

Численность актиномицетов составила более двух миллионов колонии-образующих единиц (КОЕ) в 1 г каждой из исследуемых почв (табл. 1).

Таблица 1

**Количественные показатели актиномицетных комплексов
в почвах разных биотопов на среде КГА**

Биотоп	Количество прокариот, КОЕ/г × 10 ⁶		Доля актиномицетов в прокариотном комплексе, %
	всего	в т. ч. актиномицетов	
Песчаный бархан	1,4±0,5	0,23±0,08	16,4
Тополиная роща	13,5±8,7	2,78±0,34	20,6
Пойма р. Шура-Озень	8,2±2,5	2,29±0,26	27,9

Эти показатели в среднем на 1–2 порядка выше по сравнению с дерново-подзолистыми почвами гумидной зоны [5]. Относительное обилие мицелиальных прокариот в прокариотных комплексах почв исследуемых биотопов практически не отличалось от показателей в дерново-подзолистых почвах и оказалось выше в пойменном биотопе (27,9%), чем в почве тополиной рощи (20,6%) и почве песчаного бархана (16,4%).

Таблица 2

**Встречаемость антагонистов фитопатогенов
в почвенных актиномицетных комплексах трех различных биотопов**

Биотоп	Встречаемость антагонистов, %					
	Грибные тест-культуры			Бактериальные тест-культуры		
	<i>F. culmorum</i>	<i>F. oxysporum</i>	<i>Alternaria</i> sp.	<i>P. serpacia</i>	<i>P. marginata</i>	<i>E. rhaeontici</i>
Песчаный бархан	80	60	90	60	90	50
Тополиная роща	40	30	40	70	60	30
Пойма р. Шура-Озень	70	50	60	100	80	70

Анализ данных, полученных при определении антагонистической активности, показал, что изоляты из почвы песчаного бархана чаще других ингибируют рост фитопатогенных грибов (60–90%), тогда как антибактериальной активностью чаще характеризовались стрептомицеты, выделенные из почвы пойменного биотопа (70–100%). Среди изолятов, полученных из почвы тополиной рощи, встречаемость антагонистов к фитопатогенным грибам (30–40%) и фитопатогенным бактериям (30–70%), была гораздо ниже, чем в двух других исследованных почвах.

Несмотря на то, что изоляты, обладающие антрафунгальным и антибактериальным действием были выделены из всех рассматриваемых почвенных биотопов, сочетание антрафунгальной с антибактериальной активностью обнаружено только у штаммов *Streptomyces* spp. 2Д-6, 3Д-3, 3Д-7.

При изучении гидролитического потенциала изолятов в тесте с Конго красным показано, что большинство (93%) культур способны, в той или иной степени, к разложению целлюлозы. Проведенные исследования показали, что доля целлюлозолитиков в образцах песчаного бархана и почвы тополиной рощи составила 90%. Из почвы пойменного биотопа все изоляты (100%) обладали целлюлозолитической активностью. В соответствии с величиной зон деструкции КМЦ, все изоляты были разделены на группы: с низкой (зона гидролиза менее 20 мм), умеренной (зона гидролиза от 21 до 40 мм) и высокой (зона гидролиза более 40 мм) целлюлозолитической активностью (рис.).

Умеренной активностью (от 21 до 40 мм) в разложении целлюлозы характеризовались в каждом из биотопов 20–22% культур. Доминировали во всех исследуемых почвенных комплексах стрептомицеты с низкой активностью гидролиза целлюлозы (56–80%), но если в пойменном биотопе целлюлозолитики с высокой активностью не были выявлены, то в стрептомицетных комплексах из почв бархана и тополиной рощи таковые составили 10 и 11% соответственно. Такую же долю изолятов, полученных из почв этих биотопов, составили стрептомицеты с отсутствием целлюлозолитической активности.

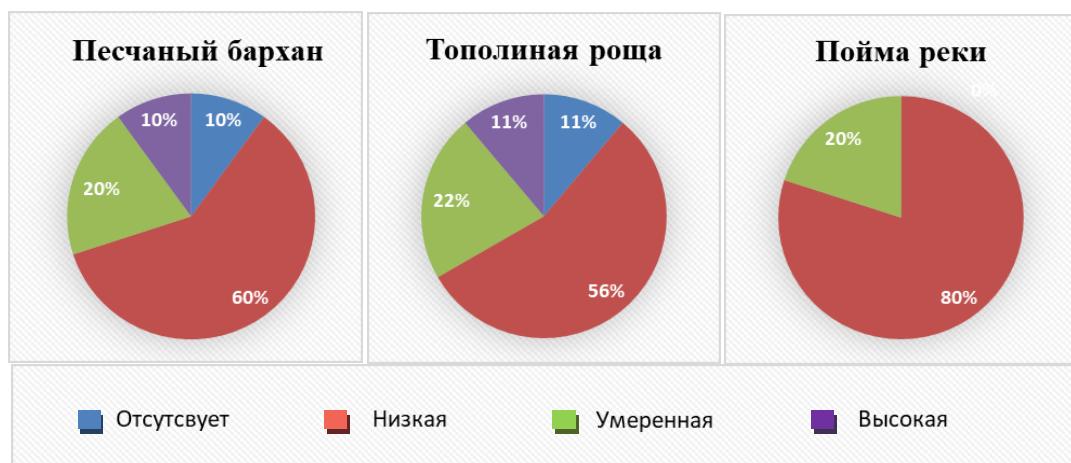


Рис. Долевое соотношение изолятов с различной целлюлозолитической активностью в стрептомицетных комплексах трех различных биотопов

К наиболее перспективным целлюлозолитикам по результатам тестирования отнесены штаммы *Streptomyces* spp. 1Д-4 (41,3 мм), 2Д-8 (44,3 мм), 3Д-10 (41,7 мм).

Таким образом, полученные данные в целом соответствуют ранее имевшимся представлениям об актиномицетах почв аридной зоны [3, 4]. Установлено, что антагонизм к бактериям распространен среди стрептомицетов из почв аридного климата в большей степени, чем антагонизм к грибам, тогда как среди стрептомицетов, изолированных из гумидных почв, напротив, чаще встречаются культуры с антифунгальным действием. Выявлено, что большинство выделенных изолятов из исследуемых образцов аридных почв в разной степени способно разлагать целлюлозу. Изучение противомикробной и целлюлозолитической активности изолятов позволило выявить наиболее перспективные в биотехнологическом отношении штаммы стрептомицетов для использования в защите растений и земледелии.

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

Библиографический список

1. Калакуцкий Л. В., Агре Н. С. Развитие актиномицетов. М. : Наука, 1977. 287 с.
2. Биотехнологический потенциал экстремофильтных актиномицетов для медицины и стратегии его открытия / Л. П. Треножникова, Г. Б. Баймаханова, А. С. Балгимбаева и др. DOI: 10.53729/MV-AS.2021.04.01 // Микробиология и вирусология. 2021. № 4. С. 4–26.
3. Зенова Г. М., Манучарова Н. А., Звягинцев Д. Г. Экстремофильтные и экстремотolerантные актиномицеты в почвах разных типов // Почвоведение. 2011. № 4. С. 457–478.
4. Развитие актиномицетов в бурой полупустынной почве при низком давлении влаги / Д. Г. Звягинцев, Г. М. Зенова, И. И. Судницын и др. // Почвоведение. 2012. № 7. С. 799–806.
5. Фарниев А. Т., Козырев А. Х., Сабанова А. А. Почвенная микробиология. СПб. : Лань, 2024. С. 21.

ДЕЙСТВИЕ ТРИБУТИЛФОСФАТА НА БЛИЗКОРОДСТВЕННЫЕ ШТАММЫ *ASPERGILLUS NIGER*

*А. З. Миндубаев¹, А. А. Чапоргина², В. А. Мязин^{2,3},
Э. В. Бабынин⁴, Е. С. Балымова¹*

¹ *Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, mindubaev-az@yandex.ru,*

² *Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»,
3 Аграрно-технологический институт,*

Российский университет дружбы народов имени П. Лумумбы,

⁴ *Казанский национальный исследовательский технологический университет*

Исследовалось влияние трибутилфосфата (ТБФ) на рост и развитие мицелия двух штаммов, его токсичность в сочетании с неорганическим фосфатом и без него. Полученные в данной работе результаты позволяют предположить, что штамм F-4816D, в отличие от исходного штамма F-4815D, способен к биодеградации ТБФ при отсутствии других источников фосфора.

Ключевые слова: *Aspergillus niger*, биодеструкция, морфология, токсичность, трибутилфосфат.

Трибутилфосфат (ТБФ) – сложный эфир ортофосфорной кислоты и спирта – *n*-1-бутанола. Производится крупнотоннажно и используется в качестве полярного растворителя, сольватирующего ионы переходных металлов и извлекающего их из рудных минералов. Соответственно, существует риск загрязнения этим растворителем окружающей среды в районах добычи металлических руд, в особенности, цветных и редких металлов. Трибутилфосфат сам по себе проявляет высокую токсичность.

Биодеградация ТБФ уже описана [1]. До сих пор наблюдалась биодеградация ТБФ исключительно бактериальными культурами. По всей видимости, мы первые наблюдали биодеградацию ТБФ эукариотическими микроорганизмами, грибами.

В Институте проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН посевы производились в среду Чапека для плесневых грибов. В Казанском федеральном университете использовали исходную среду состава (г/л): NaCl – 2,5; MgSO₄ – 0,5; KNO₃ – 2,0; глюкоза – 8,0.

Каталазную активность определяли титrimетрическим методом [2], дегидрогеназную – фотометрическим методом с трифенилтетразолием хлористым. Каталазная и дегидрогеназная активности измерялись в культуральной среде через 5 суток после посева. Через 3 суток после посева среду с мицелием убирали в холодильник, чтобы приостановить спорообразование. Работали со средой с *Aspergillus niger* F-4815D (100 мл) и с четырьмя вариантами сте-

рильной культуральной среды: с ТБФ, с неорганическим фосфатом, с ТБФ и фосфатом и без источников фосфора.

Для измерения каталазной активности в среду, объемом 5 мл, с *A. niger* F-4815D добавляли на выбор по 5 мл стерильной культуральной среды (с ТБФ, с неорганическим фосфатом, с ТБФ и фосфатом и без источников фосфора), далее через 15 мин добавляли пероксид водорода. Через 30 мин каталаза ингибиралась добавлением 10% серной кислоты, после чего остаточный H_2O_2 титровали 0,1 н. раствором перманганата калия до появления розового окрашивания, устойчивого в течение не менее 30 с.

Дегидрогеназную активность определяли по восстановлению водорастворимого бесцветного хлористого 2,3,5-трифенилтетразолия до пурпурного 2,3,5-трифенилформазана, растворимого в этаноле. Препараты после добавления исследуемых культуральных сред и 1 мл хлористого 2,3,5-трифенилтетразолия выдерживали 55 минут в термостате при температуре 37°C. После этого образовавшийся 2,3,5-трифенилформазан экстрагировали из биомассы 10 мл 96% этанола, биомассу отделяли центрифугированием в течение 4 минут при 4000 об/мин. Измерение поглощения спиртового экстракта проводили на спектрофотометре ПЭ-5400УФ. В качестве контроля служил спиртовый экстракт исходной среды с биомассой.

Расчет проводили по формуле:

$$KA = (V_{\text{контроль}} - V_{\text{опыт}}) \cdot n \cdot k \cdot 17 \cdot 1000 / V \cdot a \cdot t$$

Вес сухой биомассы из 1 л среды составил 0,59 г.

Посев в планшеты продемонстрировал высокую токсичность ТБФ. Через 3 суток рост в отсутствии фосфата не начался, а с фосфатом только при концентрации ТБФ ниже 0,01953%. Через пять суток наблюдается рост при концентрации ТБФ 0,01953%, а через 7 при 0,03906%. В отсутствии фосфата рост так и не начался. Судя по данным роста в планшетах, *A. niger* F-4815D выдерживает низкие концентрации ТБФ, однако не метаболизирует это вещество и не использует в качестве источника фосфора. Эти данные хорошо согласуются с литературными источниками, в которых ТБФ подвергается биодеградации исключительно бактериальными культурами, а также с более ранними нашими исследованиями, согласно которым *A. niger* F-4815D эффективно метаболизирует гидрофильные соединения, но не гидрофобные растворители, к которым относится ТБФ.

Тем не менее, посев в планшеты – это экспресс-метод оценки роста микробной культуры. Поскольку объем лунок планшета небольшой, всего 200 мкл, среды в них быстро высыхают даже под плотно закрытой крышкой. Поэтому, при всем удобстве, метод не позволяет вести длительные наблюдения. Адаптации к токсическому загрязнению среды могут вырабатываться в течение длительного времени.

Поэтому, дальнейшие исследования мы проводили в фальконах объемом 50 мл, с плотно завинчивающимися крышками. Концентрация ТБФ 4 мкл/20 мл среды. В среде с ТБФ и фосфатом слабый рост отмечен через 4 суток. Через 5 суток в контроле (фосфат без ТБФ) мицелий покрыл всю по-

верхность среды и дал споры. В среде с фосфатом и ТБФ мелкие колонии без спор, белого цвета. А в среде с ТБФ без фосфата отмечено появление мелких точек, которые невозможно интерпретировать. Через 7 суток мы интерпретировали их как колонии *A. niger* F-4815D. Этот посев показал, что исследуемый штамм способен метаболизировать и усваивать ТБФ, хотя токсичность вещества очень высокая. Через 14 суток колонии в среде с ТБФ и фосфатом перешли к спорообразованию, а в среде с ТБФ без фосфатов колонии остались в стадии субстратного мицелия и растут на стенках фалькона. Тем не менее, полной уверенности в метаболизме ТБФ еще не было. Аспергиллы способны жить в условиях дефицита и даже отсутствия фосфора за счет фосфатов, содержащихся в составе спор и биомассы. Конечно, рост в таких условиях практически отсутствует. Тем не менее, в среде без источников фосфора мицелий рос лучше, чем в среде с ТБФ и фосфатом. Отмечено, что он очень рыхлый и прозрачный.

Через 34 суток после посева колонии на ТБФ с фосфатом стали неотличимы от контроля (фосфат без ТБФ). В среде без источников фосфора гриб выделяет в среду желтый пигмент, а среда с ТБФ без фосфата остается бесцветной. Мицелий не только на стенках фалькона, но и в толще среды.

При выращивании *A. niger* 5A_F-4816D на среде Чапека с добавлением ТБФ в течение 12 суток было отмечено снижение диаметра колонии на 29%, диаметра гиф – на 30%, высоты конидиеносцев – на 70%, диаметра конидий – на 17%. ТБФ не повлиял на время появления конидиеносцев, но затормозил созревание конидиев на 1 сутки. Радиальная скорость роста колонии в целом снизилась на 30%, однако влияние ТБФ на этот показатель проявилось преимущественно в первых 7 суток.

В тех же условиях культивирования для штамма *A. niger* 1A_F-4815D было отмечено снижение диаметра колонии на 35%, диаметра гиф – на 20%, высоты конидиеносцев – на 64%. Присутствие в среде ТБФ в большей степени отразилось на времени появления конидиеносцев (задержка на 8 суток) и спорообразовании (задержка на 9 суток). Радиальная скорость роста колонии в целом снизилась на 35%, но, как и для описанного ранее штамма, в течение первых 6 суток.

Таким образом, несмотря на снижение показателей роста, развитие стерильного мицелия двух исследованных штаммов *A. niger* в присутствие ТБФ возможно. Однако для штамма *A. niger* F-4815D внесение ТБФ оказалось сильное негативное влияние на стадию образования конидиеносцев и созревания спор.

Оба штамма были способны к росту на среде Чапека без фосфатов. Отсутствие в среде фосфора в большей мере повлияло на высоту конидиеносцев, что выразилось в снижении показателя на 31–32%. Остальные морфологические характеристики изменились незначительно.

Добавление в среду Чапека без фосфатов ТБФ, как единственного источника фосфора, также привело к изменению морфологических характеристи-

стик. Однако для штамма F-4815D отсутствие в среде неорганического фосфора усилило токсическое действие ТБФ.

Для штамма F-4816D отсутствие в среде неорганического фосфора наоборот оказалось положительное влияние, снизив токсичность ТБФ.

Таким образом, предварительно можно сказать, что штамм *A. niger* F-4816D более устойчив к ТБФ, а исключение неорганического фосфора из среды снижает токсичность трибутилфосфата по отношению к данному штамму. Возможно, штамм F-4816D способен к биодеградации ТБФ в условиях отсутствия других источников фосфора с образованием менее токсичных продуктов трансформации. Однако для подтверждения данной гипотезы необходимо проведение дополнительных исследований.

Радиальная скорость роста имеет волнообразную форму с периодом 4–5 суток. Мы предполагаем, что, вероятно, в периоды замедления роста гриб интенсивно разлагал ТБФ, а периоды ускоренного роста приходились на усвоение его метаболитов.

Штамм *A. niger* F-4815D оказался более чувствительным к присутствию ТБФ, что привело к многократному увеличению времени формирования конидиеносцев и спорообразования в присутствии ксенобиотика. Отсутствие в питательной среде неорганических фосфатов лишь усилило токсическое действие ТБФ.

Следует отметить, что ТБФ слегка инактивировал дегидрогеназы (в среднем на 3–5%) (табл.).

Таблица

Влияние ТБФ на каталазную и дегидрогеназную активности

Проба	Каталазная активность (мг H_2O_2 / г · мин)	Удельная дегидрогеназная активность (мг формазана / г АБС)
Исходная среда	19,21±0,96	0,140±0,007
Среда с ТБФ	174,80±8,74	0,135±0,007
Среда с фосфатом	192,09±9,60	0,138±0,007
Среда с ТБФ и фосфатом	203,62±10,18	0,138±0,007
Среда без источников фосфора	201,69±10,09	0,138±0,007

Отсутствие неорганических фосфатов в среде привело к снижению активности каталазы на фоне внесения ТБФ. При этом активность дегидрогеназы в среде с ТБФ при выращивании мицелиальных грибов достоверно не изменилась, что свидетельствует о низкой доступности ТБФ для дегидрирования и возможному накоплению данного ксенобиотика в среде.

В результате проведенных экспериментов была показана возможность роста двух исследованных штаммов *A. niger* на среде с неорганическими фосфатами в присутствии ТБФ. Однако для штамма F-4815D внесение ТБФ оказалось резкое отрицательное влияние на этапе образования конидиеносцев и созревания спор. Штамм F-4815D также характеризовался меньшей радиальной скоростью роста и, как следствие, в два раза меньшим диаметром колоний.

ний, как на стандартной среде Чапека, так и при добавлении ТБФ, чем штамм F-4816D.

Полученные в данной работе результаты позволяют предположить, что штамм F-4816D, в отличие от исходного штамма F-4815D, способен к биодеградации ТБФ при отсутствии других источников фосфора с образованием менее токсичных продуктов трансформации. Данные особенности дочернего штамма могут быть использованы в дальнейшем для разработки способов очистки сточных вод или загрязненных грунтов от ТБФ.

Следует особо отметить, что результаты, полученные на ТБФ, можно экстраполировать на другие токсичные фосфорные соединения, в том числе на белый и красный фосфор.

Библиографический список

1. Elucidating the biodegradation mechanism of tributyl phosphate (TBP) by *Sphingomonas* sp. isolated from TBP-contaminated mine tailings / J. Liu, H. Lin, D. Yingbo, B. Li. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.03.127 // Environ. Pollut. 2019. Vol. 250. P. 284–291.

2. Инструкция по лабораторному контролю очистных сооружений на животноводческих комплексах. Ч. III. Определение биогенных веществ. Анализ осадков и ила / Н. Г. Ковалев, М. М. Еселеевич, Н. С. Максимовский и др. М. : Колос, 1984. 55 с.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ШТАММОВ СТРЕПТОМИЦЕТОВ

С. Э. Мокрушина¹, И. Г. Широких^{1, 2}

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, sveta.flouni@gmail.com,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, biotekhnologiya@fanc-sv.ru

В работе изучали попарные взаимодействия стрептомицетов, выделенных из различных экологических ниш. Методом перпендикулярных штрихов на овсяном агаре установлен широкий спектр межштаммовых отношений с преобладанием нейтральных и симбиотических взаимодействий. Полученные данные важны для создания бактериальных консорциумов с целевыми свойствами.

Ключевые слова: *Streptomyces*, симбиоз, антагонизм, PGP-свойства, консорциум.

Использование потенциала стимулирующих рост растений бактерий (PGPR) может являться альтернативой использованию традиционных синтетических удобрений и пестицидов [1]. На практике интерес к биологическим препаратам обусловлен тем, что они создаются на основе микроорганизмов, выделенных из природных биоценозов, не загрязняют окружающую среду и безопасны для животных и человека. Такие биопрепараты, способные улуч-

шать азотное и фосфорное питание растений, обладающие антагонистическими и ростостимулирующими свойствами, имеют высокую экологическую и экономическую эффективность [2].

Бактерии рода *Streptomyces* проявляют все основные полезные свойства PGPR: могут стимулировать рост растений за счет продукции различных метаболитов, подавлять развитие фитопатогенных микроорганизмов, повышать устойчивость растений к стрессовым условиям. Некоторые виды стрептомицетов могут обладать комплексом данных свойств [3].

Изучение свойств PGP-стрептомицетов и их ассоциаций позволит создавать и использовать наиболее эффективные биопрепараты для повышения продуктивности растений, что является важной частью в ведении растениеводства [4]. При создании искусственных микробных консорциумов возможно взаимное усиление биологических свойств исходных культур, что дает возможность консорциуму создать единую биологическую систему, обладающую защитными свойствами от влияния других микроорганизмов, благодаря индукции синтеза целого ряда новых биологически активных веществ [5].

Цель работы – изучение характера взаимодействия перспективных штаммов стрептомицетов для составления биологически активного консорциума с синергетическим эффектом.

В качестве объектов исследования в работе использовали 11 штаммов стрептомицетов, которые были выделены из разнообразных экологических ниш. В качестве источников выделения служили образцы внекорневой и ризосферной почв (крапивы двудомной, мелиссы лекарственной, сосны обыкновенной), а также субстраты, отобранные на выходе известняка: осыпь щебня, мох и водорослевая пленка.

Взаимодействия между штаммами стрептомицетов изучали с использованием метода перпендикулярных штрихов на плотной овсяной среде. Одну тестируемую культуру засевали штрихом по диаметру чашки Петри. Посевы инкубировали при 28 °C в течение 48 ч до появления видимого роста культуры, после чего перпендикулярно, на равном расстоянии друг от друга, подсевали штрихом, идущим от края чашки к центру, другие исследуемые штаммы в количестве 6 на чашку. Каждый тест проводили в двух биологических повторностях.

Чашки с совместными посевами инкубировали при 28 °C. Результаты учитывали на 7 сут совместной инкубации. Взаимодействие штаммов оценивали по следующим критериям:

- (–): наличие четкой зоны задержки роста между колониями стрептомицетов (≥ 1 мм);
- (±): рост колоний на расстоянии без формирования четкой прозрачной зоны;
- (+) изменение характера роста одного или обоих штаммов в зоне контакта (например, формирование мицелиального валика или изменение пигментации);

– (++): отсутствие признаков ингибиования, колонии свободно смыкаются или пронизывают друг на друга.

Проведенный анализ парных взаимодействий 11 штаммов стрептомицетов выявил сложную и разнообразную картину межштаммовых отношений (табл.).

Таблица

**Взаимодействия штаммов стрептомицетов
при совместном культивировании на овсяном агаре**

Штамм	KP-10	ME-6	KP-3	C2-4	C2Na-3	C3Na-7	C3Na-12	C4-1Na	C5-8	C7-5	ПЧ-7
KP-10	++	++	++	++	++	++	++	±	+	±	±
ME-6	++		–	++	+	±	+	+	+	+	++
KP-3	++	–		–	++	–	–	±	+	++	±
C2-4	++	++	–		±	–	–	±	–	+	±
C2Na-3	++	+	++	±		–	+	+	–	–	±
C3Na-7	++	±	–	–	–		–	+	±	–	±
C3Na-12	++	+	–	–	+	–		+	+	++	±
C4-1Na	±	+	±	±	+	+	+		±	±	–
C5-8	+	+	+	–	–	±	+	±		±	–
C7-5	±	+	++	+	–	–	++	±	±		±
ПЧ-7	±	++	±	±	±	±	±	–	–	±	

Примечание: условные обозначения см. в тексте.

Из 55 попарных комбинаций в 14 случаях (25%) наблюдалось полное подавление роста одного из партнеров с формированием четкой зоны (–). Наиболее распространенным типом взаимодействия был рост колоний на расстоянии друг от друга (±) – 17 случаев (31%). Положительный характер взаимодействия, таким образом, был отмечен в 44% случаев, при этом изменение характера роста в зоне контакта (+) имело место в 13 случаях (24%), а свободное смыкание колоний (++) наблюдалось в 11 случаях (20%).

Высокую степень совместимости с большинством штаммов, проявил KP-10, демонстрируя свободный рост с 7 из 10 штаммов, и ни разу не проявляя выраженного антагонизма. Профиль взаимодействий штамма ME-6 оказался более сложным и включал полное подавление штамма KP-3 (–), активные взаимодействия с изменением характера роста (+) с 5 штаммами, и отсутствие каких-либо признаков ингибиции (++) с 3 штаммами.

Штамм ПЧ-7 проявил высокую конкурентную устойчивость, не будучи полностью подавленным ни одним из исследуемых штаммов, при этом демонстрируя антагонизм в отношении штаммов C4-1Na и C5-8 (–).

Таким образом, в результате исследования было показано, что между штаммами стрептомицетов образуется сложная сеть взаимодействий. Выделены перспективные штаммы для дальнейшего изучения механизмов микробной коммуникации. В рамках исследования были успешно идентифицированы штаммы, проявляющие высокую совместимость с другими изолятами, вступая преимущественно в отношения стимуляции или нейтрального сосуществования (такие как ME-6 и KP-10), что делает их перспективными объектами для включения в экспериментальные микробные ассоциации, стимули-

рующие рост растений. Очевидно, данные штаммы продуцируют метаболиты, благоприятно влияющие на рост «соседей», или эффективно взаимодействуют с ними. Не менее важным является наличие штаммов, проявляющих высокую конкурентную устойчивость (ПЧ-7), способных успешно противостоять негативному воздействию других активных культур.

Работа выполнена в рамках государственных заданий Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка состояния трансформированных экосистем подзоны южной тайги, методические подходы к их биоремедиации» (государственная регистрация в ЕГИСУ № 125021402208-5) и ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока № FNWE-2025-0005.

Библиографический список

1. Бойкова И. В. Вторичные метаболиты актиномицетов – основа для создания новых инсектицидных биопрепаратов // Вестник защиты растений. 2016. Т. 89. № 3. С. 30–32.
2. Селюк М. П., Матенькова Е. А. Влияние консорциума почвенных микроорганизмов на здоровье почвы и растений. DOI: 10.55186/25876740-2025-68-3-385 // Международный сельскохозяйственный журнал. 2025. № 3. С. 385–389.
3. Pang F., Solanki M. K., Wang Z. *Streptomyces* can be an excellent plant growth manager. DOI: 10.1007/s11274-022-03380-8 // World J. Microbiol. Biotechnol. 2022. Vol. 38. No. 11. Article No. 193.
4. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений / И. А. Тихонович, А. А. Завалин, Г. Г. Благовещенская, А. П. Кожемяков // Плодородие. 2011. № 3. С. 9–13.
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.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ БИОПЛЕНОК *RHODOCOCCUS RUBER* НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

***К. В. Ревякина¹, С. Е. Тарасов², Ю. В. Плеханова², А. Г. Быков²,
Г. В. Хохлова², М. Б. Вайнштейн², А. Н. Решетилов²***

¹ Альметьевский государственный технологический университет
«Высшая школа нефти», karev.rk@gmail.com,

² Институт биохимии и физиологии микроорганизмов имени Г. К. Скрябина
РАН, ФИЦ Пущинский научный центр биологических исследований РАН

Работа посвящена оптимизации условий культивирования биопленок бактерий *Rhodococcus ruber* (syn. *R. electrodiphilus*) на войлочных электродах в составе микробных топливных элементов (МТЭ). Изучены электрохимические характеристики биоанодов МТЭ и показано влияние условий культивирования биопленок на мощностные характеристики устройств.

Ключевые слова: биопленки, *Rhodococcus ruber*, биоэлектрохимия, микробные топливные элементы.

Постоянный рост объемов органических отходов в результате антропогенной деятельности требует разработки новых эффективных технологий их переработки. Биотопливные элементы (БТЭ) представляют собой устройства, генерирующие электричество путем электрохимического окисления органических веществ с использованием биологических катализаторов, таких как ферменты или микроорганизмы. В отличие от традиционных топливных элементов, использующих неорганические катализаторы, БТЭ работают в более мягких условиях и менее токсичны для окружающей среды. Эти устройства обладают уникальной способностью преобразовывать органические отходы в полезную энергию, что делает их перспективными для экологических задач, таких как очистка сточных вод различного происхождения, утилизация биологических отходов и сокращение углеродного следа [1].

Особое внимание привлекают микробные топливные элементы (МТЭ) – биоэлектрохимические устройства, которые преобразуют химическую энергию органических веществ в электричество благодаря метаболизму микроорганизмов. Уникальной особенностью данных устройств является способность напрямую передавать электроны на анод, выступающий в роли внешнего акцептора [2]. Такой процесс обеспечивает непрерывность генерации электроэнергии устройством без необходимости использования дополнительных дорогостоящих переносчиков электронов, позволяя МТЭ перерабатывать широкий спектр органических отходов, включая бытовые и промышленные, одновременно генерируя электроэнергию и способствуя очистке окружающей среды. Это подчеркивает актуальность разработки подобных устройств, особенно в контексте перехода человечества к природоподобным технологиям.

Интерес к грамположительным бактериям в качестве биокатализаторов электрохимических биосенсоров и топливных элементов появился сравнительно недавно, что открыло новые направления их изучения. В этом контексте особое внимание привлекает род *Rhodococcus*, характеризующийся высокой метаболической универсальностью и значительным физиологическим разнообразием среди нокардиоформных актиномицетов [3]. Эти микроорганизмы, выделенные из разнообразных источников, таких как почва, морские отложения, подземные воды, а также ткани животных и растений, демонстрируют уникальную способность к биодеградации широкого спектра природных и ксенобиотических соединений через сложные катаболические пути [4]. Их устойчивость к токсичным субстратам, производство биосурфактантов [5, 6], отсутствие катаболитной репрессии и адаптация к экстремальным условиям делают *Rhodococcus* перспективными для биоремедиации, биоконверсии и применения в МТЭ.

Цель работы – изучение влияния условий культивирования бактерий *Rhodococcus ruber* (syn. *R. electrodiphilus*) на формирование биопленок на по-

верхности войлочных электродов и мощностные характеристики МТЭ на их основе.

Объектом исследования был штамм *R. electrodiphilus* SiAl, выделенный из корродированного металлического сплава. Идентификация штамма по анализу 16S рРНК показала 99,71%-ное сходство с *R. electrodiphilus* [7], идентификация по полному геному подтвердила идентификацию с отнесением штамма к этому виду, в настоящее время переописанному как *R. ruber* [8].

Для культивирования микроорганизмов использовали две жидкие питательные среды: 1) LB (Luria-Bertani) состава: пептон бактериальный – 1 г, экстракт дрожжей – 0,5 г, хлорид натрия (NaCl) – 0,5 г, агар-агар – 2,5 г, вода дистиллированная – 100 мл; pH 7,2) Среда 5/5 состава: аминопептид – 60 мл, триптон – 5 г, дрожжевой экстракт – 1 г, соевый экстракт – 30 мл, агар-агар – 20 г, вода дистиллированная – 1000 мл; pH 7,2. Культивирование проводили в двух режимах: статическое инкубирование и перемешивание со скоростью 200 об./мин. Биопленки выращивали на войлочных электродах из углеродного материала (SinotekMaterials, Китай), полученные электроды затем использовали в качестве биоанодов МТЭ. В качестве катодов использовали аналогичные электроды, но без биопленок. Электрохимические измерения проводили в двухкамерной акриловой ячейке с объемами анодного и катодного отделения 5 мл при постоянном перемешивании. Камеры были разделены протонпроницаемой мембраной Ф-4СК (Пластполимер, Санкт-Петербург, Россия). Мощность МТЭ рассчитывали на основе зависимости тока и напряжения, генерируемых при различных внешних нагрузках.

Динамику формирования биопленок оценивали визуально в течение 4 суток. Эффективность образования биопленок оценивали по количеству биомассы и степени адгезии клеток к электроду.

Эксперименты показали, что состав среды и условия культивирования существенно влияют на характеристики формируемых биопленок (рис. 1).

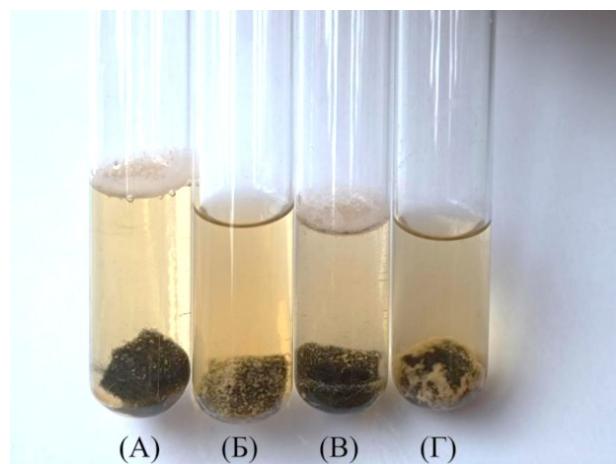


Рис. 1. Формирование биопленки *R. electrodiphilus* на войлоке в различных условиях культивирования: (А) LB, без перемешивания; (Б) LB, с перемешиванием; (В) 5/5, без перемешивания; (Г) 5/5, с перемешиванием

В среде LB при отсутствии перемешивания (А) скорость роста культуры была минимальна, биомасса преимущественно оседала на дно пробирки, что указывает на слабую адгезию и низкую биопленкообразующую способность клеток в таких условиях. При перемешивании в той же среде (Б) объем биомассы увеличивался, но биопленка оставалась рыхлой, покрывая электрод лишь частично. В среде 5/5 без перемешивания (В) количество биомассы было больше, чем в пробирках А и Б, но распределение на электроде оставалось неравномерным. Наиболее плотная и устойчивая биопленка сформировалась в среде 5/5 с перемешиванием (Г), где биомасса равномерно покрывала войлок, демонстрируя высокую адгезию и устойчивость структуры.

Полученные таким образом в различных условиях культивирования электроды с биопленками были изучены с помощью электрохимических методов анализа (циклическая вольтамперометрия, хроноамперометрия, импедансная спектроскопия). Было показано изменение уровня тока в системе с биопленками при добавлении субстратов (глюкоза, 5 мМ), что свидетельствовало о способности данного микроорганизма к электронному переносу в формате МТЭ. Из полученных для каждого варианта электродов циклических вольтамперограмм были вычислены мощностные зависимости для макетов МТЭ (рис. 2). Максимальную мощность генерировал макет МТЭ на основе биоанода с бактериями, выращенными в среде 5/5 при перемешивании (рис. 1, Г). При этом данный МТЭ позволял достигнуть и самого значения напряжения холостого хода (~ 415 мВ).

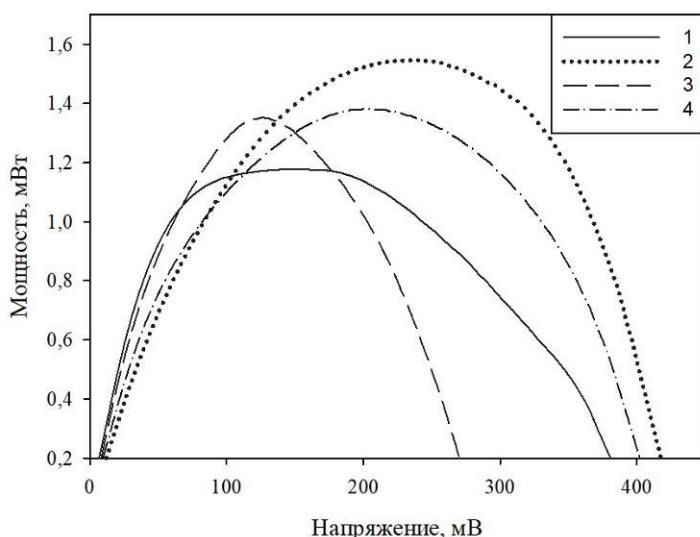


Рис. 2. Мощностные зависимости МТЭ на основе биоанодов с биопленками *R. electrodiphilus* в зависимости от условий формирования:
 1 – LB, с перемешиванием; 2 – 5/5, с перемешиванием;
 3 – 5/5, без перемешивания; 4 – LB, без перемешивания

Способность формировать устойчивые биопленки на войлочных графитовых электродах и обеспечивать перенос электронов на электрод делает этот штамм перспективным кандидатом для использования в биоэлектрохимических устройствах. Метаболическая универсальность, способность к транс-

формации сложных органических соединений и устойчивость в агрессивных средах позволяют предположить, что его можно будет эффективно использовать в составе МТЭ для переработки различных органических отходов. В настоящее время большинство МТЭ используются для питания различных маломощных устройств. Ранее [9] авторами была показана возможность конвертерного накопления электроэнергии от МТЭ, что позволяло расширить область их применения. Для работы подобных конвертеров на основе микросхемы bq25504 (TexasInstruments, США) необходимо, чтобы МТЭ был способен генерировать напряжение не менее 330 мВ. Три из четырех рассмотренных в работе макетов МТЭ на основе биопленок *R. electrodiphilus* демонстрировали достаточный для накопления уровень генерируемого напряжения.

Полученные результаты подчеркивают важность оптимизации условий культивирования для формирования устойчивых плотных биопленок с высокой биоэлектрической активностью при разработке микробных топливных элементов. Разработанный МТЭ демонстрирует высокий потенциал для практического применения, включая очистку сточных вод от органических загрязнителей с одновременной генерацией электроэнергии.

Авторы выражают благодарность О. А. Мироновой (ИБФМ РАН, ФИЦ ПНЦБИ РАН) за анализ генома и идентификацию штамма *R. ruber* SiAl.

Библиографический список

1. Cui Y., Lai B., Tang X. Microbial fuel cell-based biosensors. DOI: 10.3390/bios9030092 // Biosensors (Basel). 2019. Vol. 9. No. 3. Article No. 92.
2. Microbial fuel cells: methodology and technology / B. Logan, H. V. M. Hamelers, R. Rozendal, et al. DOI: 10.1021/es0605016 // Environ. Sci. Technol. 2006. Vol. 40. P. 5181–5192.
3. Larkin M. J., Kulakov L. A., Allen C. C. R. Biodegradation by members of the genus *Rhodococcus*: biochemistry, physiology, and genetic adaptation. DOI: 10.1016/S0065-2164(06)59001-X // Adv. Appl. Microbiol. 2006. Vol. 59. P. 1–29.
4. Responses to ecopollutants and pathogenization risks of saprotrophic *Rhodococcus* species / I. B. Ivshina, M. S. Kuyukina, A. V. Krivoruchko, E. A. Tyumina. DOI: 10.3390/pathogens10080974 // Pathogens. 2021. Vol. 10. No. 8. Article No. 974.
5. Biosurfactant production by *Rhodococcus erythropolis* and its application to oil removal / G. J. Pacheco, E. M. Ciapina, E. de Barros Gomes, N. P. Junior. DOI: 10.1590/S1517-83822010000300019 // Braz. J. Microbiol. 2010. Vol. 41. No. 3. P. 685–693.
6. Biotechnology of *Rhodococcus* for the production of valuable compounds / M. Cappelletti, A. Presentato, E. Piacenza et al. DOI: 10.1007/s00253-020-10861-z // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2020. Vol. 104. No. 20. P. 8567–8594.
7. Изучение электрогенности изолята *Rhodococcus electrodiphilus* с помощью электрохимического биосенсора / К. В. Ревякина, С. Е. Тарасов, Ю. В. Плеханова и др. // BIOAsia-Altai 2024 : материалы IV Междунар. биотехнологического форума (г. Барнаул, 23–28 сентября 2024 г.). 2024. Т. 4. № 1. С. 181–184.
8. *Rhodococcus indonesiensis* sp. nov. a new member of the *Rhodococcus ruber* lineage isolated from sediment of a neutral hot spring and reclassification of *Rhodococcus electrodiphilus* (Ramaprasad, et al. 2018) as a later heterotypic synonym of *Rhodococcus ruber* (Kruse 1896) Goodfellow and Alderson 1977 (Approved Lists 1980) / A. B. Kusuma, G. Fenylestari, F. Ammar, et al. DOI: 10.1099/ijsem.0.006236 // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2024. Vol. 74. No. 1. Article No. 006236.

9. *Gluconobacter oxydans*-based MFC with PEDOT:PSS/Graphene/Nafion bioanode for wastewater treatment / S. Tarasov, Y. Plekhanova, V. Kashin, et al. DOI: 10.3390/bios12090699 // Biosensors. 2022. Vol. 12. No. 9. Article No. 699.

ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГЕНОВ БЕТА-ЛАКТАМАЗ У ЭНТЕРОБАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД И ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОДЫ РЕКИ ДОН

Д. А. Седова^{1, 2}, Е. А. Егорова¹, Л. Е. Хмелевцова¹,
И. С. Березинская³, И. С. Сазыкин¹

¹ Южный федеральный университет, darsedova@sfedu.ru,

² Донской государственный технический университет,

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

Работа посвящена выявлению генов β -лактамаз среди энтеробактерий, выделенных из проб воды поверхностных водоемов и сточных вод Ростовской области. Из 17 проб воды реки Дон и сточных вод выделено 25 штаммов энтеробактерий пяти видов, включая клинически значимые. Методом ПЦР в реальном времени определяли содержание генов *bla_{CTX-M}*, *bla_{VIM}* и маркера горизонтального переноса генов *intII*. Результаты показали, что ген *bla_{VIM}* обнаружен у 100% штаммов, *bla_{CTX-M}* – у 88%, а *intII* – у 84% изолятов. Одновременное присутствие всех трёх детерминант резистентности зафиксировано у 72% штаммов. Полученные данные свидетельствуют о высокой степени контаминации водной среды антибиотикорезистентными бактериями и активном горизонтальном переносе генов устойчивости.

Ключевые слова: антибиотикорезистентность, горизонтальный перенос генов, очистные сооружения, сточные воды, энтеробактерии.

Бактерии семейства *Enterobacteriaceae* являются комменсальными микроорганизмами желудочно-кишечного тракта человека и животных, а также используются в санитарно-микробиологических исследованиях в качестве бактерий-индикаторов фекального загрязнения очищенных сточных вод и воды поверхностных водоемов. К данному семейству относятся как патогенные (*Salmonella*, *Shigella*) так и условно-патогенные рода энтеробактерий (*Citrobacter*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Proteus*), способные вызывать оппортунистические инфекции, в том числе и нозокомиальные, которые ассоциированы с устойчивостью к антибактериальным препаратам [1]. Представители рода *Enterobacter* и вид *Klebsiella pneumoniae* входят в группу микроорганизмов ESKAPE, за которыми идет приоритетный мониторинг антибиотикорезистентности [2].

Гены, кодирующие β -лактамазы, являются ключевыми детерминантами устойчивости к β -лактамным антибиотикам и распространены у представите-

лей семейства *Enterobacteriaceae*. Особую опасность представляют гены, кодирующие β -лактамазы расширенного спектра (БЛРС). Эти ферменты обладают способностью гидролизовать не только пенициллины, но и цефалоспорины, а также азtreонам, что делает лечение инфекций, вызванных БЛРС-продуцирующими бактериями, затруднительным [3]. Клинически-значимыми генами БЛРС являются *bla_{CTX-M}*, *bla_{OXA}*, *bla_{SHV}*, *bla_{TEM}* и *bla_{VIM}*, которые обнаруживаются не только у больничных, но и у водных штаммов энтеробактерий [4].

Сброс недостаточно очищенных сточных вод с очистных сооружений в реки, заливы и эстуарии является причиной больших выбросов антибактериальных препаратов в окружающую среду. Муниципальные и больничные сточные воды являются «горячими точками» антибиотикорезистентности, где концентрации генов резистентности и самих резистентных организмов достигают наиболее высоких уровней. Это приводит к накоплению антибиотиков в водной среде, что увеличивает селективный отбор устойчивых к антибиотикам, а также способствует обмену детерминантами устойчивости между клиническими изолятами и представителями аутохтонной микрофлоры водных объектов посредством горизонтального переноса генов (ГПГ) [5]. В качестве маркера ГПГ часто используется ген интегразы класса 1 (*intII*), так как он является индикатором антропогенного загрязнения. Ген *bla_{VIM}* часто локализован в интегронах класса 1, где он может находиться в составе генных кассет наряду с другими детерминантами резистентности [6].

Таким образом, целью данной работы стала оценка содержания генов устойчивости к β -лактамным антибиотикам (*bla_{CTX-M}* и *bla_{VIM}*) у энтеробактерий и выявление связи с наличием интеграз класса 1 (*intII*).

Объектом данного исследования являлись бактерии видов: *Citrobacter braakii*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, выделенные из проб воды поверхностных водоемов и сточных вод. Материалом исследования являлись пробы воды реки Дон (12) в акватории г. Ростова-на-Дону и города Азова, и сточных вод очистных сооружений канализации (5).

Определение и идентификацию энтеробактерий проводили согласно МУК 4.2.1884–04 [7]. Затем выполняли масс-спектрометрический анализ с использованием MALDI TOF масс-спектрометра Microflex с программным обеспечением MALDI Biotype [8].

Бактериальную ДНК выделяли в соответствии с методикой [9]. Последовательности праймеров, условия амплификации и состав реакционной смеси описаны в исследовании Khmelevtsova et al. [10]. Амплификацию проводили в приборе «ДТпрайм» (ДНК-технология). Количественное определение генов БРЛС и *intII* рассчитывали как отношение числа копий к гену 16S рРНК.

Статистическую обработку и визуализацию результатов проводили с использованием R (V 4.2.2), для анализа взаимосвязи генов БРЛС с *intII* определяли коэффициент корреляции Спирмена, связь считали значимой при $p < 0,05$.

Из 17 проб воды было выделено и идентифицировано 25 штаммов энтеробактерий, среди которых 3 штамма *E. cloacae* и *K. pneumoniae* входят в группу микроорганизмов ESKAPE. Результаты количественного определения относительного содержания генов антибиотикорезистентности представлены на рисунке.

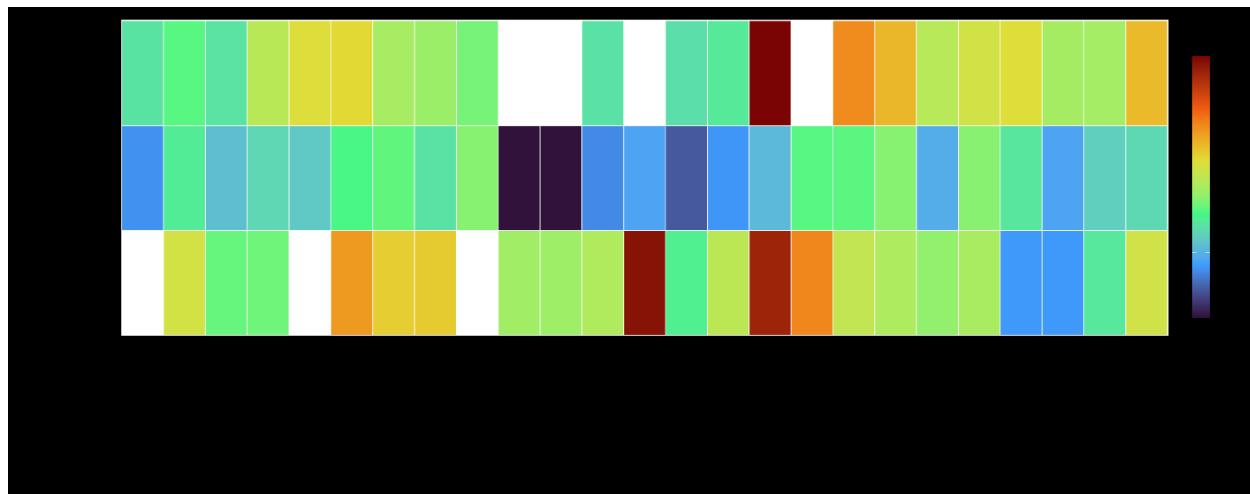


Рис. Относительное содержание генов, кодирующих β -лактамазы расширенного спектра, и интегронов в исследованных штаммах энтеробактерий

Изучение резистома исследуемых энтеробактерий показало, что у 100% штаммов выявлен ген *bla_{VIM}*, который отвечает за устойчивость ко всем β -лактамным антибиотикам, за исключением монобактамов. Они являются одним из наиболее распространенных типов металло- β -лактамаз. Ген устойчивости к цефалоспориновым антибиотикам (*bla_{CTX-M}*) встречался у 88% штаммов. Маркер ГПГ (*intII*) выявлен у 84% бактерий и имел максимальное значение относительного содержания – $6,7 \times 10^{-2}$ копий. Одновременно три детерминанты устойчивости содержали 72% штаммов. Максимальное количество копий *bla_{CTX-M}* и *intII* содержали штаммы, выделенные из сточных вод.

Анализ корреляции Спирмена показал, что между *bla_{VIM}* и интегроном *intII* выявлена положительная значимая корреляция ($\rho = 0,5748$; $p = 0,0141$). Это означает, что интегроны класса 1 могут быть ассоциированы с горизонтальным переносом гена металло- β -лактамазы VIM для штаммов энтеробактерий, выделенных из водных объектов. Между содержанием *bla_{CTX-M}* и геном интегразы значимой связи для исследуемых культур не выявлено.

Проведённое исследование демонстрирует высокую распространённость генов β -лактамаз в микробных сообществах поверхностных водоемов и сточных вод. Полученные результаты свидетельствуют о значительной контаминации водной среды антибиотикорезистентными энтеробактериями. Обнаружение гена интегразы класса 1 (*intII*) у 84% штаммов свидетельствует об активном ГПГ в водной среде, что подтверждается наличием всех трёх детерминант резистентности у более чем половины штаммов. Выделение из поверхностных и сточных вод энтеробактерий группы ESKAPE указывает на

циркуляцию патогенных и условно-патогенных бактерий в окружающей среде, вызывающих инфекции ассоциированные с антибиотикорезистентностью. Это подтверждает факт, что сточные и поверхностные воды могут служить «горячими точками» ГПГ и резервуаром генов антибиотикорезистентности. Полученные данные подчеркивают необходимость усовершенствования методов очистки сточных вод, а также проведения мониторинга профилей антибиотикорезистентности не только с помощью фенотипических методов определения, но и генотипических для получения более подробных представлений о резистоме водных экосистем.

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

Библиографический список

1. Breijyeh Z., Jubeh B., Karaman R. Resistance of Gram-negative bacteria to current antibacterial agents and approaches to resolve it. DOI: 10.3390/molecules25061340 // Molecules. 2020. Vol. 25. No. 6. Article No. 1340.
2. Чувствительность к антибиотикам штаммов *Klebsiella pneumoniae* и *Pseudomonas aeruginosa*, выделенных из воды поверхностных водоёмов и сточных вод / Д. А. Седова, М. А. Сазыкина, П. В. Журавлёв и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2025-3-082-090 // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 3. С. 82–90.
3. Detection of *VIM* and *NDM-1* metallo-beta-lactamase genes in carbapenem-resistant *Pseudomonas aeruginosa* clinical strains in Bahrain / R. M. Joji, N. Al-Rashed, N. K. Saeed, K. M. Bindayna. DOI: 10.4103/JLP.JLP_118_18 // J. Lab. Physicians. 2019. Vol. 11. No. 2. P. 138–143.
4. Prevalence of beta lactamases genes in sewage and sludge treated in mechanical-biological wastewater treatment plants / W. Zielinski, M. Buta-Hubeny, J. Hubeny, et al. DOI: 10.12911/22998993/112506 // J. Ecol. Eng. 2019. Vol. 20. No. 9. P. 80–86.
5. Metagenomic insights into differences in environmental resistome profiles between integrated and monoculture aquaculture farms in China / C. Xu, Z. Lv, Y. Shen, et al. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106005 // Environ. Int. 2020. Vol. 144. Article No. 106005.
6. Integrons in the development of antimicrobial resistance: critical review and perspectives / B. A. Bhat, R. A. Mir, H. Qadri, et al. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1231938 // Front. Microbiol. 2023. Vol. 14. Article No. 1231938.
7. МУК 4.2.1884-04 Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов: действ. с 04.03.2004. М. : ФГУП «Стандартинформ», 2000. – URL: <https://media.reatrack.ru/attachments.pdf> (дата обращения: 07.11.2025).
8. Использование времяпролетной масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорбцией/ионизацией (MALDI-TOF MS) для идентификации бактериальных и грибковых возбудителей III–IV групп патогенности / И. В. Чеботарь, С. В. Поликарпова, Ю. А. Бочарова, Н. А. Маянский. DOI: 10.17116/labs20187278-86 // Лабораторная служба. 2018. № 7. С. 78–86.
9. Пат. 2 696 052. РФ, МПК C12N 15/10 (2006.01). Способ выделения ДНК из почвы : № 2018140149 : заявл. 13.11.2018 : опубл. 30.07.2019 / Сазыкина М. А., Сазыкин И. С., Селиверстова Е. Ю., Хмелевцова Л. Е. 13 с.
10. Влияние применения минеральных удобрений и пестицидов на бактериальное сообщество и распределение генов устойчивости к антибиотикам в сельскохозяйственных почвах / Т. Н. Ажогина., М. В. Климова., Ш. К. Карчава и др. // Агрономия : материалы

Всерос. конф. молодых учёных «Экология: факты, гипотезы, модели», посвящённой Международному году фундаментальных наук (г. Екатеринбург, 18–22 апреля 2022 г.). Екатеринбург : Институт экологии растений и животных УрО РАН, 2022. С. 5–7.

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ИЖЕВСКОГО ПРУДА

З. З. Тимербаева, М. А. Шумилова, Ф. Ф. Чausов
Удмуртский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения РАН,
zarina.timerbaeva.98@mail.ru

Исследование посвящено изучению разнообразия видов цианобактерий, заселяющих акваторию Ижевского пруда. На твердой питательной среде BG-11 из образцов прудовой воды были выделены чистые культуры, относящиеся к родам *Anabaena* sp., *Gloeocapsa* sp., *Microcystis* sp., *Nostoc* sp.

Ключевые слова: водоросли, цианобактерии, Ижевский пруд, питательная среда BG-11.

Цианобактерии, являясь древней группой грамотрицательных микроорганизмов, способной к оксигенному фотосинтезу, распространены по всему миру и представлены многочисленными видами. С древнейших времен и по настоящее время цианобактерии играют немаловажную роль в существовании планеты: участвуют в выработке кислорода и в почвообразовательном процессе, входят в состав пищевых цепочек, находят применение в промышленности.

Ижевский пруд считается самым большим искусственно созданным водоёмом во всей Европе среди водохранилищ. В настоящее время его основным назначением является хозяйственно-питьевое и промышленное водоснабжение г. Ижевска. Из-за низкой скорости течения и загрязнений от стоков предприятий каждый год наблюдается явление «цветения» водоема, вызванное массовым развитием цианобактерий. Данное явление в разный временной период было исследовано сотрудниками УдГУ [2, 3]. «Цветение» пруда цианобактериями имеет серьезные негативные последствия для экологического состояния водоема и качества воды. Для проведения испытаний нитрило-трис-метиленфосфонатоцинката в качестве ингибитора коррозии, солеотложений и биообрастаний по отношению к цианобактериям, присутствующим в поступающей в производственный процесс воде, необходимо установить их видовой состав. Поэтому целью представленной работы было определение видового разнообразия цианобактерий акватории Ижевского пруда и дальнейшая культивация максимально чистых культур цианобактерий.

Пробы воды для выделения культур цианобактерий и постановки эксперимента отбирали из Ижевского пруда один раз в месяц в течение летнего

периода, начиная с мая. Отобранную пробу воды объемом 5 мл вносили в 250 мл жидкой питательной среды BG-11.

В состав питательной среды BG-11 для цианобактерий входят следующие компоненты (г/л): NaNO_3 – 0,3; $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,04; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,036; лимонная кислота – 0,006; $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ – 0,006; NH_4Cl – 0,006; $\text{Na}_2\text{ЭДТА}$ – 0,001; Na_2CO_3 – 0,02; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,075; растворы микроэлементов (мл/л): H_3BO_3 – 0,286; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 0,181; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,0222; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,039; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 0,0079; $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 0,0494. При проведении эксперимента в 8 конических колб вместимостью 250 мл помещали по 7,2 мл раствора BG-11 и по 0,8 мл растворов Na_2CO_3 , цитрата железа(III)-аммония и K_2HPO_4 .

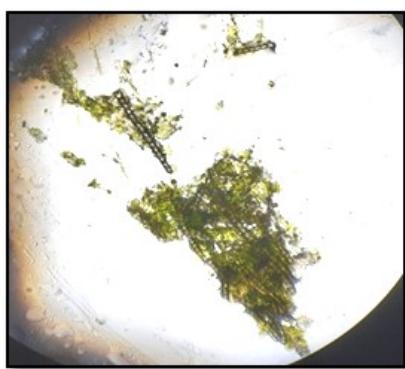
В течение месяца фиксировали в колбах рост бактериальной культуры в жидкой питательной среде (рис. 1). Было обнаружено, что кроме бактериальной культуры в среде присутствовали различные виды водорослей. С целью выделения максимально чистой культуры ее пересевали на твердую питательную среду методом штриха: для этого переносили культуру в чашки Петри с помощью микробиологической петли и проводили параллельные штрихи.



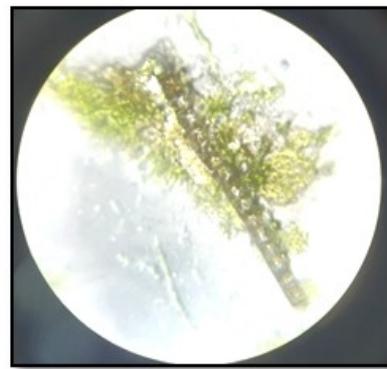
Рис. 1. Культуры бактерий (жидкая питательная среда BG-11)

Через 7 суток с помощью оптического микроскопа определяли виды, выросшие в данных чашках Петри, одновременно пересеянных из одной жидкой среды (рис. 2). При микроскопическом исследовании перед выделением чистых культур обнаружено большое разнообразие видов бактерий и водорослей.

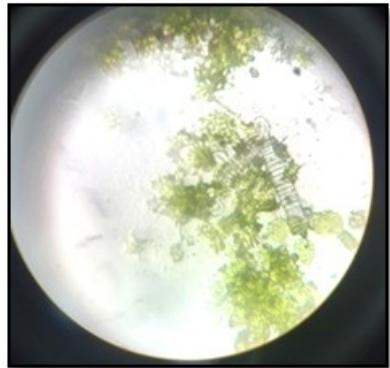
В результате культивирования были выделены и определены с помощью определителя бактерий [4] виды цианобактерий, относящиеся к следующим родам: *Anabaena* sp., *Gloeocapsa* sp., *Microcystis* sp., *Nostoc* sp. (рис. 3).



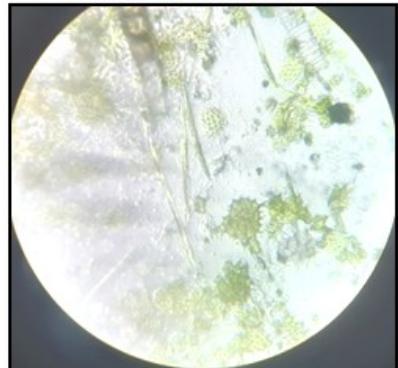
а



б



в



г

Рис. 2. Колонии бактерий, $\times 100$ (а, в), $\times 400$ (б, г)

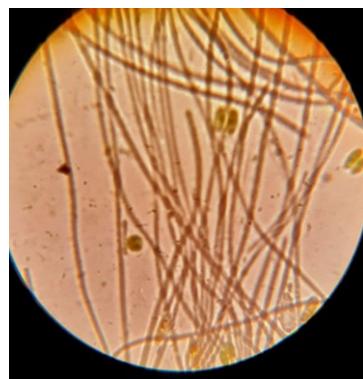


Рис. 3. *Nostoc* sp. $\times 400$

Работу по выделению чистых культур осложняло наличие большого количества водорослей, среди которых преобладали представители родов: *Pediastrum*, *Spirogyra*, *Ulothrix*.

Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено видовое разнообразие цианобактерий акватории Ижевского пруда для дальнейшего проведения испытаний нитрило-тристис-метиленфосфонатоцинката в качестве ингибитора коррозии, солеотложений и биообрастаний.

Библиографический список

1. Ашихмина Т. Я., Кутявина Т. И., Домнина Е. А. Изучение процессов эвтрофикации природных и искусственно созданных водоёмов (литературный обзор).

2. Иванова Н. А., Шарипова Л. А. Состояние фитопланктона Ижевского пруда в районе водозабора МУП города Ижевска «Ижводоканал» в 2002–2005 годах // Вестник Удмуртского университета. 2006. № 10. С. 17–24.

3. Биологические и химические эффекты антропогенного эвтрофирования Ижевского водохранилища : монография / под ред. Б. Г. Котегова. Ижевск : Удмуртский университет, 2013. 177 с.

4. Определитель бактерий Берджи. В 2 т. / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уилльямса. М. : Мир, 1997. Т. 1. 432 с.

ЭПИФИТНЫЕ МИКСОМИЦЕТЫ ТУЛАШОРА

А. А. Широких

*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого,*

Государственный природный заповедник «Нургуш», aleshirokikh@yandex.ru

В статье представлена информация об эпифитных (образующих спорокарпы на живых растениях) миксомицетах участка Тулашор ГПЗ «Нургуш». Описан новый вид миксомицета *Physarum virescens* Ditmar, впервые отмеченный на территории заповедника.

Ключевые слова: миксомицеты, спорокарпы, эпифитные виды, сфагновые мхи, биоценозы, споры, капиллиций.

Биологическое разнообразие является основой функциональной организации биосфера и составляющих ее экосистем. Обнаружение новых видов организмов, входящих в состав биоценозов, расширяет наши знания не только о таксономическом разнообразии, но и о функционировании экосистемы в целом.

Миксомицеты входят в состав всех лесных биоценозов и принимают активное участие в круговороте веществ и регулировании численности бактериальных сообществ, а их видовой комплекс отражает экологическое состояние экосистемы. Кроме того, они являются одной из немногих групп микрорганизмов, которых легко можно обнаружить в природе и культивировать в лаборатории. Осваивая различные субстраты, миксомицеты взаимодействуют со многими организмами, образуя межвидовые сообщества, обеспечивающие устойчивость лесных биоценозов. В связи с этим изучение биоразнообразия и экологии этих организмов представляет собой важную и интересную задачу лесной биоценологии.

При изучении распространения миксомицетов в природных условиях их условно подразделяют на три субстратных комплекса: ксилобионтный, подстилочный и эпифитный. Условность этого деления обусловлена тем, что некоторые виды могут встречаться или проходить разные стадии жизненного

цикла на разных субстратах. Наиболее благоприятную экологическую нишу для миксомицетов представляют упавшие стволы старых деревьев, поросшие мхом и лишайником и содержащие большое количество влаги. В этом отношении лес Тулашора, состоящий из спелых и перестойных хвойных и лиственных деревьев, имеющий развитую подстилку и моховой покров, представляет широкий выбор субстратов для ксилобионтного, подстилочного и эпифитного комплексов миксомицетов.

Целью наших исследований являлось изучение эпифитного комплекса миксомицетов в лесных биоценозах участка Тулашор Государственного природного заповедника «Нургуш».

Миксомицеты эпифитного комплекса развиваются на поверхности различных частей живых растений, которые представлены листостебельными мхами, травами или корой на стволах деревьев. Встречаемость и видовое разнообразие эпифитных миксомицетов в Тулашоре изучали маршрутным методом с 15 по 18 августа 2025 года. При прохождении 6-ти километрового маршрута Пажнашор-Тулашор фиксировали все встреченные спорокарпы и плазмодии миксомицетов на поверхности живых растений.

В результате проведённых исследований на маршруте было обнаружено 3 вида миксомицетов, принадлежащих к двум семействам порядка Physarales – Didymiaceae и Physaraceae. В начале маршрута на веточках сфагнового мха были выявлены оранжевый и жёлтый плазмодии миксомицетов ($N59^{\circ}38'51$, $E50^{\circ}04'17$). На продолжении маршрута оранжевый плазмодий встретился на сфагновом мху 4 раза, а жёлтый – 6 раз. Веточки мха с плазмодиями были оставлены на упавшем стволе старой сосны, где в течение ночи плазмодии превратились в зрелые спорокарпы, что позволило их идентифицировать как *Leocarpus fragilis* (Dicks.) Rostaf., формирующий оранжевый плазмодий, и *Physarum virescens* Ditmar – с жёлтым плазмодием. Идентификация этих миксомицетов, проведённая в полевых условиях, была подтверждена в лаборатории микроскопическими исследованиями спор и капилляризация этих видов.

Основным отличительным признаком миксомицета *L. fragilis* является наличие каплевидных спорангииев размером 2–4 мм в высоту и 0,6–1,6 мм в диаметре, крепящихся на плёнчатых ножках с блестящим, ломким, как будто лакированным, перидием (рис. 1).



Рис. 1 Миксомицет *Leocarpus fragilis* (Dicks.) Rostaf.:

- 1 – оранжевый плазмодий на веточках мха сфагнума (*Sphagnum* sp.);
- 2 – спорокарпы на плёнчатых ножках; 3 – споры (масляная иммерсия, $\times 1000$)

Микроскопия *L. fragilis* показала, что он формирует коричневые споры диаметром 12–18 мкм, орнаментированные мелкими бородавками, и капиллиций, состоящий из сети желтоватых трубочек, заполненных известковыми гранулами. Этот вид легко идентифицируется даже в полевых условиях [1].

Для *P. virescens* характерным является наличие плотно прижатых друг к другу шаровидных спорангиев светло-жёлтого цвета, покрытых уплощёнными отложениями жёлтой извести (рис. 2). Споры в проходящем свете – светло-фиолетово-коричневые, 7–10 мкм в диаметре, орнаментированные мелкими шипиками. Капиллиций состоит из угловатых узелков жёлтого цвета, соединённых стекловидными трубочками [1]. На территории Тулашора вид *P. virescens* обнаружен нами впервые и ранее в списки миксомицетов заповедника [2] включён не был. Обнаружение плазмодиальной стадии и спорокарпов на поверхности живых растений свидетельствует о том, что эти миксомицеты являются представителями эпифитного комплекса.

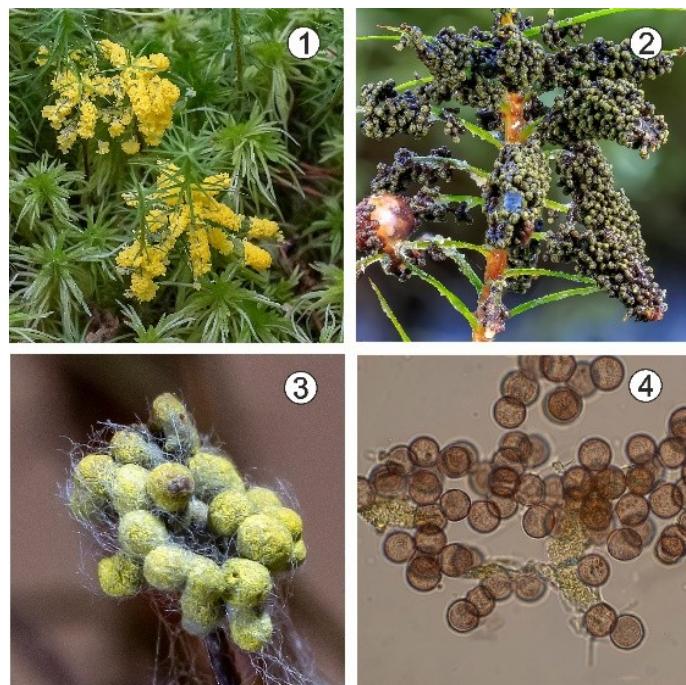


Рис. 2. Миксомицет *Physarum virescens* Ditmar:
 1 – жёлтый плазмодий на веточках мха сфагnumа (*Sphagnum* sp.);
 2–3 – спорокарпы, инкрустированные известию;
 4 – споры с узелками капиллиция (масляная иммерсия, $\times 1000$)

На веточках листостебельных мхов также встречались спорокарпы миксомицета *Didymium melanospermum* (Pers.) T. Macbr. Этот миксомицет формирует на поверхности мха шаровидные, слегка уплощённые, собранные в группы спорокарпы, покрытые рыхлым слоем кристаллов извести. Спорангии сидят на коротких тёмных ножках. Иногда ножки спорокарпов *D. melanospermum* настолько короткие, что почти не выходят из углубления спорангия. Данный вид образует плазмодий на листовом опаде, реже – гнилой древесине, а на поверхности живых растений формирует только споро-

карпы, поэтому его с большой вероятностью можно отнести к представителям подстилочного комплекса.

Таким образом, в результате маршрутных исследований расширилось представление о видовом разнообразии миксомицетов лесных биоценозов отделения Тулашор заповедника «Нургуш». В частности, обнаружен новый вид – *Physarum virescens*, ранее на территории заповедника не встречавшийся. С учетом мест его локаций вид включен в состав эпифитного комплекса миксомицетов заповедника.

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

Библиографический список

1. Гмошинский В. И., Дунаев Е. А., Киреева Н. И. Определитель миксомицетов Московского региона. М. : Культурно просветительский центр «Архэ», 2021. 388 с.
2. Широких А. А. Аннотированный список миксомицетов заповедника «Нургуш» // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Т. 8. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2025. С. 59–69.

АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ *STREPTOMYCES* В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНОГО ХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И. Г. Широких¹, М. А. Бородулина²

¹ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, irgenal@mail.ru,

²Вятский государственный университет

Изучали способность *Streptomyces* spp., изолированных из дерново-подзолистых почв Нагорского района (Кировская область) с разным хозяйственным использованием ингибировать рост фитопатогенных грибов и бактерий. Охарактеризован антимикробный потенциал стрептомицетных комплексов почв, используемых в качестве пашни, пастбища и селитебной территории.

Ключевые слова: почва, хозяйственное пользование, стрептомицеты, антагонизм, грибы, бактерии.

Актиномицеты рода *Streptomyces*, являясь продуцентами большого количества антимикробных веществ [1], представляют собой хорошую альтернативу использованию в сельском хозяйстве химических пестицидов. Многие актиномицеты, как и представители других групп микроорганизмов, наряду с биологическим контролем фитопатогенов, могут оказывать на растения благоприятное влияние за счет продукции фитогормонов, сидерофоров и других фиторегулирующих веществ.

Источником выделения большинства антагонистически активных штаммов являются почвенные экосистемы. Антагонистические свойства

стрептомицетов играют важную роль в снижении численности нежелательных популяций, формировании и поддержании супрессивности почвы [2]. Проявление и уровень антагонистической активности почвенных микроорганизмов часто зависит от факторов среды: наличия минеральных и органических источников питания, кислотности, плотности сложения и других свойств почвы.

Учитывая важную роль факторов среды в жизнедеятельности микроорганизмов, очевидно, что в различных почвенных экотопах будут происходить изменения в образовании микробами-антагонистами биологически активных веществ, следовательно, изменится и их способность осуществлять биоконтроль над фитопатогенами.

Цель работы – сравнительная характеристика противомикробной активности актиномицетных комплексов в почвах, различающихся по характеру хозяйственного использования.

Образцы почв (слой 0–10 см) отобраны в Нагорском районе с трех участков: 1) пашня с внесением минеральных удобрений; 2) пастбище для крупнорогатого скота (КРС); 3) селитебный участок. Почву отбирали методом «конверта», объединяя 5 индивидуальных проб с каждого участка ($S = 100 \text{ м}^2$) в один смешанный образец.

Посев почвенных образцов для выделения культур актиномицетов осуществляли на казеин-глицериновый агар (КГА) [3]. Инкубировали чашки с посевами при 28 °С в течение 2 недель. Из каждого смешанного образца почвы выделяли на овсяный агар по 11±2 культур с характерными для рода *Streptomyces* культурально-морфологическими признаками [4].

Антагонистическую активность стрептомицетов определяли методом блоков (диффузии в агар). В качестве тест-объектов использовали культуры микроскопических грибов *Fusarium oxysporum*, *F. culmorum* и *Parastagonospora nodorum* и бактерий *Curtobacterium flaccidum faciens*, *Erwinia rhamontici*, *Clavibacter michiganensis*, *Pedobacter agri*, *Pseudomonas* *serapacii*.

Величина зон ингибирования грибов изменялась у разных штаммов от 0 до 24 мм, зон ингибирования роста бактерий – от 0 до 32 мм. Данные по распространению антагонистов в выборках стрептомицетов из почв с разным хозяйственным использованием представлены в таблице.

Наибольшей встречаемостью культур с антифунгальным действием характеризовалась пахотная почва (54%), за ней следовал стрептомицетный комплекс пастбища (30%). В почве селитебной территории антагонисты грибов среди стрептомицетов не выявлены, вместе с тем 100% изолятов проявили при тестировании антибактериальную активность. В комплексах стрептомицетов, выделенных из почв пашни и пастбища, рост бактерий ингибировали соответственно 92 и 90%.

Ни один из изолятов не проявил антагонизм сразу ко всем тест-культурям, взятым в работу. Спектры ингибирования включали в совокупности не более 5–6 грибных и бактериальных фитопатогенов (рис.). Широкими спектрами (против 4–6 тест-культур) характеризовались стрептомицеты из

пахотной (38,5%) и пастбищ (40%) почв в большей степени, чем стрептомицеты из почвы селитебного участка (30,0%).

Таблица

Распространение антагонистически активных штаммов среди изолятов стрептомицетов из почв Нагорского района с различным типом землепользования

Тест-культура		Доля антагонистов в почвах разного назначения, %		
		пашня	пастбище	селитебная зона
Грибы	<i>Fusarium oxysporum</i>	7,7	10,0	0
	<i>F. culmorum</i>	0	20,0	0
	<i>Parastagonospora nodorum</i>	53,8	10,0	0
Бактерии	<i>Curtobacterium flaccumfaciens</i>	61,5	60,0	100
	<i>Erwinia rhamontici</i>	15,4	20,0	44,4
	<i>Clavibacter michiganensis</i>	76,9	60,0	66,6
	<i>Pedobacter agri</i>	30,8	70,0	77,8
	<i>Pseudomonas cepacia</i>	23,1	40,0	44,4

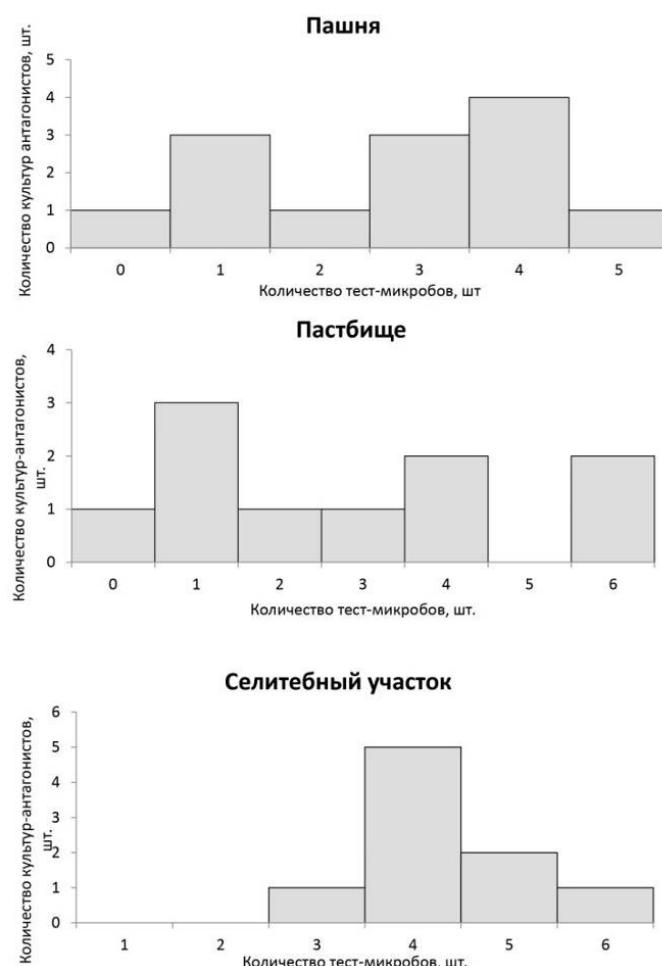


Рис. Антагонистический потенциал комплексов стрептомицетов, изолированных из почв различного хозяйственного использования

Таким образом, оценка антифунгальной и антибактериальной активности стрептомицетов, выделенных из почв разного хозяйственного назначения, показала, что практически каждый из исследованных комплексов имеет свои характерные черты. Наиболее широко антагонизм распространен среди изолятов из пахотной почвы. Почти все стрептомицетные культуры этого комплекса подавляли рост от одной до пяти использованных в работе тест-культур. Отличительной особенностью стрептомицетного комплекса почвы пастбища является преобладание изолятов, реализующих антагонизм в отношении 0–3 тест-культур (60%). Комплекс из почвы селитебного участка, в отличие от двух рассмотренных других, лишен представителей с антифунгальной активностью.

Выявленные различия по антагонистическому потенциалу между исследованными комплексами стрептомицетов могут быть связаны с особенностями биотической и физико-химической среды обитания, сложившейся в почвах при разных типах их хозяйственного использования.

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. Baltz R. H. Antimicrobials from Actinomycetes: back to the future // Am. Soc. Microbiol. 2007. Vol. 2. P. 125–131.
2. Aminov R. I. The role of antibiotics and antibiotic resistance in nature. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2009.01972.x // Environ. Microbiol. 2009. Vol. 11. P. 2970–2988.
3. Физикохимия и биология торфа / Т. Г. Добровольская, А. В. Головченко, Л. В. Лысак, Г. М. Зенова // Методы оценки численности и разнообразия бактериальных и актиномицетных комплексов торфяных почв. Томск : Изд-во Томского гос. педагогического ун-та, 2010. 97 с.
4. Определитель бактерий Берджи / под ред. Дж. Хоулт и др. М. : Мир, 1997. Т. 2. 800 с.

АКТИНОМИЦЕТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПЛАУНА ГОДИЧНОГО (*LYCOPODIUM ANNOTINUM*)

И. Г. Широких^{1,3}, А. С. Махлачева^{2,3}

¹ Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
irgenal@mail.ru,

² Вятский государственный университет,

³ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого

Представлена сравнительная характеристика комплексов актиномицетов, изолированных из трех экологических ниш (филлосфера, ризопланы и ризосфера), связанных с растением плауна годичного (*Lycopodium annotinum*), собранного в защитной зоне ГПЗ «Нургуш». Показано, что в ис-

следованных субстратных комплексах численность, встречаемость, относительное обилие мицелиальных прокариот увеличиваются при переходе от надземной к подземным частям этого растения, синтезирующего ценные в фармакологическом отношении метаболиты.

Ключевые слова: *Streptomyces*, *Micromonospora*, олигоспоровые виды, филлосфера, ризосфера, относительное обилие.

Микроорганизмы, ассоциированные с лекарственными растениями, привлекают внимание, прежде всего, как продуценты биологически активных соединений, на основе которых могут быть разработаны как новые фармакологические препараты, так и препараты для биологического контроля вредителей и патогенов растений. Известные на сегодняшний день факты имитации микроорганизмами-эндофитами профиля вторичных метаболитов растения-хозяина, позволяют предположить, что эти метаболиты могут являться на самом деле продуктом жизнедеятельности соответствующих эндофитов [1, 2]. Например, противораковый антибиотик ансамитоцин имеет структурное сходство с майтанзинами, обнаруженными в растениях *Putterlickia verrucosa*. Было показано, что в геноме растения, содержащего майтанзин, отсутствуют некоторые ключевые для его биосинтеза гены [3]. На этом основании предполагают, что за появление майтанзина в высших растениях ответственны ризобактерии *Actinosynnema pretiosum*, у которых такие гены как раз обнаружены [4].

На сегодняшний день культивируемая микробиота лекарственных растений изучена лишь частично. Имеющиеся сведения касаются, в основном, микробиоты покрытосеменных растений, тогда как данные о микроорганизмах, связанных с представителями высших споровых растений, в частности плаунов (сем. *Lycopodiaceae*), в доступной нам литературе единичны [5–7]. Особый интерес с практической точки зрения вызывают актиномицеты, известные способностью синтезировать широкий круг физиологически активных веществ. Актиномицеты имеют эволюционно сложившиеся связи с растениями, распространены в фитоценозах практически всех природно-климатических зон и, благодаря разнообразию метаболического потенциала, обеспечивают стабильность существования и продуктивности растений [8].

Плаун годичный (*Lycopodium annotinum* L.) – многолетнее травянистое вечноzelёное споровое растение – содержит в своем составе тритерпеноиды, каротиноиды, флавоноиды, алкалоиды (в том числе ликоподин и аннотинин) [9, 10]. Недавно из *L. annotinum* были получены аннотинолиды А и В, способные регулировать уровень нейромедиаторов, снижать окислительный стресс и ингибировать агрегацию бета-амилоидов (A β) при болезни Альцгеймера [11]. Предварительные исследования показали, что аннотинолиды (алкалоиды ликоподия) плауна годичного имеют хороший потенциал в терапии этого заболевания, характеризующегося прогрессирующим снижением когнитивных функций и потерей памяти.

Цель работы – характеристика комплексов культивируемых актиномицетов, ассоциированных с лекарственным растением *Lycopodium annotinum* в подзоне южной тайги европейского Северо-Востока.

В работе использовали образцы плауна годичного, отобранные в осенний период на территории охранной зоны ГПЗ «Нургуш» (Котельничский район, Кировская область). Выделяли надземную (филлосфера) и подземную (ризоплана) части растения. Почву с корней после их интенсивного отряхивания считали ризосферой. Для анализа каждого субстрата использовали от 2 до 5 индивидуальных навесок. Перед посевом образцы субстратов прогревали при 70 °С в течение 4 ч для ограничения роста немицелиальных бактерий. Посев проводили из разведений почвенных суспензий на казеиноглицериновый агар (КГА) и среду с пропионатом натрия [12]. Чашки с посевами инкубировали при 28 °С в течение двух недель. Дифференцированный учет колоний по морфотипам проводили с помощью микроскопа Leica DM 2500. Численность актиномицетов и их долю в прокариотном комплексе учитывали на КГА. Структуру комплекса каждого из субстратов характеризовали на среде с пропионатом натрия с помощью синэкологических показателей частоты встречаемости и относительного обилия таксонов [12].

Таблица

Актиномицетные комплексы плауна годичного *Lycopodium annotinum*

Показатель	Субстратные комплексы		
	филлосфера	ризоплана	ризосфера
Численность бактерий на КГА, тыс. КОЕ/г	385±45	1695±554	1314±626
Численность актиномицетов на КГА, тыс. КОЕ/г	0,46±0,19	29,8±27,9	203,4±179,1
Доля актиномицетов в прокариотном комплексе, %	0,11	1,8	
Частота встречаемости / относительное обилие, %			
<i>Streptomyces</i>	93,3 / 85,3	100 / 97,8	100 / 99,7
<i>Micromonospora</i>	40,0 / 11,2	16,7 / 0,72	16,7 / 0,13
олигоспоровые	46,7 / 3,5	33,3 / 1,48	16,7 / 0,13
Количество секций и серий <i>Streptomyces</i>	4	2	3

Наиболее высокой численностью актиномицетов (2×10^5 КОЕ/г) характеризовалась ризосферная почва плауна, в ризоплане численность была на порядок ниже (3×10^4 КОЕ/г), а в филлосфере составила всего 5×10^2 КОЕ/г (табл.). Доля актиномицетов в прокариотном комплексе *L. annotinum* изменилась соответственно от 0,1% в филлосфере до 15,4% в ризосфере.

Актиномицеты в исследуемых субстратах были представлены видами родов *Streptomyces*, *Micromonospora* и олигоспоровыми формами. Основной фон актинобиоты, ассоциированной с плауном, составили стрептомицеты с белой и серой окраской воздушного мицелия или лишенные такового (секция *Imperfectus*). Отсутствие меланизированных видов косвенно может указывать на достаточно благоприятные для мицелиальных прокариот условия, складывающиеся в ассоциации с растением плауна. Частота встречаемости рода

Streptomyces в комплексах (93,3–100%) мало зависела от природы субстрата, что согласуется с представлением о них как видах-убикувистах. В большем диапазоне варьировал, в зависимости от субстрата как экологической ниши, показатель относительного обилия стрептомицетов (85,3–99,7%). Видовое разнообразие стрептомицетов снижалось при переходе от надземной части растений (4) к ризоплане и ризосфере (2–3 цветовые секции и серии).

Представители рода *Micromonospora* и олигоспоровых актиномицетов отличались от стрептомицетов выраженной приуроченностью к надземной части растений, где их встречаемость составила 40 и 47% соответственно. При этом более высоким относительным обилием (11,2%) микромоноспоры характеризовались в комплексе филлосферы плауна. Поскольку перед посевом отмывания поверхности растений не производилось, микромоноспоры можно считать как представителями эндофитной, так и эпифитной части микробиома *L. annotinum*. Долевое участие в комплексе олигоспоровых форм изменялось в зависимости от субстрата от 3,5% в филлосфере до 0,13% в ризосфере плауна, что дает основание рассматривать олигоспоры в качестве его случайных ассоциантов.

Таким образом, в результате проведенных исследований впервые охарактеризована культивируемая актинобиота вида *Lycopodium annotinum* в подзоне южной тайги европейского Северо-Востока. Ранее оценка прокариотного сообщества растений вида *L. annotinum*, собранных в лесных массивах штата Нью-Йорк (Северная Америка), выявила, наряду с другими культивируемыми бактериями, преимущественно отнесенными к порядку *Bacillales*, наличие представителей рода *Streptomyces* [6]. С использованием метагеномного анализа при изучении разнообразия грибов и прокариотов, ассоциированных с различными видами *Lycopodiaceae* в Новой Зеландии, было установлено, что бактериальный микробиом в основном представлен альфа-, бета- и гамма-протеобактериями, относительное обилие класса актинобактерий в ризобиоме плаунов составило в среднем 7,9% [7]. К сожалению, использование разных методических подходов не позволяет корректно сравнивать наши данные с имеющимися в литературе, но подтверждает участие актиномицетов в составе ассоциативного микробиома *L. annotinum*, синтезирующего ценные в фармакологическом отношении метаболиты.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка состояния трансформированных экосистем подзоны южной тайги, методические подходы к их биоремедиации» (государственная регистрация в ЕГИСУ № 125021402208-5) и ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока № FNWE-2025-0005 Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы).

Библиографический список

1. Kusari S., Hertweck C., Spiteller M. Chemical ecology of endophytic fungi: origins of secondary metabolites. DOI: 10.1016/j.chembiol.2012.06.004 // Chemistry & Biology. 2012. Vol. 19. No. 7. P. 792–798.

2. Venugopalan A., Srivastava S. Endophytes as *in vitro* production platforms of high value plant secondary metabolites. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.07.004 // Biotechnology advances. 2015. Vol. 33. No. 6. Pt. 1. P. 873–887.
3. A study of the bacterial community in the root system of the maytansine containing plant *Putterlickia verrucosa* / S. Wings, H. Müller, G. Berg, et al. DOI: 10.1016/j.phytochem.2012.06.016 // Phytochemistry. 2013. Vol. 91. P. 158–164.
4. The biosynthetic gene cluster of the maytansinoid antitumor agent ansamitocin from *Actinosynnema pretiosum* / T. W. Yu, L. Bai, D. Clade, et al. DOI: 10.1073/pnas.092697199 // Proc. Natl. Acad. Sci. 2002. Vol. 99. No. 12. P. 7968–7973.
5. Fungal microbiomes associated with *Lycopodiaceae* during ecological succession / B. Perez-Lamarque, L. Laurent-Webb, A. Bourceret, et al. DOI: 10.1111/1758-2229.13130 // Environ. Microbiol. Rep. 2023. Vol. 15. No. 2. P. 109–118.
6. Petlewski A. R. Exploring *Lycopodiaceae* endophytes, *Dendrolycopodium* systematics, and the future of fern model systems: M.S. thesis, Cornell University, NY. 2020. 94 p.
7. Evidence for co-evolutionary history of early diverging *Lycopodiaceae* plants with fungi / G. M. N. Benucci, D. Burnard, L. D. Shepherd, et al. DOI: 10.3389/fmicb.2019.02944 // Front. Microbiol. 2020. Vol. 10. Article No. 2944.
8. Sousa J. A. J., Olivares F. L. Plant growth promotion by streptomycetes: ecophysiology, mechanisms and applications. DOI: 10.1186/s40538-016-0073-5 // Chem. Biol. Technol. Agric. 2016. Vol. 3. No. 1. Article No. 24.
9. Wang B., Canyuan G., Qiang F. The traditional uses, secondary metabolites, and pharmacology of *Lycopodium* species. DOI: 10.1007/s11101-021-09746-4 // Phytochem. Rev. 2022. Vol. 21. No. 1. P. 1–79.
10. Zhang Z. J., Jiang S., Zhao Q. S. The chemistry and biology of *Lycopodium* alkaloids. DOI: 10.1002/cbdv.202400954 // Chem. Biodiv. 2024. Vol. 21. No. 8. Article No. e202400954.
11. Trinh A. Synthesis and functionalization of bioactive nitrogen-containing heterocycles: *Lycopodium* and Isoquinoline Alkaloids : D.S. thesis, University of California, Riverside ProQuest Dissertations & Theses, 2024. Article No. 30994376.
12. Звягинцев Д. Г., Зенова Г. М. Экология актиномицетов. М. : ГЕОС, 2001. 256 с.

ПРОДУКЦИЯ АУКСИНОВ ИЗОЛЯТАМИ СТРЕПТОМИЦЕТОВ ИЗ РАЗНЫХ СУБСТРАТОВ СКАЛЬНОГО ОБНАЖЕНИЯ ИЗВЕСТНИКА

И. Г. Широких^{1,2}, С. Э. Мокрушина²

¹ Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
biotekhnologiya@fanc-sv.ru,

² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого

Выполнена проверка гипотезы о различной, в зависимости от источника выделения, способности природных изолятов стрептомицетов продуцировать ауксины. Сравнение средних величин накопления индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) в погруженных культурах стрептомицетов из пяти различных субстратов, отобранных в районе Береснятского ботанико-геологического комплекса, показало, что значимых различий в биосинтезе ИУК изолятами из почвенных и непочвенных субстратов нет. Продукция ИУК определяется

концентрацией в среде L-триптофана и продолжительностью культивирования.

Ключевые слова: *Streptomyces*, индолил-3-уксусная кислота, фитогормоны, продуценты, карбонатные породы, субстратный комплекс.

Ауксин и ауксиноподобные соединения регулируют многие аспекты роста и развития растений, включая пластичность и удлинение клеток, эмбриогенез, апикальное доминирование и закладку боковых корней [1]. Способность синтезировать ауксины лежит в основе формирования ассоциативных связей микроорганизмов с растениями. Производство индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) актиномицетами рода *Streptomyces* отмечалось как у ризосферных [2], так и у почвенных изолятов [3].

На выходах карбонатных пород актиномицеты участвуют в первичном педогенезе. Ценозообразующая роль актиномицетов в природных альгобактериальных ассоциациях на известняке была подтверждена созданием экспериментального актинолищайника [4]. Продукция ауксинов актиномицетами, по-видимому, имеет значение в формировании таких симбиотических связей, а также может содействовать ассоциативному взаимодействию мицелиальных прокариот с другими растительными объектами.

В Советском районе Кировской области, на правом берегу р. Немды расположен уникальный природный комплекс, который входит в состав Государственного природного заказника «Пижемский». Комплекс в геологическом отношении представляет собой скальное обнажение рифовых известняков пермского периода, которые являются остатками древних биогенных построек.

Участок отбора образцов находится в окрестностях бывшей деревни Береснята. Ботанико-геологический комплекс представлен карстовым оврагом с многоступенчатым Береснятским водопадом. Известняковый массив разбит трещинами. Между утесом и водопадом, перпендикулярно речному берегу, имеется расщелина, со стороны реки покрытая густым хвойным лесом.

Целью работы являлась сравнительная оценка способности природных изолятов актиномицетов из разных субстратов скального обнажения известняка синтезировать ИУК.

Для работы были отобраны следующие образцы: осыпь известнякового щебня; формирующаяся на известняковой породе маломощная почва – лептосоль; растительные субстраты: мох со ступеней водопада, ризосфера сосны и водорослевая пленка с известнякового щебня. Для селективного выделения актиномицетов все образцы были прогреты при 70 °С в течение 4 час. Посев из разведений полученных при растирании суспензий и гомогенатов осуществляли на казеин-глицериновый агар (КГА). Чашки с посевами инкубировали при 28 °С в течение 14 сут. Из колоний доминирующих морфотипов выделяли чистые культуры на овсяном агаре. В работе использованы культу-

ры актиномицетов с типичными для рода *Streptomyces* морфологическими признаками [5].

Бактерии выращивали в течение 4 сут на среде следующего состава (г/л): KNO_3 – 0,75; K_2HPO_4 – 0,5; CaCl_2 – 0,02; NaCl – 0,1; MgSO_4 – 0,2; FeCl_3 – 0,01; Na_2MoO_4 – 0,002; глюкоза – 2,0; сахароза – 2,0; пептон – 1,0; дрожжевой экстракт – 1,0; рН 6,8–7,2. В качестве предшественника индольных соединений в жидкую среду для культивирования бактерий добавляли L-триптофан («ДИАЭМ», Индия) в количестве 200 мкг/мл. Инкубировали при комнатной температуре (20 ± 2 °C) и постоянном встряхивании на качалке (120 об./мин) в течение 4 суток. Биомассу отделяли от культуральной жидкости путем центрифугирования (6000 g) в течение 10 мин.

Способность продуцировать ауксины определяли в супернатанте с реагентом Сальковского [6] на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ при длине волны 540 нм. Для построения калибровочного графика использовали разведения стандартного раствора индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) («Fluka», Швейцария). Контролем служила среда без инокуляции, но с добавлением реагента.

Практически все изоляты, полученные из почвенных и непочвенных субстратов скального обнажения известняка, при добавлении 200 мкг/мл L-триптофана в питательную среду, продемонстрировали способность синтезировать ИУК в количестве от 3,0–4,2 мкг/мл (*S. diastatochromogenes* C2-2 из известнякового щебня) до 29,8–31,2 мкг/мл (*S. cinereoruber* C4-4 из ризосфера сосны). Средние величины продукции ИУК изолятами стрептомицетов в разрезе отдельных субстратных комплексов приведены в таблице 1.

Для оценки статистической значимости связи между характером субстрата и способностью выделенных из него культур синтезировать индольные соединения полученные данные обрабатывали методом непараметрической статистики. Сравнение проводили при помощи критерия Крускала-Уоллеса, который базируется на ранжировании значений исследуемого параметра (количество ИУК, мкг/мл) и позволяет установить или опровергнуть гипотезу однотипности статистических данных. Разброс сумм рангов в зависимости от варианта (характер субстрата) был недостаточно велик, чтобы считать различия между исследованными субстратами статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Динамика продукции ИУК в средах с различным содержанием триптофана (от 150 до 350 мкг/мл) была изучена на примере культуры *S. xanthocidicus* C7-7 (табл. 2).

Таблица 1

Продукция ауксинов изолятами из разных субстратов

Субстрат выделения	Штамм	ИУК, мкг/мл		
		min–max	среднее	в среднем по субстратному комплексу
Осыпь известнякового щебня	C1-1	9–9,5	9,25	11,7±5,6
	C1-2	9,5–11,5	10,5	
	C1-3	9,35–11,5	10,4	
	C2-2	3,0–4,2	3,60	
	C2-3	18,1–18,25	18,2	
	C2-4	20,0	20,0	
	C2Na-4	10,25	10,25	
Мх	C3-4	12,8–15,9	14,35	8,8±4,0
	C3Na-7	3,9–5,7	4,8	
	C3Na-12	7,1–7,5	7,3	
Ризосфера сосны	C4-4	29,8–31,2	30,5	16,7±8,8
	C4-6	23,5–24,5	24,0	
	C4-2Na	12,05–13,3	12,67	
	C4-4Na	21,2–23,4	22,3	
	C4-1	15,5–16,4	15,95	
	C4-1Na	20,3–28	23,7	
	C4-6Na	7–10,6	8,4	
	C4-3	6,8–11,1	8,9	
	C4-7Na	3,6–5,2	4,4	
Почва (лептосоль)	C5-4	8,6–9,3	8,95	13,56±5,6
	C5-6	21,9–22,7	22,3	
	C5-9	7,95–9	8,47	
	C6-2	13,9–14,45	14,17	
	C6-3	17,8	17,8	
	C6-11Na	9–10,4	9,7	
Водорослевая пленка	C7-1	21,5–24	22,7	13,8±6,7
	C7-2	4–5	4,4	
	C7-3	15,4–16,1	15,75	
	C7-4	9,2–13	10,7	
	C7-6	5,9–6,4	6,15	
	C7-7	13,1–14,6	13,85	
	C7-9	13,75–14,4	14,07	
	C7-13	20,7–25	22,7	

Таблица 2

Динамика продукции ИУК (мкг/мл) штаммом *S. xanthocidicus* C7-7 в зависимости от содержания в среде триптофана

Триптофан, мкг/мл	Продолжительность культивирования, сут		
	2	4	7
150	0	5,4±2,6 (4,4–8,4)	7,1±2,8 (4,6–10,1)
200	0	7,8±2,4 (5,2–8,5)	8,5±0,6 (8,1–9,2)
250	0	11,7±4,7 (8,4–17,0)	9,8±3,4 (7,4–13,7)
300	0	11,1±2,8 (9–14,3)	8,32±0,08 (8,25–8,4)
350	3,1±1,1 (2–4,2)	14,7±5,2 (9,9–20,2)	11,3±3,5 (8,2–15)

Показано, что повышенная доза (350 мкг/мл) аминокислоты-предшественника ауксинов стимулирует более раннее начало продукции ИУК – уже на 2-е сутки роста культуры (2–4,2 мкг/мл). Однако к 4 сут значительной разницы в продукции ИУК в средах с содержанием триптофана 250 (8,4–17,0 мкг/мл ИУК) и 350 мкг/мл (9,9–20,2 мкг/мл ИУК) уже не прослеживалось. На 7 сут роста в жидкой культуре стрептомицета С7-7 биосинтез ИУК продолжался, но его активность начинала снижаться в вариантах с содержанием триптофана 250 мкг/мл и выше. В вариантах с содержанием в среде 150 и 200 мкг/мл триптофана количество ИУК все еще нарастало по сравнению с 4 сут культивирования продуцента. Полученные результаты указывают на существование определенной зависимости между концентрацией в среде триптофана и скоростью, интенсивностью и продолжительностью процесса биосинтеза ИУК стрептомицетом-продуцентом, которую необходимо учитывать как в инокуляционных экспериментах, так и при технологической реализации ростстимулирующего потенциала природного продуцента.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка состояния трансформированных экосистем подзоны южной тайги, методические подходы к их биоремедиации» (государственная регистрация в ЕГИСУ № 125021402208-5) и ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока № FNWE-2025-0005.

Библиографический список

1. Teale W. D., Paponov I. A., Palme K. Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development. DOI: 10.1038/nrm2020 // Nat. Rev. Mol. Cell Biol. 2006. Vol. 7. No. 11. P. 847–859.
2. Abd-Alla M. H., El-Sayed E-S. A., Rasmey A-H. M. Indole-3-acetic acid (IAA) production by *Streptomyces atrovirens* isolated from rhizospheric soil in Egypt // J. Biol. Earth Sci. 2013. Vol. 3. No. 2. P. B182–B193.
3. Plant growth promoting activity of an auxin and siderophore producing isolate of *Streptomyces* under saline soil conditions / A. Sadeghi, E. Karimi, P. A. Dahaji, et al. DOI: 10.1007/s11274-011-0952-72012 // World J. Microbiol. Biotechnol. Vol. 28. No. 4. P. 1503–1509.
4. Калакуцкая А. Н., Зенова Г. М. Некоторые особенности углеродного и азотного обмена в ассоциации типа актинолишайника // Микробиология. 1993. Т. 62. № 1. С. 163–168.
5. Определитель актиномицетов. / Г. Ф. Гаузе, Т. П. Преображенская, М. А. Свешникова и др. М. : Наука, 1983. 245 с.
6. Libbert E., Risch H. Interactions between plants and epiphytic bacteria regarding their auxin metabolism. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1968.tb07370.x // Physiologia Plantarum. 1968. Vol. 22. P. 51–58.

СЕКЦИЯ 4

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ ДЖИЗАКСКОЙ ОБЛАСТИ (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)

А. С. Абдураимов

Гулистанский государственный университет, abduraimov2017@inbox.ru

В статье кратко приведены сведения о растительном покрове природных районов Джизакской области; отражены основные направления антропогенного воздействия на сообщества.

Ключевые слова: Джизак, антропогенный фактор, ботанико-географический район, растительный покров, растение.

На сегодняшний день современные тенденции вмешательства антропогенных факторов в естественные экосистемы приводят мировое сообщество к осознанию важности сохранения биологического разнообразия и рационального использования биологических ресурсов [1]. Поэтому на фоне возрастаания антропогенного воздействия на растительный покров люди посвящают свои исследования изучению жизненных стратегий растений, определяющих способы их выживания в природе [2]. Такие исследования дают возможность определить структуру естественных ценопопуляций и особенности их жизнедеятельности, оценить их состояние, а также разработать комплекс научно обоснованных мер, направленных на сохранение и рациональное использование растительных ресурсов [3].

Джизакская область расположена между реками Сырдарья и Зарафшан. Территория включает юго-восточную часть пустыни Кызылкум, восточную часть системы озёр Айдаркуль–Арнасай, западную часть Мирзачульской низменности, восточную часть гор Нурота вместе с близлежащими горными остатками и предгорными равнинами, а также северный склон западного края Молгузарского и Туркестанского хребтов [4, 5].

Территория Джизакской области делится на следующие природные районы: Северный Туркестан, Молгузар, Нурота, окрестности Нуроты, Мирзачульская низменность и Восточный Кызылкум [5].

Восточный Кызылкум занимает северную и северо-западную части Джизакской области. Он включает эоловые равнины юго-восточного Кызылкума и систему озёр Айдар–Арнасай. Здесь доминируют псаммофильные рас-

тения, а также встречаются участки солончаковой и ковыльной растительности.

Район Мирзачуль занимает центральную и северо-восточную части Джизакской области и включает засушливые степные равнины, низменность Мирзачуль, а также северные склоны Туркестанского и Молгузарского хребтов. В настоящее время этот район в основном занят орошаемым земледелием, а населённые пункты составляют значительную часть территории. Здесь преобладают антропогенные ландшафты, агрофитоценозы и рудеральные растения, а солончаки, ковыльные и эфемероидные растения встречаются лишь на небольших и очень ограниченных площадях.

Район окрестностей Нуроты расположен в центральной части области и включает горные остатки. К ним относятся Писталитогский хребет, а также низкие и небольшие горные остатки. Здесь в основном произрастают ароматные и эфемероидные травянистые растения, а также ксерофитные кустарники.

Район Северный Туркестан расположен на юге области и включает северный склон западной части Туркестанского хребта. Для этого района характерна зона густых кедровых лесов, плотность которых считается высокой.

Район Малъгузар расположен на юге области и включает Молгузарский хребет. В этом районе можно часто встретить растения аридных и полуаридных зон. По составу флоры и особенностям растительного покрова эта территория считается переходной зоной между районами Нурота и Северный Туркестан [5, 6].

Район Нурота занимает юго-западную часть области и включает средневысокие хребты Нурота, Койташ, Корачатау, Хобдунтау, долины между ними, а также северные предгорные равнины. Здесь встречаются аридные варианты почти всех предгорных и горных ландшафтных типов Центральной Азии [7].

В настоящее время воздействие человечества (антропогенное влияние) на природу и окружающую среду становится чрезмерно сильным. На территории Джизакской области также наблюдается рост антропогенного воздействия. К ним можно отнести добычу полезных ископаемых, разведение сельскохозяйственных животных, организацию зон отдыха и многие другие виды влияния. В результате этого происходит резкое сокращение ареалов растений.

В последние годы в результате усиления воздействия человека на природу процессы антропогенных изменений всё больше влияют на растительный покров и флору, вследствие чего увеличивается количество видов, являющихся индикаторами антропогенного фактора. Эта ситуация особенно проявляется на территориях, где проживает население, и в близлежащих районах.

Целесообразно проводить различные мероприятия по сохранению и защите исчезающих видов растений и их генофонда, а также по их размножению и увеличению количества питомников для разведения редких растений. Необходимо снизить негативное воздействие человека на растения и растительный покров. Для предотвращения этого важно формировать экологическое сознание среди населения, принимать меры по охране и сохранению

биологических ресурсов, видов растений и растительного покрова, что в будущем приведёт к положительным результатам.

Библиографический список

1. Kor L., Diazgranados M. Identifying important plant areas for useful plant species in Colombia. DOI: 10.1016/j.biocon.2023.110187 // Biol. Conserv. 2023. Vol. 284. Article No. 110187.
2. Ботирова Л. А. Растительный покров бассейна реки Зааминсу : спец. 03.00.05 : дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 2012. 201 с.
3. Glowka L., Burhenne-Guilmin F., Synge H. A. Guide to the convention on biological diversity. Gland : IUCN Environmental Law Centre, 1994. 30 р.
4. Баратов П. Ўзбекистон табиий географияси. Тошкент: Учител Публ., 1996. 264 с.
5. Кадастр флоры Узбекистана: Джизакская область / К. Ш. Тожибаев, Н. Ю. Бешко, А. С. Эсанкулов и др. Ташкент: Zamin nashr, 2021. 368 с.
6. Бешко Н. Ю., Азимова Д. Э. Новые флористические находки в Северо-Западном Памиро-Алае (Узбекистан) // Turczaninowia. 2013. Т. 16. № 1. С. 197–203
7. Бешко Н. Ю. Флора высших растений Нуратинского заповедника // Труды заповедников Узбекистана. Ташкент : Chinor ENK, 2011. Вып. 7. С. 19–78.

ЦВЕТКИ АРОНИИ, БОЯРЫШНИКА И РЯБИНЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ КОСМЕЦЕВТИКИ

Т. А. Адамович, П. К. Белослудцева

Вятский государственный университет, polina.gundina@yandex.ru

В работе представлены результаты исследования спиртовых экстрактов цветков аронии черноплодной, боярышника обыкновенного и рябины обыкновенной на предмет содержания биологически активных соединений (аскорбиновой кислоты, флавоноидов) и уровня антиоксидантной активности. Цель исследования – оценка потенциала указанного растительного сырья для создания косметических композиций, направленных на защиту кожи от окислительного стресса. Установлены значительные различия в изученных показателях, что позволяет целенаправленно подбирать растительные экстракты для решения конкретных дерматологических задач.

Ключевые слова: цветки, арония, боярышник, рябина, антиоксидантная активность, флавоноиды, аскорбиновая кислота.

Одним из ключевых направлений современной косметики является поиск новых, эффективных и безопасных источников биологически активных соединений (БАС) растительного происхождения [1]. Окислительный стресс, индуцированный УФ-излучением и неблагоприятными экологическими факторами, является основной причиной старения кожи, проявляющегося в виде фотостарения, снижения упругости и появления морщин [2]. В связи с ростом окислительного стресса, соединения с высокой антиоксидантной активностью

(АОА) представляют особый интерес для создания средств, замедляющих процессы старения.

Традиционно в медицине и косметологии используются плоды таких широко распространенных растений, как арония, боярышник и рябина. Однако их цветки, обладающие значительным биохимическим потенциалом, остаются недооцененным сырьем. Цветки являются активными метаболическими центрами и могут накапливать высокие концентрации фенольных соединений, флавоноидов и витаминов, что делает их перспективным объектом для исследований [3].

Цель работы – оценка потенциала спиртовых экстрактов цветков аронии черноплодной, боярышника обыкновенного и рябины обыкновенной в качестве сырья для косметики на основе определения антиоксидантной активности, содержания аскорбиновой кислоты и суммы флавоноидов.

Объектами исследования служили высушенные цветки аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott), боярышника обыкновенного (*Crataegus laevigata* (Poir.) DC.) и рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), заготовленные во время цветения в г. Кирс Верхнекамского района Кировской области.

Пробы растительного сырья сушили в условиях лаборатории. Перед проведением исследования сырье измельчали до частиц диаметром 1 мм. Экстрагировали 70% этанолом методом мацерации в течение недели. Полученные экстракты фильтровали.

Антиоксидантную активность определяли методом титрования 0,05 Н раствором перманганата калия. Содержание аскорбиновой кислоты оценивали методом титрования 0,01 М раствором 2,6-дихлорфенолиндофе-нола. Количественное содержание флавоноидов в пересчете на рутин определяли спектрофотометрическим методом с использованием хлорида алюминия [4]. Все измерения проводили в трехкратной повторности.

Результаты проведенных исследований представлены таблице.

Таблица

Содержание биологически активных веществ в цветках растений семейства розоцветные и их антиоксидантная активность (АОА)

Объект исследования	АОА, мг/г	Аскорбиновая кислота, %	Флавоноиды, %
Рябина обыкновенная	5,6±0,7	0,698±0,013	0,10±0,04
Арония черноплодная	8,0±0,6	0,4576±0,0018	0,562±0,037
Боярышник обыкновенный	4,8±0,6	0,246±0,018	0,136±0,004

Анализ полученных данных показал, что все изученные экстракты обладают выраженной антиоксидантной активностью. Наибольшие значения АОА были зафиксированы у экстракта цветков аронии, что, по-видимому, коррелирует с высоким содержанием в них флавоноидов и других полифенольных соединений. Известно, что плоды аронии являются рекордсменами по антиоксидантной способности среди ягодных культур [5], и наши данные

подтверждают, что их цветки также являются мощным источником антиоксидантов.

В экстракте из цветков боярышника содержится наиболее высокое содержание флавоноидов. Это согласуется с данными литературы, указывающими на то, что флавоноиды (гиперозид, кверцетин, витексин) являются основными БАС цветков и листьев боярышника, обуславливающими их кардиотоническую и антиоксидантную активность [3]. Высокое содержание данной группы соединений делает экстракт цветков боярышника ценным компонентом для косметических средств, направленных на укрепление капилляров и снижение воспалительных реакций кожи.

Самое высокое содержание аскорбиновой кислоты установлено в экстракте из цветков рябины. Аскорбиновая кислота является синергистом многих антиоксидантов, усиливая их действие, а также играет ключевую роль в синтезе коллагена, что крайне важно для поддержания упругости и молодости кожи [2].

Таким образом, каждый из изученных экстрактов обладает уникальным биохимическим профилем. Комбинирование этих экстрактов может позволить создать синергетический эффект и разработать высокоэффективные косметические композиции с многокомпонентным механизмом действия против старения кожи.

Библиографический список

1. Шадрина В. О. Специфика реализации косметики в РФ // Бизнес-образование в экономике знаний. 2016. № 3. С. 70–73.
2. Чибирова Т. Т., Мерденова Л. А. Основные патофизиологические механизмы внешнего и внутреннего старения кожи // Современные вопросы биомедицины. 2021. Т. 5. № 4. С. 241–250.
3. Бессонова А. В., Манаенкова М. О. Боярышник как лекарственное сырье // Наука и образование. 2020. Т. 3. № 4 [Электронный ресурс]. – URL: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/2733> (дата обращения 05.11.2025)
4. ГОСТ 13399-89. Цветки арники. Технические условия [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/11302/?ysclid=mj9ugjdypt900570192> (дата обращения 05.11.2025)
5. Investigating the antioxidant potential of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) products / B. Kapci, E. Neradová, H. Čížková, et al. // J. Food Nutr. Res. 2013. Vol. 52. P. 219–229.

БИОИНДИКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В НЕКОТОРЫХ ГОРОДАХ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю. М. Андриянова, Ю. М. Мохонько, И. В. Сергеева

*Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и
инженерии имени Н. И. Вавилова, zay-84-84@mail.ru*

В статье представлены результаты комплексного исследования реакции древесных культур на антропогенное воздействие. Биологическим методом проведён сравнительный анализ ответных реакций древесных растений на сходных участках. Получены новые знания о биоиндикационных свойствах древесных культур, которые могут служить показателями для экспрессной оценки качества городской среды, а также положены в основу экологического мониторинга на территориях промышленных центров.

Ключевые слова: биоиндикатор, урбосреда, биоиндикационные свойства, древесные культуры.

Возрастание антропогенного воздействия на окружающую среду приводит к негативным изменениям структуры, продуктивности и функционирования экосистем и биосфера в целом. Особое значение приобретает информация об уровнях загрязнения, характере и интенсивности ответной реакции биологических объектов на влияние токсикантов. Поэтому целесообразным становится поиск биологических индикаторов отклонений в экосистемах.

В условиях высокой плотности городского населения, интенсивного загрязнения урбосреды промышленными предприятиями и автотранспортом, особо важными становятся пути оптимизации среды обитания человека. Для улучшения ситуации в современном городе, наряду с решением многих насущных проблем жилого фонда и транспорта, особую важность приобретает формирование комплексной системы озеленения городских территорий.

Компоненты системы озеленения современного города – не только эстетически ценная инфраструктура, но и фактор оздоровления окружающей среды, вносящий вклад в очистку воздуха от загрязнителей, обогащение его кислородом и фитонцидами. Достаточно крупные по площади зелёные зоны и парки могут выступать в качестве рефугиумов для многих видов местных растений, в том числе охраняемых, и даже животных, достаточно толерантных к условиям городской среды.

С другой стороны, территория зелёных зон и парков города, в разной степени подверженная рекреационному прессу и загрязнению среды, может использоваться в качестве полигона биологического мониторинга, необходимого дополнения физико-химическому контролю качества городской среды. Оценка состояния городских насаждений важна как для отслеживания изме-

нений качества условий урбосреды, так и сама по себе, давая возможность своевременной помощи зелёным насаждениям [1–4].

Целью настоящей работы явилось комплексное изучение биоиндикационных свойств древесных культур и прогнозирование качества окружающей среды некоторых городов Саратовской области.

В статье описаны результаты изучения биоиндикационных свойств следующих деревьев: береза повислая – *Betula pendula* Roth, липа мелколистная – *Tilia cordata* Mill, тополь пирамидальный – *Populus pyramidalis* (*Populus nigra* var. *italic* Münchh.). Исследование проведено в условия антропогенно загрязненной городской среды в пределах четырёх ландшафтно-архитектурных ансамблей Саратовской области (в городах Саратов, Энгельс и Вольск). В качестве условного контроля изучен ландшафтно-архитектурный ансамбль лесхоза «Ново-Бурацкий».

«Набережная Космонавтов» – ландшафтно-архитектурный ансамбль, относится к группе «отдых», излюбленное место отдыха горожан и туристов г. Саратова. Сюда прибывают круизные теплоходы и начинаются маршруты по городу. Здесь много памятников: Ю. А. Гагарину, А. Шибаеву, К. А. Федину, памятник влюбленным, ротонда.

Набережная Космонавтов имеет протяженность 1,7 км. Данный ансамбль рассматривался нами, как единый массив, так как размещение древесных культур не позволяло сделать четкого разделения точек.

Анализ полученных экспериментальных данных свидетельствует, что все исследуемые древесные культуры одинаково реагируют на антропогенный прессинг. Построенные линии тренда изменяются симбатно.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что «чистая» территория Набережной Космонавтов на самом деле таковой не является. На основании расчёта флюктуирующей асимметрии (ФА) листьев, состояние окружающей среды можно отнести к критическому. Очевидно, это связано с тем, что город расположен между несколькими горами в котловине, на дне которой находится «Набережная Космонавтов».

Кроме того, в непосредственной близости от набережной находится автодорожный мост через р. Волгу с интенсивным движением. К набережной примыкают «Сарэнерго» и «Саратовмуга».

Более чувствительной к антропогенному прессингу можно считать березу повислую, менее чувствительным является тополь пирамидальный. Детальный анализ биоиндикационных свойств древесных культур, произрастающих на «Набережной Космонавтов», позволяет выстроить их в следующий ряд:

береза повислая > липа мелколистная > тополь пирамидальный.

Энгельсская набережная не похожа ни на одну набережную в мире. Волжский берег здесь сохранен практически в первозданном виде. Это дамба протяженностью в несколько километров, с которой открывается красивый вид на залив и острова.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет заключить, что все исследуемые древесные культуры однозначно реагируют на антропогенный прессинг. Вместе с тем, логично проследить тенденцию к нарастанию антропогенного прессинга связанного, вероятнее всего, с интенсификацией строительства жилого массива на набережной. Результаты трансформации ФА листьев березы позволяют четко проследить тенденцию перехода качества окружающей среды из состояния «предкритическое» в состояние «критическое» [5].

Изучение биоиндикационных свойств древесных культур в пределах ландшафтно-архитектурного ансамбля «Набережная» г. Энгельса позволяет выделить березу в качестве эффективного биоиндикатора, наиболее устойчивым к изменениям качества окружающей среды является тополь.

Систематические исследования биоиндикационных свойств древесных культур, произрастающих в пределах этого ансамбля, позволяет выстроить их в следующий биоиндикационный ряд:

береза повислая > липа мелколистная > тополь пирамидальный.

Масштабы набережной в г. Вольск не сравнить с Набережной Космонавтов в областном центре и даже в г. Энгельс, тем не менее, она очень аккуратная, зеленая и ухоженная.

На данном участке древесные культуры произрастают хаотично, отдельные трансекты не выделялись, мы рассматривали его как единый массив.

По результатам исследований можно заключить, что практически на всей территории набережной отмечается загрязнение атмосферного воздуха, связанное с деятельностью промышленных предприятий.

Анализ полученных результатов показал, что во временном интервале 2024–2025 гг. происходило усиление антропогенного прессинга. Ответные реакции всех древесных культур являются практически одинаковыми – увеличиваются значения ФА листьев всех выбранных древесных культур.

Высокие значения показателя стабильности развития в выборке березы повислой, по сравнению с другими культурами, исследуемыми на данном участке, позволяет отметить березу в качестве более чувствительного биоиндикатора.

Подробный анализ биоиндикационных свойств древесных культур, произрастающих в исследуемом сквере, позволяет выстроить их в следующий биоиндикационный ряд:

береза повислая > липа мелколистная > тополь пирамидальный.

Ландшафтно-архитектурный ансамбль лесхоза «Ново-Бурасский» использован в качестве условного контроля. Ландшафтно-архитектурный парк расположен на удалении 2,0–2,5 км от автомагистрали областного значения, проходящей через районный центр. Кроме того, территория лесхоза расположена в довольно экологически чистой зоне: каких-либо промышленных и сельскохозяйственных предприятий рядом не находится. В лесхозе представлен весь спектр исследуемых нами древесных культур. Деление на условные точки в лесхозе не проводили, его рассматривали как единый массив.

Согласно критериальным показателям, известным для березы, экологическое состояние на данном участке можно оценить, как условная «норма». Вместе с тем, наблюдается переход, в соответствии с бальной оценкой качества среды, от 2-го балла к 3-му баллу. Наиболее ярко биоиндикационные свойства проявляются у березы, наименее чувствительным оказался тополь.

Все древесные культуры на основании расчета ФА были выстроены в следующий биоиндикационный ряд:

береза повислая > липа мелколистная > тополь пирамидальный.

Детальный сравнительный анализ ответных реакций древесных растений на загрязнения показал, что при оценке качества среды на территориях исследуемых ансамблей получены одинаковые или близкие результаты. Вместе с тем, наиболее чувствительной к загрязнению является *Betula pendula*. Поэтому для скрининговой оценки качества городской среды мы рекомендуем высаживание их при формировании ансамблей городского дизайна.

Самым устойчивым к антропогенным загрязнителям оказался тополь пирамидальный, поэтому его можно рекомендовать не только для создания рекреационных зон, но и участков отдыха вблизи санитарно защитной зоны крупных промышленных предприятий, также вдоль автомагистралей.

Нами показано, что за истекший период 2024–2025 гг. наблюдается две тенденции для всех исследуемых таксонов в городской среде. Для ландшафтных ансамблей прослеживается тенденция четко выраженного увеличения ФА листьев у всех изучаемых деревьев. Наибольшее усиление ФА наблюдается для чувствительных биоиндикаторов – береза повислая и липа мелколистная.

У самой антропогенно устойчивой культуры – тополя пирамидального – также наблюдается увеличение ФА листьев за исследуемый период 2024–2025 гг. Однако это увеличение меньше по абсолютной величине.

Заметно, что самым «чистым» ландшафтно-архитектурным ансамблем оказался ансамбль «Набережная» в г. Вольске.

Нами установлено, что ФА листьев древесных культур может быть использована для прогноза качества конкретно-локальных биоценозов. Показано, что изменение значений ФА листьев березы на различных исследуемых площадках, испытывающих антропогенный прессинг различной силы, различно (рис.). Можно выделить наиболее загрязнённые участки. Аналогичную картину мы можем наблюдать, изучив изменения ФА и других культур.

Таким образом, сравнительная характеристика значений ФА исследуемых растений с достаточной степенью уверенности позволяет составить биоиндикационный ряд чувствительности растений.

В результате исследований выявлено, что оценка качества городской среды, проведённая с помощью расчета ФА листьев различных древесных культур, одинакова. Это особенно важно в том случае, когда качество среды обитания можно оценить только по одному или ограниченному числу видов древесных растений.

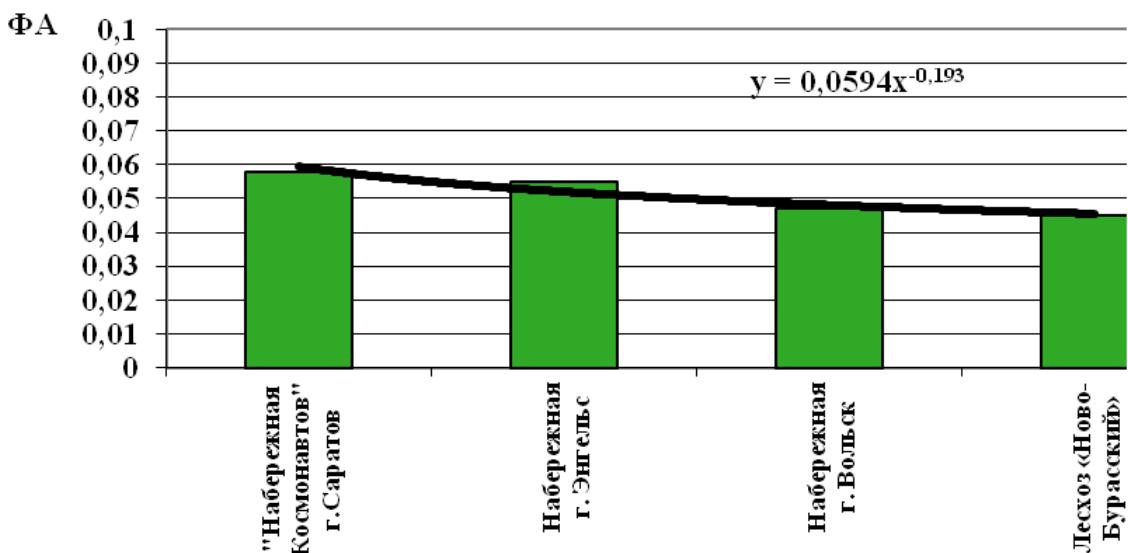


Рис. Значение показателей флюктуирующей асимметрии листьев (ФА) *Betula pendula* на изучаемых территориях

Мы предлагаем группу древесных культур, присутствие которых в городских биотопах обязательно, так как они являются эффективными биоиндикаторами состояния качества среды обитания, изменяющейся под воздействием антропогенных факторов: береза и липа.

В целом, проведённое исследование в пределах трёх ансамблей Саратовской области позволяет оценить качество среды обитания как предкритическое или критическое, которое требует принятия неотложных мер.

Таким образом, результаты исследований являются вкладом в разработку теоретических и практических основ экологического мониторинга антропогенно измененной городской среды; имеют практический интерес для организации ландшафтно-архитектурного дизайна города и построения его экологического каркаса. Этот методологический подход может быть использован для выбора рационального ассортимента древесных растений при составлении программ озеленения города.

Библиографический список

1. Биологический контроль качества окружающей среды Саратовской области / Ю. М. Андриянова, И. В. Сергеева, Ю. М. Мохонько и др. // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 03–05 декабря 2018 года). Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2018. С. 109–113.
2. Земляника – биологический маркер качества окружающей среды / Ю. М. Андриянова, И. В. Сергеева, Ю. М. Мохонько и др. // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 04–06 декабря 2017 года). Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2017. С. 173–177.
3. Исследование биоиндикационных свойств древесных культур на площади имени С. М. Кирова города Саратова / Д. С. Иванова, И. В. Сергеева, Ю. М. Мохонько и др. // Актуальные экологические проблемы и экологическая безопасность в современных услови-

ях : сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Саратов, 25–27 октября 2023 года). Саратов : Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, 2023. С. 186–193.

4. Исследование биоиндикационных свойств древесных культур на бульваре по улице «Большая садовая» города Саратова / И. В. Сергеева, Ю. М. Мохонько, Ю. М. Андриянова, Н. Н. Гусакова // Актуальные экологические проблемы и экологическая безопасность в современных условиях : сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Саратов, 25–27 октября 2023 года). Саратов : Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, 2023. С. 368–374.

5. Экологическая химия : учебное пособие / И. В. Сергеева, Ю. М. Андриянова, Ю. М. Мохонько, Н. Н. Гусакова. Саратов : ООО «Амирит», 2018. 194 с.

ЦИТОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГЕНОТИПОВ ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ТОКСИЧНОСТИ ИОНОВ АЛЮМИНИЯ

А. В. Бакулина¹, О. Н. Шуплецова^{1, 2}

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

² *Вятский государственный университет, olga.shuplecovva@mail.ru*

Цитологическая оценка, проведенная на 27 сортах ячменя (*Hordeum vulgare* L.), выявила чувствительность к токсическому действию ионов Al^{3+} у 18 генотипов. Апробация методики на разных сортах зарубежной и отечественной селекции показала её перспективность для оценки реакции ячменя на алюмокислый стресс, но также необходимость дальнейшей оптимизации.

Ключевые слова: ячмень, алюмоустойчивость, микроскопический анализ, зона корневого чехлика.

Ионы Al^{3+} проявляют фитотоксичность при рН почвы ниже 5,0 ед. Первоначально токсическое действие Al на растение связано с ингибированием деления и удлинения клеток корня, нарушением роста корней, что вызывает ухудшение усвоения питательных веществ и воды. Более поздние симптомы алюмокислого стресса – нарушение развития побега и снижение биомассы растения [1, 2].

Среди зерновых культур ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является наиболее чувствительным к алюминию при выращивании на кислых почвах [3]. В тоже время, ячмень характеризуется генотипической изменчивостью по этому признаку. Для корректной интерпретации обусловленных генотипом различий в алюмоустойчивости важно иметь объективную характеристику фенотипа.

В оценке алюмоустойчивости в лабораторных условиях используют преимущественно показатели длины корней у растений в контроле и в условиях алюмокислого стресса, или рассчитанный на их основе индекс длины корней. Однако, применение этих критериев для изучения устойчивости к токсичности ионов алюминия у злаков [4, 5] не всегда обеспечивает совпадение данных лабораторных экспериментов с результатами полевых исследова-

ний. Поэтому в настоящей работе оценивали возможность применения методики цитологической оценки алюмоустойчивости ячменя, предложенной Н. В. Кононенко с соавт. [6], как дополнительного критерия для изучения фенотипа.

Объектом исследования служили 27 сортов ячменя зарубежной и отечественной селекции. Семена для исследований любезно предоставлены лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, а также получены из коллекции генетических ресурсов растений ВИР.

Растения выращивали в рулонной культуре в течение 5 суток в условиях моделируемого алюмокислого стресса (40 мг/л ионов Al^{3+} , pH 4,0), контролем служила дистиллированная вода (pH = 6,0). Рулоны выдерживали в термостате при 21–23 °C.

Цитологическую оценку алюмоустойчивости осуществляли согласно методике [6]. Для микроскопического анализа отбирали пять проростков, не имеющих механических и инфекционных повреждений. Отрезали часть корня с чехликом и помещали в 1% раствор луголя на 10 мин. Окрашенные корешки просматривали в световом микроскопе Микромед-3 с видеоокуляром ToupCam UCMOS 05100 КРА, фотографировали. Повторность каждого образца – трёхкратная.

Статистический анализ полученных данных проводили стандартными методами с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010. Для оценки достоверности различий между двумя группами (контроль и Al) по наличию в корневом чехлике выраженной зоны клеток с окрашенными крахмальными зёренами для каждого сорта рассчитывали непараметрический ф-критерий углового преобразования Фишера ($2 \times \text{арксинус } \sqrt{X}$) [7]. Расчет ф-критерия проводили на сайте (<https://www.psychol-ok.ru/statistics/fisher/>), принят уровень значимости $p \leq 0,01$.

В основе использованной методики оценки алюмоустойчивости лежит микроскопический анализ крахмальных зёрен в клетках корневого чехлика проростков ячменя. Предполагается, что устойчивые к алюмокислому стрессу генотипы имеют чёткую, ярко окрашенную зону клеток с крахмальными зернами в корневом чехлике, которая будет сохраняться и в условиях стресса, в то время как у чувствительных сортов эта зона в присутствие ионов Al^{3+} будет нарушена (рис.).

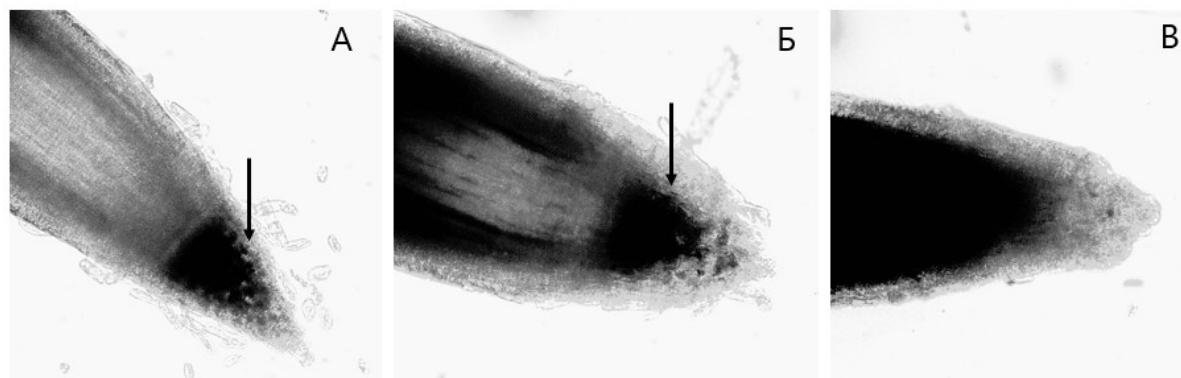


Рис. Микроскопия ($\times 200$) корней ячменя сорта Белогорский, выращенного в контрольных условиях (А) и в присутствии ионов Al^{3+} (Б, В). Стрелками обозначена зона клеток с окрашенными крахмальными зёренами

Таблица

Цитологический анализ генотипов ячменя на наличие в чехлике корня зоны клеток с окрашенными крахмальными зернами

Генотип	Страна происхождения	Доля образцов, имеющих зону, %		$\Phi_{\text{ЭМП}}$
		контроль	Al	
Витрум	Россия	66,7	33,3	1,865
Памяти Дудина		93,3	13,3*	5,124
Дина		60,0	40,0	1,104
Бионик		86,7	46,7*	2,437
Новичок		46,7	66,7	1,112
Форвард		80,0	93,3	1,106
Родник Прикамья		93,3	6,7*	5,735
Боярин		80,0	26,7*	3,089
Белогорский		93,3	33,3*	3,801
Рахат		86,7	20,0*	4,02
Nakano Wase	США	66,7	33,3	1,865
Dayton		93,3	26,7*	4,196
Harbin		80,0	40,0*	2,314
Trebi		93,3	26,7*	4,196
Keystone	Канада	46,7	20,0	1,583
Anoidium		86,7	20,0*	4,02
Vantage		86,7	33,3*	3,19
Titan		93,3	13,3*	5,124
Paragon		80,0	40,0*	2,314
Bonanza		93,3	20,0*	4,631
Trent		93,3	26,7*	4,196
Murasa kimochi	Япония	53,3	46,7	0,361
Нутанс 80	Украина	80,0	20,0*	3,525
Milton	Швеция	93,3	20,0*	4,631
Triumph	Дания	93,3	13,3*	5,124
Зазерский 85	Беларусь	46,7	33,3	0,753
Tallon	Австралия	66,7	53,3	0,75

Примечание: * – варианты, достоверно отличающиеся от контроля при $p \leq 0,01$ ($\Phi_{\text{теор}} = 2,31$).

Согласно данным цитологической оценки, исследуемые сорта ячменя различались по реакции на алюмоустойчивость. К группе устойчивых было отнесено 9 генотипов, у которых доля образцов, имеющих выраженную зону с окрашенными крахмальными зёренами, в контроле и в присутствии ионов Al^{3+} статистически значимо не различалась (табл.).

В эту группу вошли сорта с ранее установленной алюмоустойчивостью селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (Витрум, Форвард, Новичок, Дина) [8]; а также алюмоустойчивые зарубежные сорта (Nakano Wase и Murasa kimochi). Среди устойчивых генотипов выделялись сорта Новичок и Форвард, у которых в условиях стресса доля образцов, имеющих в чехлике зону окрашенных клеток, не снизилась, а, напротив, увеличилась (на 20,0 и 13,3% соответственно) от контроля.

Чувствительность к ионам Al^{3+} проявили 18 генотипов, среди которых высокоурожайные сорта (Triumph, Боярин), солечувствительный сорт Белогорский и сорта, у которых алюмоустойчивость ранее не была охарактеризована. Однако достоверные различия между контролем и Al стрессом были выявлены также у алюмоустойчивых генотипов (Бионик, Родник Прикамья, Dayton).

Таким образом, апробированная на большем наборе сортов ячменя цитологическая оценка позволила выявить различия по алюмоустойчивости среди исследуемых генотипов, обеспечивая проведение качественного анализа, т. е. распределение генотипов на устойчивые и чувствительные. Однако нами были отмечены различия по доле образцов корневых чехликов с зоной окрашенных клеток между сортами ячменя и в контрольных условиях, а также изменения цитологии корней в присутствии стресса (деформация клеток, утолщение корня, темная окраска меристемы), которые не учитывались в представленной методике. В дальнейшем планируется оптимизация метода цитологической оценки для фенотипирования образцов с учетом дополнительных признаков.

Библиографический список

1. Foy C. D. Physiological effects of hydrogen, aluminium, and manganese toxicities in acid soil // Soil acidity and liming / Eds. R. W. Pearson, F. Adams. Wisconsin : Amer Soc. Agronomy, 1984. P. 57–97.
2. A new allele for aluminium tolerance gene in barley (*Hordeum vulgare* L.) / Y. Ma, C. Li, P. R. Ryan, et. al. DOI: 10.1186/s12864-016-2551-3 // BMC Genomics. 2016. Vol. 17. No. 1. Article No. 186.
3. Minella E., Sorrells M. E. Aluminum tolerance in barley: genetic relationships among genotypes of diverse origin. DOI: 10.2135/cropsci1992.0011183X003200030005x // Crop Science. 1992. Vol. 32. No. 3. P. 593–598.
4. Development of a novel aluminum tolerance phenotyping platform used for comparisons of cereal aluminum tolerance and investigations into rice aluminum tolerance mechanisms / A. N. Famoso, R. T. Clark, J. E. Shaff, et al. // Plant Physiology. 2010. Vol. 153. No. 4. P. 1678–1691.
5. A genetic analysis of aluminium tolerance in cereals / S. Navakode, A. Weidner, R. K. Varshney, et al. // Agriculturae Conspectus Scientificus. 2010. Vol. 75. No. 4. P. 191–196.

6. Тестирование устойчивости разных форм ячменя (*Hordeum vulgare* L.) к токсическому действию алюминия / Н. В. Кононенко, И. А. Чабан, Е. А. Смирнова и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-121-130 // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 121–130.

7. Урбах В. Ю. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. М. : Изд-во МГУ, 1975. 275 с.

8. Шуплецова О. Н., Товстик Е. В., Щенникова И. Н. Изменение содержания полифенолов в растениях ячменя на стрессовых почвенных фонах. DOI: 10.31857/S2500262723060030 // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 6. С. 15–19.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭФИРНОГО МАСЛА ИЗ ЦВЕТКОВ ЧУБУШНИКА ОБЫКНОВЕННОГО

A. С. Ефремова, Т. А. Адамович
Вятский государственный университет,
aruinaefremova3235@yandex.ru

В статье приведены результаты экспериментального изучения физико-химических показателей эфирного масла, полученного из цветков чубушника обыкновенного методом гидродистилляции. Определены физико-химические константы масла такие как: показатель преломления, кислотное число, эфирное число и число омыления. Сделан вывод о целесообразности применения чубушника как сырья для парфюмерно-косметической промышленности.

Ключевые слова: эфирное масло, цветок, чубушник обыкновенный, показатель преломления, кислотное число, эфирное число, число омыления.

Особый интерес представляют растения, традиционно используемые в народной медицине, но недостаточно изученные с точки зрения доказательной науки, их химического состава и стандартизации получаемых из них продуктов. Влияние биологически активных веществ растительного происхождения на физиологические процессы широко известно, а доступность и возобновляемость природных ресурсов дают возможность рассматривать растения как источники активных и безопасных молекул для фармацевтической промышленности [1].

Чубушник обыкновенный (*Philadelphus coronarius* L.) – неприхотливый, зимостойкий кустарник, широко культивируемый по всей России. Это обеспечивает стабильную, дешевую и легко возобновляемую сырьевую базу без ущерба для природных популяций [2]. Однако, его потенциал как источника биологически активных веществ (БАВ) изучен крайне фрагментарно.

Отличительной особенностью чубушника обыкновенного является наличие в его цветках эфирного масла. Эфирные масла – продукты растительного происхождения, являющиеся многокомпонентными смесями лету-

чих душистых веществ и относящиеся к различным классам органических соединений [3]. Эфирное масло чубушника, обладающее тонким, изысканным ароматом, является ценным, но малоиспользуемым продуктом [4]. Противовоспалительные и антимикробные свойства эфирного масла чубушника могут быть использованы при создании средств для лечения акне, дерматитов и для ускорения заживления ран. Оно может стать одновременно и активным компонентом, направленным на заживление повреждений, и натуральным ароматизатором, оказывающим легкое седативное действие.

Эфирные масла могут быть получены из разных частей растений, в том числе из корней, стеблей, соцветий, семян, коры, древесины и листьев. Они распределяются по органам растения неравномерно: чаще всего сосредотачивается в каком-либо одном органе (листьях, цветках, корнях, плодах).

Целью работы является получение эфирного масла из цветков чубушника обыкновенного и комплексное изучение физико-химических показателей для оценки его качества и потенциальной практической ценности.

Показатель преломления был определен рефрактометрическим методом. Метод определения кислотного числа основан на титровании свободных кислот, содержащихся в навеске эфирного масла, спиртовым раствором гидроксида калия в присутствии индикатора фенолфталеина [5]. Суть метода определения эфирного числа заключается в реакции омыления сложных эфиров в анализируемом образце эфирного масла избытком спиртового раствора гидроксида калия (КОН) с последующим титрованием неизрасходованного остатка щелочи раствором хлороводородной кислоты (НСl) [6]. Метод определения числа омыления основан на омылении эфирных соединений и титровании свободных кислот, содержащихся в навеске эфирного масла, избытком спиртового раствора гидроксида калия [7].

Сырье для исследования отобрано в Слободском районе Кировской области в конце июня 2025 г., что является периодом цветения данного растения в этой географической широте.

Для получения эфирного масла использовали простейший метод гидродистилляции, суть которого заключается в отгонке воды в присутствии растительного материала. Перегретый пар быстро нагревает воду в гидродистилляторе и обеспечивает равномерный тепловой фронт, проходящий через сырьё [8].

Предварительное исследование показало, что получение эфирного масла из цветков чубушника является более выгодным, чем его получение из листьев. Изначально сырье было измельчено до диаметра частиц 3 мм. Выход эфирного масла из цветков чубушника обыкновенного составил 0,12%, что является типичным значением для цветочного сырья и указывает на целесообразность его промышленной переработки. Полученное эфирное масло было исследовано и установлено кислотное и эфирное числа, число омыления, а также показатель преломления.

Было установлено, что показатель преломления – 1,3852 – находится ниже диапазона, характерного для многих цветочных эфирных масел.

Кислотное число – 12,6 – соответствует диапазону, установленному нормами, что в первую очередь говорит о качестве эфирного масла и отсутствии процессов окисления.

Эфирное число – 152,4 – является важнейшим показателем для цветочных масел. Оно отражает общее содержание сложных эфиров – соединений, вносящих основной вклад в ароматический букет. Высокое эфирное число напрямую коррелирует с интенсивным и устойчивым цветочным ароматом, характерным для чубушника.

Число омыления – 165 – подтверждает, что основную фракцию масла составляют именно сложные эфиры.

В результате проведенных исследований получено эфирное масло из цветков чубушника обыкновенного с выходом 0,12%. Впервые для данного образца определен комплекс физико-химических констант: показатель преломления, кислотное, эфирное и число омыления.

Установлено, что масло характеризуется высокой кислотностью и высоким содержанием сложных эфиров, что обуславливает его высокие парфюмерные свойства и стабильность. Определённые показатели могут быть предложены в качестве норм для будущих стандартов на эфирное масло *Philadelphus coronarius*.

Библиографический список

1. 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.-метод. конф. СПб. : Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия, 2017. С. 7–9.
2. Землянова В. Е., Розно С. А. Виды и сорта чубушников в коллекции Ботанического сада Самарского университета: особенности роста, цветения, возможности использования в насаждениях в урбосреде // Экологический сборник 7 : труды молодых ученых. Всерос. (с междунар. участием) молодежная науч. конф. Самара, 2019. № 1. С. 183–186.
3. ОФС.1.5.2.0001. Эфирные масла // Государственная фармакопея РФ. XIV издание [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-5/1-5-3/efirnye-masla/> (дата обращения: 05.11.2025).
4. Калинкина Г. И., Дремова Н. Б. Исследование компонентного состава эфирного масла *Philadelphus coronarius* L. // Фундаментальные исследования. 2014. № 9–5. С. 949–953.
5. ОФС.1.2.3.0004. Кислотное число // Государственная фармакопея РФ. XIV издание [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-2/1-2-3-metody-kolichestvennogo-opredeleniya/kislotnoe-chislo/> (дата обращения: 05.11.2025).
6. ОФС.1.2.3.0009. Эфирное число // Государственная фармакопея РФ. XIV издание [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/1/1-2/1-2-3/efirnoe-chislo/> (дата обращения: 05.11.2025).
7. ОФС.1.2.3.0008.15. Число омыления // Государственная фармакопея РФ. XIV издание [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/1/1-2/1-2-3/chislo-omyleniya/> (дата обращения: 05.11.2025).
8. Ефремов А. А. Метод исчерпывающей гидропародистилляции при получении эфирных масел дикорастущих растений // Успехи современного естествознания. 2013. № 7. С. 88–94.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ *OXYVARPHUS NYCTAGINEUS* (MICHX.) SWEET НА ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТАХ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

A. B. Калинина

Донецкий государственный университет, *kalinina.angela91@mail.ru*

В статье представлены результаты обследования локальных местообитаний адвентивного вида *Oxybaphus nyctagineus* (Michx.) Sweet, сформированных на трансформированных экотопах г. Макеевки. Выявлены некоторые параметры демографической структуры ценопопуляций, а также особенности распространения вида. Установлено, что наиболее подходящими для натурализации и расселения оксибафуса ночецветного являются условия жилой городской застройки.

Ключевые слова: адвентивный вид, урбанизированные экотопы, антропогенно трансформированная среда, *Oxybaphus nyctagineus* (Michx.) Sweet, г. Макеевка.

Одним из ключевых факторов, способствующих трансформации экосистем, является адвентизация флоры. Распространение чужеродных растений обусловлено хозяйственной деятельностью человека, приводит к смешиванию и унификации флоры, как следствие – потере региональной уникальности биоразнообразия [1–4].

Для обеспечения эффективного контроля за распространением адвентивных растений, выявления тенденций современной эволюции флоры и прогнозирования направлений её развития требуется проведение комплексных исследований, направленных на накопление данных о видовом составе чужеродной фракции отдельных регионов, выявление эколого-биологических особенностей видов, их ценотических характеристик, а также способности видов к натурализации в различных конкретных условиях [3, 5–7].

Оксибафус ночецветный – *Oxybaphus nyctagineus* (Michx.) Sweet – заносной вид, встречающийся на урбанизированных ландшафтах Донецкой народной республики (ДНР) [8], обладает рядом биологических и экологических свойств, позволяющих ему активно распространяться и натурализоваться на антропогенно-трансформированных территориях в пределах вторичных ареалов.

Цель работы – определение особенностей распространения чужеродного вида *Oxybaphus nyctagineus* на урбанизированных территориях Донецко-Макеевской агломерации.

Oxybaphus nyctagineus – представитель семейства никтагиновых (Nyctaginaceae), родина растения – Северная Америка, завезен в Европу и Ев-

ропейскую часть РФ в качестве декоративного растения, натурализовался в ряде регионов, где на данный момент является сорным видом.

Это многолетнее травянистое растение, которое размножается вегетативным и семенным способом. В ходе вегетации образует раскидистый куст с приподнимающимися или наклоненными побегами. Листья расположены супротивно, голые, черешковые, форма листовой пластинки от широкояйцевидной до почти треугольной. Главный корень веретеновидный, толстый, способный ежегодно возобновлять побеги даже после повреждения надземной части. Соцветие – раскидистое, плод – сухой орешек.

Особенность таксона заключается в способности образовывать два типа цветков: типичные для вида – хазмогамные, обеспечивающие перекрёстное опыление, и клейстогамные – редуцированные, самоопыление которых проходит в нераскрывшемся цветке [9].

Такие репродуктивные особенности вида, как образование двух морф цветков и способность к вегетативному размножению с помощью корневой системы, являются важным адаптивным механизмом, повышающим устойчивость существования ценопопуляций (ЦП) в условиях трансформированных экотопов под воздействием экстремальных факторов среды.

Для достижения цели исследования использован маршрутный метод, также классические фитоценотические методы: сбор и гербаризация образцов растений, закладка пробных площадок, составление геоботанических описаний, фотофиксация.

На территории ДНР вид встречается по обочинам дорог, в щелевых экотопах, на рекреационных и дворовых территориях, в садах, на огородах и пустырях. В ходе данного исследования детально рассмотрены наиболее крупные локалитеты ценопопуляций *Oxybaphus pustagineus*, выявленные на селитебных и техногенных экотопах г. Макеевки.

Локалитет № 1 – дворовая территория жилой застройки в Центрально-городском районе г. Макеевки.

Обследованный участок характеризуется наибольшей площадью распространения особей. За период наблюдений с 2020 г. по 2025 г. растения значительно «ушли» от первоначального места обнаружения, диаметр зоны расселения составил около 1 км. Наибольшее скопление организмов отмечено в пределах одного жилого квартала, где особи произрастают на рудерализованных газонах, в щелях асфальтного покрытия, у бордюров, фундаментов домов (рис.). Обследованные растительные сообщества с участием *Oxybaphus pustagineus* не подвергаются регулярному покосу.

Наиболее многочисленные группировки выявлены в пределах щелевых экотопов. Особи находятся в разных онтогенетических состояниях, плотность достигает до 10 особей на 1 м², видовая насыщенность – 5,5±0,7 видов.

Растения цветут с мая по сентябрь. Следует отметить, что в данной локации с мая и до начала июня на особях формируются хазмогамные цветки ярко-пурпурного цвета, в остальное время цветения образуются клейстогамные цветки.

Локалитет № 2 – породный отвал угольной шахты в Советском районе г. Макеевки.



Рис. *Oxybaphus pustagineus* на антропогенно нарушенных территориях г. Макеевки: А – особь с хазмогамными цветками (цветение – май, место произрастания – щели асфальта); Б – особь в конце июля (условия рудерализированного газона)

В 2019 г. на южном склоне породного отвала обнаружена одна ЦП осибафуса ночецветного. В первые годы наблюдения 2019–2020 гг. она была достаточно многочисленной, плотность – до 7 особей на 1 м². В составе ЦП выявлены особи на разных стадиях онтогенеза, видовая насыщенность сообщества составляла $3,9 \pm 0,4$ видов. В данном местообитании расширения зоны распространения особей не отмечено, численность значительно снизилась за годы наблюдения: в 2024 г. количество особей было минимально – отмечено только 5 особей на пробной площадке.

Локалитет № 3 – железнодорожные пути на территории угольной шахты Советского района г. Макеевки.

Впервые *Oxybaphus pustagineus* выявлен на железнодорожных путях в 2021 г. Особи не образуют больших скоплений, встречаются по 1–3 на 1 м² на участке железнодорожного полотна протяжённостью до 650 м, видовая насыщенность образовавшихся группировок – $3,3 \pm 0,8$ видов. В течение наблюдений значительных колебаний численности особей не выявлено, что свидетельствует об устойчивом состоянии ЦП в составе данных фитоценозов.

Таким образом, на разных типах трансформированных экотопов г. Макеевки ЦП *Oxybaphus pustagineus* характеризуются различной устойчивостью и неодинаковой способностью к расселению. Наибольшее распространение особей отмечено на территории городской застройки, более подходящими для произрастания оказались условия щелевых экотопов. Расшире-

ние зоны расселения оксибафуса ночецветного на территории жилой застройки, возрастание численности ЦП, способность к образованию большого количества семян и вегетативному возобновлению свидетельствуют об инвазивной способности вида. Однако следует отметить, что на породном отвале и железнодорожном полотне *Oxybaphus nyctagineus* не демонстрирует активного распространения.

Для выявления инвазивной активности таксона, контроля распространения и разработки мер борьбы с расширением ареалов заносных видов на территории ДНР, необходимо проведение дальнейших мониторинговых исследований растительных сообществ, сформированных на трансформированных ландшафтах.

Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ НИОКР 124051400023-4).

Библиографический список

1. Бурда Р. И. Антропогенная трансформация флоры. Киев, 1991. 169 с.
2. Ильминских Н. Г. Обзор работ по флоре и растительности городов // Географический вестник. 2011. № 1(16). С. 49–65.
3. Калинина А. В. Адвентивный компонент придорожных фитоценозов Донецко-Макеевской агломерации // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы ХХII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 18–19 ноября 2024 г.). Киров, 2024. С. 248–251.
4. Сафонов А. И. Опыт фитоиндикационной оценки антропогенных экотопов Донбасса (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2025-2-016-029 // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 2. С. 16–29.
5. Калинина А. В. Урбanoфлора щелевых экотопов Донецко-Макеевской агломерации. DOI: 10.5281/zenodo.15082400 // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2025. № 2. С. 38–43.
6. Корниенко В. О., Хархота Л. В. Мониторинг состояния древесных растений центральной части города Донецка. DOI: 10.55355/snv2023122107 // Самарский научный вестник. 2023. Т. 12. № 2. С. 46–51.
7. Сафонов А. И. Опыт проведения мониторинга в современных условиях Донбасса: критерии региональной фитоиндикации // Экология родного края : проблемы и пути их решения : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Киров, 23–24 апреля 2025 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2025. С. 69–73.
8. Остапко В. М., Бойко А. В., Мосякин С. Л. Сосудистые растения юго-востока Украины. Донецк : Ноулидж, 2010. 247 с
9. Gudžinskas Z. *Oxybaphus nyctagineus* (Michx) Sweet (Nyctaginaceae) – a ne walien plant species in the Lithuanian flora // Ekologija. 1995. № 1. Р. 3–5.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕКОРАТИВНЫХ ВЕСЕННЕЦВЕТУЩИХ РАСТЕНИЙ В ДОНБАССЕ

Ю. С. Калинина

Донецкий государственный университет, *yu.kalinina91@mail.ru*

В работе представлены результаты экологической оценки и особенностей цветочного оформления в Донбассе на период весеннего цветения растений. Проанализирован ассортимент растений, их приуроченность к экологическим группам, дана оценка состояния цветников.

Ключевые слова: весеннецветущие растения, декоративность, экологические группы, Донбасс.

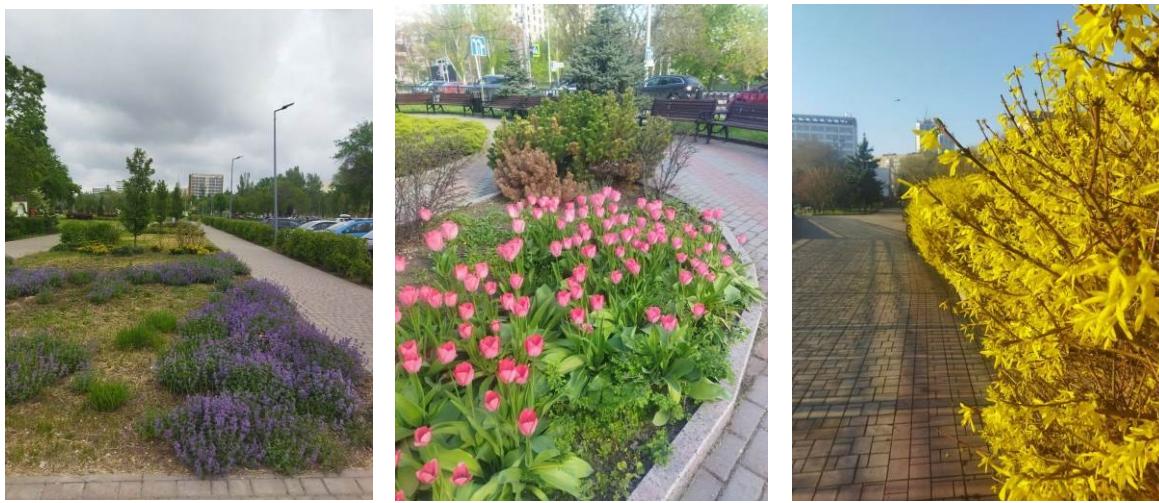
Раннецветущие травянистые (в том числе луковичные) и кустарниковые растения [1, 2] выполняют важную функцию в цветочно-декоративном оформлении урбанизированного пространства после периода зимнего покоя, а также являются неотъемлемой составляющей природных и антропогенных экосистем. Доминирующими культурами в этот период являются луковичные и некоторые кустарниковые растения, у которых срок цветения приходится на этот период [3]. Они обогащают окружающее трансформированное пространство, создавая яркие цветовые акценты.

Зелёные зоны благоприятно влияют на психоэмоциональное состояние человека, снижают уровень тревожности, создают приятный эстетический эффект, смягчают негативное воздействие городской среды, что особенно актуально во время пробуждения природы [4]. Долгожданные первоцветы и пышное цветение декоративных кустарников вызывает особое восхищение и радость у городского жителя.

Цель работы – анализ таксономического разнообразия цветников Донбасса в период весеннего цветения, экологических характеристик видов и сортов растений.

Исследование проводили весной 2025 г. Объектом послужили раннецветущие растительные композиции в следующих локациях: ул. Набережная, ул. Челюскинцев, ул. Артёма, ул. Университетская, пер. Орешкова, пр. Гурова, бульв. Шевченко, бульв. Пушкина, пл. Ленина, парк Кованых фигур Ворошиловского района, пр. Ильича Калининского района г. Донецка, парк культуры и отдыха им. Н. А. Гурова Ильичёвского района г. Мариуполя, сквер Славы и парк Тихий Центрально-городского района г. Макеевки.

Цветники в условиях города были представлены различными ландшафтно-архитектурными вариациями: в парках и скверах, вдоль пешеходных зон и автомагистралей, на площадях, бульварах и внутриквартальных территориях, около мемориальных комплексов (рис.).



А

Б

В

Рис. Примеры цветочного весеннего оформления:

А – парк культуры и отдыха имени Н. А. Гурова г. Мариуполя;
Б – бул. Шевченко г. Донецка; В – ул. Набережная г. Донецка

Ассортимент растений представлен 14 семействами. Семейство розовые (Rosaceae) составляет 19%; маслиновые (Oleaceae), барбарисовые (Berberidaceae), лилейные (Liliaceae), ирисовые (Iridaceae) – по 9,5% каждое; яснотковые (Lamiaceae), кутровые (Aposynaceae), камнеломковые (Saxifragaceae), гребенниковые (Tamaricaceae), лютиковые (Ranunculaceae), синюховые (Polemoniaceae), спаржевые (Asparagaceae), гиациントовые (Hyacinthaceae), амариллисовые (Amaryllidaceae) – по 4,7%.

Характеризуя нижеперечисленные таксоны по приуроченности к экологическим группам (табл.), определено следующее:

1) по фактору освещённости 76% видов приспособлены к жизни на открытых, хорошо освещаемых солнцем местах; длительное затенение оказывает пагубное влияние на их полноценный рост и развитие;

2) по отношению к температурному фактору 86% видов эвритопны, что указывает на толерантность в широком диапазоне экологических факторов;

3) по требовательности к влаге 48% видов приспособлены к обитанию в среде с более или менее достаточным, но не избыточным увлажнением почвы. В засушливый период такие растения нуждаются в умеренном поливе.

Одна из задач исследования предусматривала выделение видов и сортов, у которых период цветения приходится на весенние месяцы. Из представленного ассортимента только один вид луковичных (*Muscari armeniacum* Leichtlin ex Baker) и один вид кустарников (*Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl) начинают своё цветение в марте, остальные – в апреле и мае.

Таблица

**Экологические характеристики и периоды цветения
весеннецветущих растений**

Вид	Экологический фактор			Период цветения		
	освещён- ность	температура	увлажнение	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7
Кустарниковые растения						
<i>Berberis thunbergii</i> DC. Барбарис Тунберга	C	T	ЭУ			
<i>Mahonia aquifolium</i> (Pursh) Nutt. Магония падуболистная	T	ЭВ	ЭУ			
<i>Spiraea × vanhouttei</i> (Briot.) Zabel. – Спирея Вангутта	C	ЭВ	М			
<i>Forsythia suspensa</i> (Thunb.) Vahl Форзиция поникшая	C	ЭВ	М			
<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb. Тамарикс ветвистый	C	ЭВ	ЭУ			
<i>Chaenomeles japonica</i> (Thunb.) Lindl. ex Spach – Айва японская	C	T	М			
<i>Rosa majalis</i> Herrm. Шиповник майский	C	ЭВ	ЭУ			
<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim ‘Luteus’ – Пузыреплодник калинолистный ‘Лютеус’	C	ЭВ	ЭУ			
<i>Ligustrum vulgare</i> L. Бирючина обыкновенная	C	ЭВ	К			
Травянистые растения						
<i>Vinca minor</i> L. Барвинок малый	T	ЭВ	КМ			
<i>Bergenia crassifolia</i> (L.) Fritsch Бадан толстолистный	ТВ	ЭВ	М			
<i>Phlox subulata</i> L. Флокс шиловидный	ТВ	ЭВ	ЭУ			
<i>Anemone sylvestris</i> L. Ветреница лесная	C	ЭВ	М			
<i>Convallaria majalis</i> L. Ландыш майский	T	ЭВ	М			
<i>Iris lactea</i> Pall. Ирис молочно-белый	C	ЭВ	М			
<i>Iris × hybrida</i> hort. Ирис гибридный	C	ЭВ	М			
<i>Nepeta racemosa</i> Lam. Котовник кистевидный	C	ЭВ	ЭУ			
Луковичные растения						
<i>Muscaris armeniacum</i> Leichtlin ex Baker – Мускари армянский	C	ЭВ	МК			
<i>Fritillaria imperialis</i> L. Рябчик императорский	C	T	М			

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7
<i>Tulipa agenensis</i> DC. Тюльпан аженский	С	ЭВ	ЭУ			
<i>Narcissus tazetta</i> L. Нарцисс тацетный	С	ЭВ	М			

Примечание: освещённость: С – светолюбивое, ТВ – теневыносливое; температура: Т – термофит, ЭВ – эвритоп; влажность: К – ксерофит, КМ – ксеромезофит, М – мезофит, МК – мезоксерофит, ЭУ – эумезофит.

При оценке цветников их качественное состояние определяли по следующим показателям: а) отличное – растения хорошо развиты, равные по качеству, удачно подобраны по колеру, времени цветения, высоте, нет сорняков и отпада; нет открытой почвы; б) удовлетворительное – растения нормально развиты, но их состав однообразен, отпад незначительный, сорняки единичны (не более 10% площади); имеется много открытой почвы; в) неудовлетворительное – растения слабо развиты, отпад значительный, сорняков много (более 10% площади), почва подвергается эрозии [5].

На исследуемых территориях состояние 90% цветников оценено как отличное, 10% цветников имеют удовлетворительное состояние, на некоторых клумбах нарушена плотность посадки цветочных культур и имеется незначительное количество сорных растений. Стоит отметить, что представленные травянистые и луковичные встречаются как монокультурными посадками в цветниках, так и в комбинации с другими цветочно-декоративными видами. Кустарники высажены солитерными посадками, в виде живой изгороди и миксбордером.

Указанный ассортимент растений свидетельствует об их адаптации к особенным природно-климатическим условиям региона, включая показатели температуры, влажности, освещённости, почвенных условий и уровня осадков. Такой подбор позволяет сформировать устойчивые ценопопуляции и минимизировать затраты на уход и дополнительное вмешательство. В результате, выбранные виды и сорта демонстрируют высокую приживаемость, устойчивость к местным стрессовым факторам и способствуют сохранению экологического баланса в условиях современной урбокосистемы.

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

Библиографический список

1. Барбасова И. П. Значение раннецветущих кустарников в озеленении городских пространств // Агрофорсайт. 2020. № 5 (29). С. 15–18.
2. Демьяненко Т. В. Видовой состав кустарников в городских насаждениях города Макеевки // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы IX Междунар. науч. конф. (г. Донецк, 15–17 октября 2024 года). Донецк : Донецкий национальный университет, 2024. С. 47–49.

3. Прокопович С. Е., Перешивко М. А., Мироненко Е. В. Использование раноцветущих многолетних травянистых растений в озеленении г. Брянска // Современные проблемы и инновации в ландшафтной архитектуре : материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Брянск, 16–17 февраля 2024 года). Брянск : Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2024. С. 65–69.

4. Головнев И. И., Головнева Е. Е. Весеннецветущие луковичные и травянистые многолетники в парковых композициях городской среды // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2020. № 134. С. 29–36.

5. Калинина Ю. С. Особенности цветочного оформления придорожных участков Донецко-Макеевской агломерации // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 18–19 ноября 2024 года). Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 251–254.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ЭКСТРАКЦИИ БЕТАЛАИНОВЫХ ПИГМЕНТОВ СВЕКЛЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

К. Ю. Краев, Е. С. Соловьёва

Вятский государственный университет, kirill.kraev.04@mail.ru

В статье представлены результаты исследования условий экстракции беталаиновых пигментов корнеплода свеклы обыкновенной, что необходимо для обеспечения наибольшего антиоксидантного потенциала полученного экстракта. Установлено, что наилучшее извлечение пигментов происходит при использовании 20% этанола, гидромодуля 1:25, температуры экстрагирования 40 °С и времени 90 минут.

Ключевые слова: свекла обыкновенная, корнеплод, экстракция, антиоксиданты, беталаиновые пигменты, спектрофотометрия, потенциометрия.

Свекла обыкновенная (*Beta vulgaris* L.) – травянистое растение порядка гвоздичноцветные (Caryophyllales), семейства амарантовые (Amaranthaceae). Она содержит в своем составе небольшое количество органических кислот: винной, лимонной, молочной, щавелевой, яблочной, а также белков – до 2%. Ее калорийность выше других корнеплодов, что обусловлено более высоким содержанием сахаров, представленных сахарозой. В ней содержится большое количество витаминов: С, В₁, В₂, В₆, Р, РР, каротин, пантотеновая (В₃) и фолиевая (В₉) кислоты. В свекле накапливаются важные для организма человека микроэлементы, такие как бор, марганец, цинк, фтор. Она превосходит по накоплению солей фосфора, калия, йода другие овощи, немало в ней кальция, магния и серы. Однако, особый интерес для исследования представляют биологически активные вещества свеклы – беталаиновые пигменты [1].

Беталаиновые пигменты – это водорастворимые азотсодержащие пигменты двух групп: красно-фиолетовые бетацианины, составляющие большую долю, и желтые – бетаксантины. Они обеспечивают яркие цвета листьев, плодов, семян, стеблей и цветков. Локализуются беталаины в вакуолях клеток: в

эпидермальных и субэпидермальных тканях растений [2]. Беталаины обеспечивают распространение пыльцы и семян с помощью привлечения животных яркой окраской цветков и плодов, защищают ткани от ультрафиолетового излучения и повышают устойчивость к патогенам и вирусам [3].

Беталаины применяется в пищевой и косметической промышленности в качестве источника для получения красителя и пищевой добавки. В последнее время в медицине возрос интерес к беталаинам в связи обладанием ими антиоксидантными, химиопрофилактическими и противовоспалительными свойствами [4].

Чаще всего беталаиновые пигменты извлекают в жидкие экстракты. На их стабильность и извлечение влияет множество факторов (температура, свет, кислород воздуха и др.) [5]. Кроме того, в условиях постоянно меняющейся окружающей среды растения демонстрируют широкий спектр приспособлений или адаптаций. Причем вегетативные органы, в том числе корнеплоды, более чувствительны к изменениям экологических факторов среды обитания [6]. То есть содержание пигментов также зависит от условий выращивания. В связи с этим представляется актуальным поиск наиболее эффективных условий экстракций, приводящих к максимальному выходу в экстракт беталаиновых пигментов и максимальной антиоксидантной активности.

Цель работы – получить экстракт беталаиновых пигментов из корнеплода свеклы обыкновенной с максимальным содержанием антиоксидантов.

Определение суммарного содержания бетаксантинов и бетацианинов проводили на спектрофотометре «СФ-102», измеряя оптическую плотность при длинах волн 469 нм и 535 нм, на которых наблюдался максимум поглощения вульгаксантина I (бетаксантин) и бетанина (бетацианин). Раствор сравнения – используемый экстрагент при получении экстрактов [7].

Количество сухих веществ определяли методом высушивания до постоянной массы [8]. Данные о массовой доле сухих веществ были необходимы для пересчета содержания беталаиновых пигментов на абсолютно сухое вещество.

Для определения содержания антиоксидантов использовали метод потенциометрии с использованием медиаторной системы, состоящей из гексацианоферрат(III) калия и гексацианоферрат(II) калия [9]. Измерение проводили на иономере лабораторном «И-160МИ» с хлорсеребряным электродом сравнения и платиновым рабочим электродом. Перерасчет вели на аскорбиновую кислоту. Статистическую обработку данных проводили в MS Excel. Все результаты в таблицах представлены в виде средних значений от трех повторностей и их доверительных интервалов ($P = 0,95$).

Для получения экстракта беталаиновых пигментов с наибольшим содержанием антиоксидантов предстояло выбрать время экстракции, наиболее эффективный экстрагент и его концентрацию, гидромодуль (отношение массы растительного сырья к объему экстрагента) и температуру. Массовая доля сухих веществ в корнеплоде свеклы составила $(10,90 \pm 0,29)\%$, что сходится с

данными литературы, по которым доля сухих веществ составляет от 11 до 27% [1].

Результаты определения содержания беталаинов и антиоксидантов от времени экстракции дистиллированной водой представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание (С) беталаинов в экстрактах при разном времени экстрагирования

T, мин	C _{БК} , мг/100 г СВ	C _{БЦ} , мг/100 г СВ	C _{АО} , мг/мл
30	59,4±0,6	250,0±0,5	0,0229±0,0018
60	66,42±0,23	263,2±1,1	0,0264±0,0024
90	81,22±0,26	301,41±0,26	0,0351±0,0039

Примечание: здесь и в табл. 2: Т – время, СВ – сухое вещество, БК – бетаксантины, БЦ – бетацианины, АО – антиоксиданты.

С увеличением времени экстракции увеличивается извлечение пигментов, что в свою очередь повышает антиоксидантные свойства экстракта. Таким образом, для получения экстракта с наибольшим антиоксидантным потенциалом следует добиться максимального извлечения беталаиновых пигментов. Оптимальным временем экстрагирования является 90 минут.

Результаты определения содержания беталаинов в зависимости от различных факторов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание беталаинов в экстрактах

Условия экстракции		C _{БК} , мг/100 г СВ	C _{БЦ} , мг/100 г СВ
Экстрагент	Вода	81,22±0,26	301,41±0,26
	Этанол 20%	175,4±1,2	488,4±3,0
Концентрация экстрагента (этанол), %	20	175,4±1,2	488,4±3,0
	40	179,2±1,4	440,9±1,9
	70	192,5±0,7	406,5±2,1
Гидромодуль, г сырья/мл экстрагента	1/20	111,9±1,1	317,3±1,3
	1/25	144,7±0,7	397,3±1,0
	1/30	146,45±0,35	370,6±0,5
Температура экстракции, °C	30	78,20±0,35	247,1±2,1
	40	139,3±1,5	473,5±0,6
	50	90,9±0,8	225,4±0,6

Этиловый спирт в качестве экстрагента смог извлечь большее количество пигментов, чем дистиллированная вода, поэтому в дальнейшем использовался именно он.

С уменьшением концентрации этилового спирта повышается выход бетацианинов. С увеличением концентрации повышается выход бетаксантинов, что связано с разложением бетацианинов и образованием продуктов деградации – бетаксантинов. 20% этанол является лучшим экстрагентом для извлечения пигментов.

Экстракция идет до тех пор, пока есть разница концентраций между извлекаемыми компонентами в сырье и уже извлеченными в экстрагенте. Более

большой гидромодуль способствует тому, что большее количество пигментов будет диффундировать в растворитель для достижения равновесия. Однако, слишком большой гидромодуль уменьшает выход бетацианинов из-за увеличения количества кислорода в растворителе, который вызывает деградацию этой группы пигментов. Наиболее эффективным является соотношение массы сырья к объему экстрагента как 1:25.

Наиболее перспективной является использование температуры 40 °C. Температуры выше 50–60 °C вызывают разрушение бетацианинов и увеличение числа бетаксантинов [5].

Таким образом, для наиболее полного извлечения беталаиновых пигментов из свеклы и получения экстракта с наибольшим антиоксидантным потенциалом следует придерживаться следующих условий экстракции: 20% этанол, гидромодуль 1:25, температура экстрагирования 40 °C, время – 90 мин. Беталаиновые пигменты перспективно использовать в медицинской и фармацевтической практике в виду обладания ими антиоксидантными свойствами.

Библиографический список

1. Соколова Д. В., Шеленга Т. В., Соловьева А. Е. Сравнительная характеристика биохимического состава образцов мангольда и свеклы столовой коллекции ВИР. DOI: 10.18619/2072-9146-2019-5-77-83 // Овощи России. 2019. № 5. С. 77–83.
2. Свойства и применение беталаинового красителя, выделенного из районированного сорта свеклы столовой / Н. Ю. Чеснокова, А. А. Кузнецова, Л. В. Левочкина, М. А. Тарабаев. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-185-190 // Аграрная наука. 2023. № 9. С. 185–190.
3. Влияние pH среды на концентрацию беталаиновых пигментов растительного происхождения / Д. И. Валеева, Х. Саттиходжаев, К. Ю. Швинг и др. // Научное обозрение. Фундаментальные и прикладные исследования. 2019. № 2. С. 59–67.
4. Multi-colored shades of betalains: recent advances in betacyanin chemistry / A. Kumorkewicz-Jamro, T. Świergosz, K. Sutor, et al. DOI: 10.1039/d1np00018g // Nat. Prod. Rep. 2021. Vol. 38. No. 12. P. 2315–2346.
5. Свойства и применение природных беталаиновых красителей / Ю. В. Устинова, Е. О. Ермолаева, Т. В. Шевченко и др. // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 4. С. 72–79.
6. Шаповалова А. А. Экология растений. Саратов : Саратовский источник, 2015. 80 с.
7. Шачек Т. М., Протасеня Л. Н., Зеленкова Е. Н. Применение натурального красителя бетанина в производстве косметической продукции // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2023. Т. 16. № 3. С. 67–78.
8. ГОСТ 24027.2-80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла : действ. с 01.01.1981. – URL: <https://gostexpert.ru/gost/gost-24027.2-80> (дата обращения: 06.11.2025).
9. Определение антиоксидантной емкости объектов фармации потенциометрическим методом. Показатели точности измерений / А. В. Иванова, Е. Л. Герасимова, Е. Р. Газизуллина и др. // Журнал аналитической химии. 2020. Т. 75. № 3. С. 259–265.

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА ГИДРОЛАТОВ ЗВЕРОБОЯ И ТЫСЯЧЕЛИСТНИКА

**С. Д. Ожегина¹, М. С. Мезрина¹, А. Ю. Гаврюшева¹,
Н. А. Волокитина², А. И. Фокина¹**

¹ Вятский государственный университет, *Sabrina.ozhegina@mail.ru*,

² ООО «ПРОМЭКСПЕРТ», *Volokitina123@mail.ru*

Работа посвящена описанию опыта получения и анализа гидролатов лекарственных растений – зверобоя прорыженного и тысячелистника обыкновенного, произрастающих на территории Оричевского района Кировской области. Гидролаты получены методом паровой дистилляции. Определено содержание полифенолов и флавоноидов в траве зверобоя ($0,027 \text{ мг/см}^3$; $0,0012 \text{ мг/см}^3$) и тысячелистника ($0,028 \text{ мг/см}^3$; $0,00024 \text{ мг/см}^3$).

Ключевые слова: гидролаты, зверобой, тысячелистник, биологически активные вещества.

Неотъемлемой частью производства в современной химической промышленности является изучение состава лекарственного растительного сырья и получение из него компонентов, обладающих различными фармакологическими свойствами. Полученные компоненты могут быть выделены как в чистом виде, так и в составе различных композиций. В последнее время стало популярным получение гидролатов. Гидролаты представляют собой продукты, образующиеся при паровой дистилляции эфирномасличного растительного сырья. Они содержат гидрофильную (водорастворимую) фракцию биологически активных соединений (БАВ) растения, включая витамины, микроэлементы и ароматические компоненты. По сравнению с эфирными маслами, гидролаты обладают более мягким физиологическим действием.

Объектами нашего исследования являются гидролаты, полученные из соцветий зверобоя прорыженного и тысячелистника обыкновенного. Зверобой обладает антидепрессивными, противовоспалительными и антибактериальными свойствами. Его используют для ускорения регенерации тканей, лечения ожогов и ран, а также для подавления воспалительного ответа. Тысячелистник используют из-за кровоостанавливающей и противовоспалительной активности. Внутреннее применение тысячелистника показано при желудочно-кишечных расстройствах, где он проявляет спазмолитические свойства. В виде водных извлечений используется как местное антисептическое и противовоспалительное средство для полости рта и глотки, обеспечивает горечь и стимулирует пищеварение.

Однако при возрастающей популярности гидролатов сведений о содержании в них БАВ недостаточно. Поэтому целью работы было получение гидролатов из зверобоя и тысячелистника, произрастающих на территории Кировской области, и определение в них биологически активных веществ.

Цветущие надземные побеги зверобоя и тысячелистника собраны в поселке Стрижи Оричевского района Кировской области летом 2025 г. Высушены в проветриваемом помещении без доступа прямых солнечных лучей. Гидролаты получены методом паровой дистилляции. Вода и сырье в процессе дистилляции не контактируют. Вода находится внизу дистилляционного куба, а растения – на решетке сверху над водой. Соотношение сырье : вода составляет 150 г : 3,0 л. Дистилляция – процесс извлечения активных летучих веществ с помощью водяного пара. Для получения гидролатов используют тот же метод, что и для эфирных масел. В процессе дистилляции поток горячего водяного пара пропускается через растительную массу. Под воздействием пара микроскопические кармашки растения, содержащие ароматические эссенции, высвобождают летучие соединения, которые захватываются паром и оказываются в конденсате (гидролате). Наполненный летучими соединениями, пар поднимается и проходит по змеевику, который погружен в холодную воду. Примерно через 30 минут после начала процесса из змеевика появляются первые капли гидролата. Полученный таким образом гидролат содержит очень маленькую концентрацию БАВ, всего 0,05–0,1%. Давление пара должно быть как можно ниже, так как при высоком давлении и / или при чрезмерно высоких температурах наблюдаются явления усиленного окисления. Перегонка при давлении 760 мм рт. ст. и при 100 °C – лучший вариант. В конце дистилляции все части собранного гидролата (в начале, середине и конце перегонки) должны быть собраны вместе, потому что каждая часть содержит разные компоненты. Эти соединения дают гидролату все возможные свойства и эффективность. После дистилляции гидролат оставляют настояться. Это необходимо, так как в емкости продолжается процесс взаимодействия ароматических веществ между собой.

Для качественного определения соединений в гидролатах использовали следующие реакции: для обнаружения флавонов, флаванонов, флавонолов – цианидиновую пробу (пробу Шинода); флаванонолов – пробу с 10% раствором аммиака; флавонов и халконов – пробу с 1% раствором ацетата свинца; лактонов – лактонную пробу; фенолов – реакцию азосочетания; дубильных веществ – 1% раствор железоаммонийных квасцов и реакцию Стиасни. Концентрацию полифенолов определяли спектрофотометрически с реактивом Фолина – Чокальтеу при длине волны 765 нм, флавоноидов – с хлоридом алюминия при длине волны 410 нм. В качестве стандарта для полифенолов использовали галловую кислоту, а для флавоноидов – рутин.

В результате качественного анализа в гидролате зверобоя обнаружены кумаринаты, которые образуются при разрыве лактонного кольца и имеют желтое окрашивание, а в гидролатах тысячелистника – небольшое количество фенолов, так как в реакции азосочетания раствор диазотированного паранитроанилина приобретал более бледную окраску по сравнению с исходным раствором. Остальные группы веществ не были обнаружены.

В результате количественного определения веществ установлено, что содержание полифенолов в гидролате тысячелистника составляет

0,028 мг/см³, флавоноидов – 0,00024 мг/см³, в гидролате зверобоя количество полифенолов – 0,027 мг/см³, флавоноидов – 0,0012 мг/см³. Основные флавоноиды и полифенолы зверобоя: кверцетин, рутин, гиперозид, кемпферол, процианидины и катехины, гиперфорин и гиперицин. Согласно данным литературы [5], они влияют на серотониновые рецепторы, подавляют синтез пропрессорных цитокинов, стимулируют регенерацию тканей. Основные флавоноиды и полифенолы тысячелистника: пигенин, лютеолин, рутин, кверцетин, кофейная и хлорогеновая кислоты. По данным [6], они повышают свертываемость крови, укрепляют стенки капилляров, расслабляют гладкую мускулатуру желудочно-кишечного тракта, стимулируют секрецию желчи, защищают клетки печени от повреждений.

В целом, следует отметить, что содержание веществ в гидролатах достаточно низкое и, если сравнивать с данными литературы о содержании данных групп веществ в спиртовых экстрактах изучаемых растений, то в гидролатах количество веществ в десятки и даже, в некоторых случаях (зависит от района произрастания растения), в сотни раз ниже, чем в спиртовых экстрактах [7]. Это логично, так как доля веществ, улетучивающихся с парами воды и задерживающихся в гидролате, мала. Несмотря на это, гидролаты все равно становятся популярными, а концентрации веществ достаточно для оказания действия.

Библиографический список

1. Самылина И. А., Сорокина А. А., Пятигорская Н. В. Зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum*) // Фарматека. 2010. № 11. С. 107–109.
2. Васькова А. И., Куркин В. А. Разработка подходов к стандартизации травы тысячелистника обыкновенного. DOI: 10.29296/25419218-2022-04-02 // Фармация. 2022. Т. 71. № 4. С. 12–18.
3. Тимашева Л. А., Пехова О. А., Данилова И. Л. О методике количественного определения эфирного масла в гидролатах. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-122-132 // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 3. С. 122–132.
4. Зибарева Л. Н. Фитохимия. Соединения полифенольного комплекса. Томск : Изд-во Томского гос. ун-та, 2022. 63 с.
5. Постраш И. Ю. Трава зверобоя продырявленного: химический состав, свойства, применение. DOI: 10.35694/YARCX.2021.53.1.010 // Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 1. С. 57–63.
6. Бойко Т. В., Огурной И. В., Огурная Ю. Е. Потенциальные источники биологически активных веществ Омской области для создания фитобиотиков и фитогенетиков. DOI: 10.52419/issn2072-2419.2024.4.127 // Международный вестник ветеринарии. 2024. № 4. С. 127–137.
7. Фокина А. И., Адамович Т. А. Изучение содержания полифенольных соединений в растениях синантропной флоры Кировской области. DOI: 10.14258/jcprm.20250214855 // Химия растительного сырья. 2025. № 2. С. 139–146.

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОРАЩИВАНИЯ СЕМЯН ЯЧМЕНЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В ПРОРОСТКАХ

В. В. Окулова¹, Е. В. Товстик^{1, 2}, А. С. Романова¹, О. Н. Шуплецова²

¹ Вятский государственный университет,

² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока

имени Н. В. Рудницкого, *tovstik2006@inbox.ru*

Представлена сравнительная оценка содержания свободной фракции и общего содержания полифенолов (ПФ) в ростках и корнях проростков ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.) сорта «Белгородский 100». Выявлено, что ростки по сравнению с корнями, являются более перспективным источником свободных ПФ. Установлен оптимальный период проращивания семян для максимального извлечения свободных ПФ из ростков, составляющий 6 суток. При увеличении продолжительности проращивания семян до 13 суток происходит снижение содержания свободной фракции ПФ в ростках в 1,7 раза.

Ключевые слова: полифенолы, свободная фракция, общее содержание, ячмень, росток, корень.

Полифенолы (ПФ) относятся к минорным биологически активным соединениям растительного происхождения. Поступая в организм человека в небольших количествах, они играют роль естественных регуляторов метаболизма, оказывают широкий спектр благоприятных биологических эффектов [1]. Основными пищевыми источниками ПФ для человека выступают ягоды, фрукты, овощи, бобовые, а также зерновые культуры [2, 3]. Среди зерновых выделяется ячмень обыкновенный (*Hordeum vulgare* L.), который имеет, кроме этого, высокую питательную ценность, содержит β -глюкан, витамины группы В, микро- и макроэлементы [4, 5].

Включение ПФ в рацион питания человека осложняется несколькими факторами. Один из них – нежелательные вкусовые ощущения. Например, горький вкус зерновки сорго темного цвета (*Sorghum bicolor* L.) вызван присутствием в его перикарпии танинов [6]. Значимой проблемой является и низкая биодоступность ПФ, так как зачастую они находятся в растениях в связанной форме [1].

Для обеспечения организма человека адекватным количеством ПФ ведется разработка пищевых продуктов, обогащенных ПФ с высокой биодоступностью [7]. Накоплен значительный объем данных о пользе ПФ в ферментированных продуктах [8]. Доступны пищевые добавки, а также растительные экстракты, богатые ПФ. В качестве проблем отмечается нестабильность некоторых ПФ при технологической, в частности термической переработке сырья [9].

Готовыми к употреблению функциональными продуктами питания являются пророщенные семена зерновых культур и микрозелень [10]. При прорастании семян запускаются метаболические и физиологические процессы. Полисахариды клеточной стенки разрушаются, открывая ферментам доступ к содержимому клетки. Углеводы, белки и липиды расщепляются до простых соединений, изменяется концентрация микроэлементов, витаминов и других биологически активных веществ (БАВ) [11]. Уровень ПФ в растениях при этом зависит от таких факторов [12], как температура [13], продолжительность роста [14], содержание влаги и доступность воды [15], предпосевная обработка [16]. В целом, по сравнению с семенами, молодые проростки зерновых содержат ПФ в более легко усваиваемой форме, в связи с чем, их употребление более предпочтительно [17].

Несмотря на то, что проращивание семян в искусственных условиях представляет собой контролируемый процесс, достижение максимума целевых БАВ для каждого вида семян все еще остается актуальной задачей при разработке функциональных продуктов питания.

Цель работы – оценка влияния срока проращивания семян на содержание свободной фракции и общего содержания ПФ в ростках и корнях ячменя.

Объектом исследования служили проростки ячменя сорта «Белгородский 100». Исследования проводили в рулонной культуре. Семена предварительно замачивали в дистиллированной воде на 16 ч. Набухшие семена (35 шт.) раскладывали на листы фильтровальной бумаги, ориентируя зародышами вниз. Полосы бумаги с семенами неплотно скручивали в рулоны и помещали в вертикальном положении в химические стаканы, наполненные дистиллированной водой. Проращивание семян осуществляли при комнатной температуре (20 ± 2) °С. По истечению 6, 8, 13 суток проростки извлекали из рулонов, сушили до постоянной массы, делили на росток и корень, измельчали.

Из абсолютно сухих растительных образцов извлекали свободные и связанные ПФ, используя 70%-ый этиловый спирт и 2 н. раствор гидроксида натрия соответственно. Концентрацию ПФ в спиртовых и щелочных извлечениях определяли спектрофотометрическим методом. Стандартом служила галловая кислота [18].

Статистическую обработку полученных данных осуществляли стандартными методами с использованием программы MS Excel. Данные представляли в виде средних значений \pm стандартное отклонение.

Согласно полученным результатам, общее содержание ПФ в ростках и корнях на 6 сутки проращивания достоверно не различалось между собой, тогда как на 8 и 13 сутки отмечали превосходство корней в 1,5–2,6 раза над ростками по данному параметру (табл.).

Таблица

Содержание полифенолов в проростках ячменя в динамике, мг/г

Возраст проростков, сут.	Росток	Корень
9	<u>26,1±2,1</u>	<u>16,6±1,3</u>
	42,7±3,4	47,7±3,8
8	<u>16,0±1,3</u>	<u>13,0±1,0</u>
	30,5±2,4	45,4±3,6
13	<u>14,1±1,1</u>	<u>12,0±1,0</u>
	24,5±2,0	62,5±5,0

Примечание: в числителе приведены значения содержания свободной фракции полифенолов; в знаменателе – общее содержание полифенолов.

Содержание свободной фракции ПФ, напротив, было в 1,2–1,6 раза ниже в корнях, чем ростках. Полученные данные согласовывались с результатами других исследователей. Так, на примере 14 суточных растений гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) показано, что содержание фенольных соединений, извлекаемых этанолом (свободная фракция) в семядольных листьях, в большинстве случаев, превышало таковое в гипокотилях [19].

При увеличении продолжительности проращивания до 13 суток отмечали снижение содержания свободной фракции ПФ в ростках и корнях в 1,6 и 1,4 раза по сравнению с первоначальным периодом наблюдений (6-е сутки) соответственно.

Общее содержание ПФ к 13 суткам изменялось неодинаково: в ростках уменьшалось в 1,7 раза; в корнях, напротив, увеличивалось – в 1,3 раза. Согласно источникам литературы, оптимальная продолжительность проращивания гречихи татарской (*Fagopyrum tataricum* L. Gaertn.) составляла 3-е суток. Данный период обеспечивал более высокий выход флавоноидов на единицу массы, по сравнению с 8-и суточным проращиванием [20]. На примере озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), люцерны посевной (*Medicago sativa* L.) и редьки посевной, подвида дайкон (*Raphanus sativus* subsp. *acanthiformis* (Blanch.) Stank.) показано, что для повышения питательной ценности их ростков в качестве нутрицевтических ингредиентов, семена следует проращивать в течение 7, 4 и 6 суток соответственно, после чего их питательная ценность снижается [21].

Таким образом, установлено, что ростки ячменя по сравнению с корнями являются более перспективным источником свободных ПФ. Оптимальным периодом проращивания семян ячменя, обеспечивающим наибольшее содержание свободной фракции ПФ в ростках, является 6 суток. При увеличении продолжительности проращивания происходит снижение содержания свободных и общего содержания ПФ в ростках, а, следовательно, и их питательной ценности.

Библиографический список

1. Полифенолы как перспективные биологически активные соединения / Т. Н. Бобрышева, Г. С. Анисимов, М. С. Золоторева и др. DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-1-92-107 // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 1. С. 92–107.

2. Антивирусные полифенолы-антиоксиданты: структура, пищевые источники и механизм действия / А. Я. Яшин, А. Н. Веденин, Я. И. Яшин, Н. И. Васильевич. DOI: 10.32757/2619-0923.2020.5.14.76.86 // Лаборатория и производство. 2020. Т. 5. № 14. С. 76–86.
3. Еремеева Н. Б., Макарова Н. В. Фенолы и полифенолы в продуктах питания: влияние антиоксидантов на здоровье человека // Пищевые инновации и биотехнологии : материалы V Междунар. науч. конф. Кемерово : Кемеровский технол. ин-т пищевой промышленности (университет), 2017. С. 59–60.
4. Obadi M., Sun J., Xu B. Highland barley: chemical composition, bioactive compounds, health effects, and applications. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.110065 // Food Res. Int. 2021. Vol. 140. Article No. 110065.
5. Зерновые и здоровье ребенка / А. И. Хавкин, Т. А. Ковтун, Д. В. Макаркин и др. DOI: 10.21508/1027-4065-2020-65-4-162-169 // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2020. Т. 65. № 3. С. 162–169.
6. Comparison of free flavonoids and the polyphenol content in the bran of a newly developed sorghum variety and two commercially available sorghum varieties / M. C. Dos Santos, N. Tanaka, S. Kasuga, et al. DOI: 10.3390/metabo14110628 // Metabolites. 2024. Vol. 14. No. 11. Article No. 628.
7. Apple pomace as a source of bioactive polyphenol compounds in gluten-free breads / D. Gumul, R. Ziobro, J. Korus, M. Kruczek. DOI: 10.3390/antiox10050807 // Antioxidants. 2021. Vol. 10. No. 5. Article No. 807.
8. Effects of fermentation on bioactivity and the composition of polyphenols contained in polyphenol-rich foods: a review / F. Yang, C. Chen, D. Ni, et al. DOI: 10.3390/foods12173315 // Foods. 2023. Vol. 12. No. 17. Article No. 3315.
9. Xiao J. Recent advances on the stability of dietary polyphenols. DOI: 10.1002/efd2.21 // eFood. 2022. Vol. 3. No. 21. P. 1–7.
10. Ebert A. W. Sprouts and microgreens – novel food sources for healthy diets. DOI: 10.3390/plants11040571 // Plants. 2022. Vol. 11. No. 4. Article No. 571.
11. Changes in the nutrient composition of barley grain (*Hordeum vulgare* L.) and of morphological fractions of sprouts / L. T. Ortiz, S. Velasco, J. Treviño, et al. DOI: 10.1155/2021/9968864 // Scientifica. 2021. Vol. 2021. Article No. 9968864.
12. Changes of polyphenolic substances in the anatomical parts of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) during its growth phases / J. Bystricka, J. Musilova, J. Tomas, et al. DOI: 10.3390/foods3040558 // Foods. 2014. Vol. 3. No. 4. P. 558–568.
13. Islam M. Z., Park B. J., Lee Y. T. Influence of temperature conditions during growth on bioactive compounds and antioxidant potential of wheat and barley grasses. DOI: 10.3390/foods10112742 // Foods. 2021. Vol. 10. No. 11. Article No. 2742.
14. Günal-Köroğlu D., Esatbeyoglu T., Capanoglu E. Effect of germination on the phenolic compounds: content, bioavailability, food applications, and health benefits. DOI: 10.1007/s11694-025-03392-6 // J. Food Meas. Charact. 2025. Vol. 19. P. 8144–8164.
15. Impact of temperature and humidity conditions as abiotic stressors on the phytochemical fingerprint of oat (*Avena sativa* L.) sprouts / M. G. Figueroa- Pérez, R. Reynoso-Camacho, M. Ramos- Gómez, et al. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.138173 // Food Chem. 2024. Vol. 439. Article No. 138173.
16. Сумина А. В., Полонский В. И., Комарова О. В. Бентонитовые растворы в регуляции ювенильного этапа онтогенеза ярового овса. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-93-106 // Вестник КрасГАУ. 2025. № 8. С. 93–106.
17. Михайлова Д. Д. Польза использования проростков злаковых культур в производстве продуктов питания // Студенческая наука – взгляд в будущее : материалы XVIII Всерос. студенческой науч. конф. Красноярск : КрасГАУ, 2023. С. 103–105.

18. Шеромов А. М., Товстик Е. В., Шуплецова О. Н. Валидация методики определения свободных и связанных полифенолов в растениях ячменя методом спектрофотометрии. DOI: 10.31163/2618-964X-2024-7-2-80-85 // Экобиотех. 2024. Т. 7. № 2. С. 80–85.

19. Уровень полидности растений и наличие кадмия в среде выращивания изменяют содержание основных компонентов фенольного комплекса в проростках гречихи / В. В. Казанцева, Е. А. Гончарук, Г. П. Зайцев и др. DOI: 10.31857/S2686738922010115 // Доклады РАН. Науки о жизни. 2022. Т. 502. № 1. С. 15–20.

20. Profiling of polyphenols for in-depth understanding of Tartary buckwheat sprouts: correlation between cultivars and active components, dynamic changes and the effects of ultraviolet B stress / W. Yang, G. Qian, Y. Chen, et al. DOI: 10.1016/j.foodchx.2022.100295 // Food Chem. X. 2022. Vol. 14. Article No. 100295.

21. Sprouts use as functional foods. Optimization of germination of wheat (*Triticum aestivum* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), and radish (*Raphanus sativus* L.) seeds based on their nutritional content evolution / H. Francis, E. Debs, M. Kouba, et al. DOI: 10.3390/foods11101460 // Foods. 2022. Vol. 11. No. 10. Article No. 1460.

ПОЛУЧЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛО-КАРОТИНОВОЙ ПАСТЫ И ИЗУЧЕНИЕ ЕЕ СВОЙСТВ

Т. В. Осташева, Т. А. Адамович

Вятский государственный университет, *tv-ost@mail.ru*

В статье представлены результаты получения хлорофилло-каротиновой пасты из хвои и древесной зелени сосны обыкновенной, произрастающей на территории Кировской области. По полученным данным выявлено, что паста содержит хлорофиллы *a*, *b* и каротиноиды и является качественным сырьем для получения фармацевтических субстанций.

Ключевые слова: древесная зелень, хвоя, сосна обыкновенная, каротиноиды, хлорофиллы, хлорофилло-каротиновая паста.

Кировская область занимает лидирующие позиции в лесной промышленности [1]. Значительная часть территории региона, а именно 63%, покрыта лесами [2], что обеспечивает огромный запас древесины – свыше 1,1 млрд м³. При этом более половины этого объема (56%) приходится на ценные хвойные породы [3].

На любых стадиях деревообрабатывающих процессов образуется большое количество отходов древесины [4, 5]. Сегодня в нашей стране остро стоит вопрос методов их утилизации [6]. Одной из промышленных сфер, сырьем для которой могут служить вторичные древесные ресурсы, является фармацевтическая отрасль [7]. Ее основная задача заключается в создании лекарственных препаратов и биологически активных добавок (БАД) [8] как в аптечных условиях, так и в промышленных масштабах [9].

Древесная зелень сосны обыкновенной представляет собой хвою и неодревесневшие побеги.

Наиболее многочисленным классом соединений в ней являются липиды, среди которых чаще встречаются нейтральные липиды и их производные (стерины, воски, глицериды, стерины, высшие жирные спирты, жирные кислоты и др.), реже глико- и фосфолипиды [10].

Древесная зелень сосны обыкновенной также содержит жирорастворимые витамины (A, D, E, K) и их производные, а хвоя – хлорофиллы *a*, *b* и каротиноиды. В состав древесной зелени входят некоторые неорганические вещества, принимающие участие в физиологических процессах, – зольные вещества, общее содержание которых увеличивается с возрастом хвои.

Каротиноиды и хлорофиллы принимают активное участие в различных метаболических, регуляторных и обменных процессах, в связи с чем представляют интерес в плане фармакологической активности [11].

Хлорофилл обладает широким спектром биологического действия, проявляет усиливающее воздействие на процессы кроветворения, регулирует сердечную работу, а также работу дыхательного центра и нервной системы, оказывает тонизирующее действие. Каротиноиды, являясь предшественниками витамина А, защищают от рака, солнечного излучения, радиации, окислительного стресса и укрепляют иммунитет [3].

Хлорофилло-каротиновая паста – это фитонцидный поливитаминизированный препарат, содержащий каротин, хлорофилл, витамин Е, каротиноиды, стерины и другие биоактивные вещества. Паста используется в медицине для лечения обморожений и различных заболеваний кожи. В животноводстве и птицеводстве применяется в виде витаминной кормовой добавки. Косметическая и парфюмерная отрасли используют пасту в виде биостимулирующего комплекса [12].

Цель работы: получение хлорофилло-каротиновой пасты из сосны обыкновенной с использованием методов экстракции; определение содержания в ней хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов.

Объекты исследования – хвоя и кора сосны обыкновенной.

Сырье отобрано на территории Адышевского сельского поселения Оричевского района Кировской области. Хвою и древесную зелень высушивали при температуре 50 °С. Для проведения эксперимента сухое сырье измельчали, затем просеивали через сито диаметром 2 мм.

Изготовление хлорофилло-каротиновой пасты проводили согласно методу, описанному в патенте № 2041646 РФ [13]. Древесную зелень и хвою сосны обыкновенной измельчали, помещали в круглодонную колбу и проводили отгонку эфирных масел водяным паром с получением твердого остатка, который затем обрабатывали 60%-ным изопропиловым спиртом. Смесь настаивали 24 ч, после чего фильтровали через бумажный фильтр. Завершающей стадией являлось упаривание полученного фильтрата.

Содержание каротиноидов и хлорофиллов *a* и *b* определяли спектрофотометрическим методом. Суть метода заключается в получении из сосновой пасты ацетонового экстракта и измерении его оптической плотности при двух длинах волн, отвечающих максимумам поглощения хлорофиллов *a* и *b* в

красной области спектра и при длине волны абсорбционного максимума каротиноидов (440, 644, 662 нм) [11].

Исследования проводились в лабораториях Института химии и экологии Вятского государственного университета.

Результаты количественного определения каротиноидов и хлорофиллов в хлорофилло-каротиновой пасте представлены в таблице.

Таблица

**Суммарное содержание хлорофиллов и каротиноидов
в хлорофилло-каротиновой пасте**

Продукт	Хлорофилл <i>a</i> , мг/г	Хлорофилл <i>b</i> , мг/г	Каротиноиды, мг/г
Хлорофилло-каротиновая паста	0,16±0,01	0,3060±0,0014	0,1240±0,0004

По ГОСТу содержание хлорофиллов в пасте в пересчете на 5 г должно составлять 30 мг, каротиноидов – 1 мг [14]. В нашем исследовании в 5 г хлорофилло-каротиновой пасты содержание хлорофиллов *a* и *b* составило 0,8 и 1,5 мг соответственно, содержание каротиноидов – 0,6 мг.

Согласно полученным данным, исследованную хлорофилло-каротиновую пасту из хвои и древесной зелени сосны обыкновенной по содержанию хлорофиллов и каротиноидов можно отнести к пасте третьего сорта.

Таким образом, производство хлорофилло-каротиновой пасты может стать перспективным направлением вторичной переработки хвойной древесины.

Библиографический список

1. Кожина Е. В. Основные проблемы и направления развития лесопромышленного комплекса Кировской области // Российское предпринимательство. 2007. № 5-2. С. 67–69.
2. Кировская область. Общие географические и исторические сведения [Электронный ресурс] – URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/kirovskaya Oblast/-?sphrase_id=593880 (дата обращения: 07.11.2025).
3. Лесной фонд. Лесные ресурсы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kirovreg.ru/econom/prres/forest.php> (дата обращения: 07.11.2025).
4. Журавлева Л. Н., Девятловская А. Н. Основные направления использования древесных отходов // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007. № 18. С. 96–99.
5. Мохирев А. П., Безруких Ю. А., Медведев С. О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона. 2015. № 2-2. С. 81.
6. Кислицына С. Н., Шитова И. Ю. Способы переработки отходов деревообрабатывающей промышленности. Пенза : ПГУАС, 2016. 140 с.
7. Майорова Л. П. Классификация направлений использования вторичных древесных ресурсов // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 58. С. 187–191.
8. Фармацевтическая химия: краткий курс лекций для студентов 3 курса специальности 36.05.01 Ветеринария (специализация: «Ветеринарная фармация») / Сост. Л. Г. Ловцова. Саратов : Саратовский ГАУ, 2016. 57 с.
9. Головина Ю. П. Фармацевтическая технология как наука. Цели и задачи. Основные понятия и термины. Основные проблемы фармацевтической технологии // Форум молодых ученых. 2022. № 12 (76). С. 1–4.

10. Журавлева Л. Н., Девятловская А. Н. Биологически активные вещества древесной зелени сосны обыкновенной // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010. № 27. С. 60–64.
11. Гиндулин И. К., Щеголев А. А. Методы исследования древесной зелени : учебно-методическое пособие. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 76 с.
12. Рунова Е. М., Угрюмов Б. И. Комплексная переработка зелени хвойных пород с целью получения биологически активных веществ // Химия растительного сырья. 1998. № 1. С. 57–60.
13. Пат. 2 041 646. РФ, МПК А 23 К 1/00. Способ получения продуктов из хвойной древесной зелени : № 92015557/15 : заявл. 30.12.1992 : опубл. 20.08.1995 / Репях С. М., Воронин В. М., Ушанова В. М. 6 с.
14. ГОСТ 21802-84. Паста хвойная хлорофилло-каротиновая. Технические условия (с Изменением № 1) : действ. с 01.07.1985. М., 1984. Доступ из ИСС «Техэксперт».

МОРФОМЕТРИЯ ЛИСТА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ НАКОПЛЕНИЯ ПОЛИФЕНОЛОВ В ОВСЕ

A. С. Романова¹, Е. В. Товстик^{1, 2}, В. В. Окулова¹, О. Н. Шуплецова²
¹ Вятский государственный университет,
² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
 имени Н. В. Рудницкого, tovstik2006@inbox.ru

Представлены результаты оценки содержания полифенолов (ПФ) в листьях овса на стадии кущения в зависимости от их площади и удельной листовой поверхности (УЛП). Площадь анализируемых листьев колебалась в пределах 2,7–16,7 см², УЛП – 61–121 см²/г. Содержание свободной фракции ПФ в листьях изменялось от 8,9 до 22,9 мг/г. Выявлена относительная однородность содержания свободной фракции ПФ в листьях овса на фоне высокой гетерогенности УЛП. Сделано заключение о перспективности использования листьев овса в качестве сырья для фармацевтической промышленности.

Ключевые слова: *Avena sativa* L., кущение, площадь листа, удельная листовая поверхность, свободная фракция, полифенолы.

В современных научных исследованиях овёс (*Avena sativa* L.) всё реже рассматривается исключительно как сырьё для пищевой промышленности, и всё чаще – как ценный источник биологически активных веществ (БАВ). Многие из БАВ овса, включая полифенолы (ПФ) обладают мощным антиоксидантным, противовоспалительным, антипалиферативным действием [1, 2].

Фармакологическую ценность имеют различные морфологические части растений овса: незрелые и зрелые семена, отруби, надземная часть растения, включая стебли, листья [3]. Европейское агентство лекарственных средств регламентирует указания по применению относительно двух из них – *Avenae herba* и *A. fructus* [4]. Согласно Государственной Фармокопеи РФ, овес не относится к фармакопейному сырью. Однако существует проект фармакопейной статьи «Овса настойка» (*Avenae tintura*), стандартизированная

по 2'-О-арабинозид изовитексину [5]. Имеются сведения о включении экстракта из листьев/стеблей овса, богатого флавоноидами и сапонинами, в косметические продукты. Установлено, что подобные экстракты в средствах для наружного применения, ингибируют ферменты, запускающие реакции синтеза простагландина Е₂; снижают выработку цитокининов и тимического стромального лимфопоэтина, уровень которых значительно повышен у пациентов с атопическим дерматитом [6]. Значительное число контролируемых рандомизированных экспериментов по приёму экстрактов из надземных частей овса систематизированы в обзоры. Они демонстрируют положительную корреляцию между приёмом экстрактов и улучшением когнитивных функций у лиц без диагностированных неврологических нарушений [7]. Установлено, что экстракты из ростков овса оказывают более сильное, чем экстракты из его зерен, влияние на регуляцию генов, участвующих в метаболизме глюкозы и липидов в адипоцитах [8].

В ходе сравнительного анализа распределения вторичных метаболитов по различным морфологическим частям растений овса установлено, что его побеги характеризуются более высоким содержанием БАВ по сравнению с зерном. Отмечается, что при проращивании зерна в течение 96 ч в проростках происходит накопление свободной фенольной фракции [9]. Исследовано влияние различных факторов на содержание ПФ в овсе. Среди них генотип [10], продолжительность роста [11], наличие света [12], температурный режим [13], воздействие УФ [14]. При этом сведения о влиянии площади листьев на содержание в них ПФ ограничены.

Известно, что функциональные характеристики листьев напрямую влияют на ключевые жизненные процессы растений – их рост, выживаемость и размножение [15]. В агрономической практике эти признаки используются для диагностики физиологического состояния культур и оценки их продуктивности [16, 17]. Для фармацевтической промышленности важен неизменный состав сырья. В связи с этим изучение вариабельности целевых метаболитов в морфологических частях растений, в том числе в листьях на момент заготовки сырья имеет принципиальное значение.

Целью данной работы была оценка содержания ПФ в листьях овса на стадии кущения в зависимости от их площади и удельной листовой поверхности.

Десять растений овса, выращенных в естественных условиях, отбирали в фазу кущения. Производили фотосъемку сырых листьев растений, с последующим импортированием фотографий в программу Image J (<https://imagej.net/ij/>). Автоматизированным способом рассчитывали площадь листьев (S, см²). После фотосъемки взвешивали листья на аналитических весах. Полученные данные использовали для расчёта удельной листовой поверхности (УЛП, см²/г), которую определяли как отношение площади листа к его массе. Определение свободной фракции ПФ проводили в сухих образцах. Экстрагирование осуществляли 70% этиловым спиртом. Содержание ПФ

определяли спектрофотометрическим методом. В качестве стандарта использовали галловую кислоту [18].

Статистическую обработку полученных данных осуществляли стандартными методами с использованием программы MS Excel. Для установления статистической зависимости между параметрами оценки использовали коэффициент корреляции Пирсона (r).

Выбор фазы кущения для исследования был обусловлен ее значимостью в жизненном цикле растений. В этот период у злаковых происходит активное формирование корневой системы и побегов, наблюдается максимальная метаболическая активность, направленная на закладку будущего урожая [19]. Часто эта фаза развития служит ключевой в оценке эффективности различных систем земледелия [20].

Для выявления значимых корреляций было проанализировано порядка 30 листьев овса. Площадь анализируемых листьев изменялась от 2,7 до 16,7 см^2 , УЛП – от 61 до 121 $\text{см}^2/\text{г}$. Содержание свободной фракции ПФ в листьях варьировало от 8,9 до 22,9 мг/г.

Широкий размах значений S и УЛП свидетельствовал о существенной гетерогенности листьев в пределах одного растения, что в целом характерно для стадии кущения, так как одновременно присутствуют молодые и более зрелые листья.

Анализ исследуемых показателей показал наличие средней силы ($r = -0,3$ – $0,7$) отрицательной корреляции между содержанием свободной фракции ПФ и площадью листьев, а также содержанием ПФ и УЛП (рис. а, б).

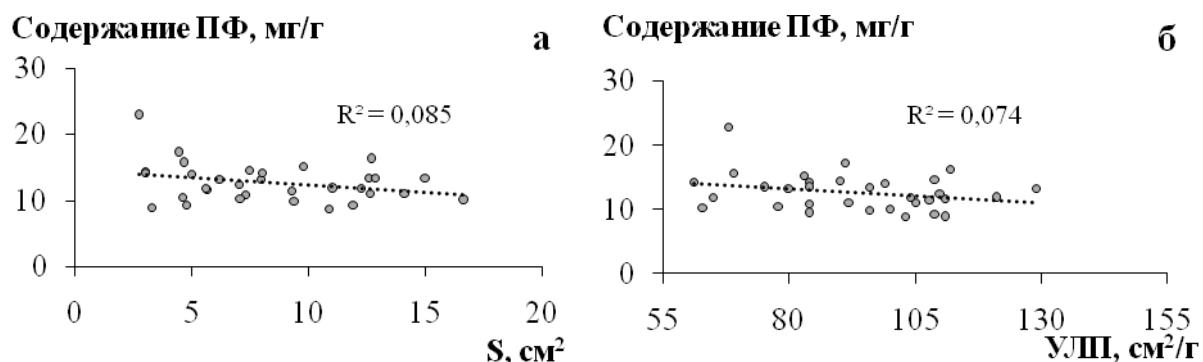


Рис. Содержание полифенолов (ПФ) в листьях овса на стадии кущения в зависимости от площади листьев (а) и удельной листовой поверхности (б)

Полученные данные в целом согласовывались с морфологическими и физиологическими особенностями роста растений. Так, несмотря на то, что ПФ по сравнению с прочими метаболитами в меньшей степени участвуют в росте растений, они играют важную роль в их взаимодействии с окружающей средой [21]. Согласно данным литературы, молодые листья в большей степени склонны к накоплению метаболитов, чем старые [22]. В связи с этим общее содержание ПФ снижается со зрелостью листа. Подобные эффекты были установлены у растений зелёного чая (*Camellia sinensis* var. *sinensis*) [23].

В тоже время имеются данные и об обратной зависимости, установленной для листьев *Moringa oleifera* Lam. [24].

Таким образом, выявлена относительная однородность содержания свободной фракции ПФ в листьях овса на фоне высокой гетерогенности УЛП, что делает листья овса перспективным сырьём для использования в фармацевтической промышленности, где важна стабильность и предсказуемость состава сырья.

Библиографический список

1. Production and characterization of a novel gluten-free fermented beverage based on sprouted oat flour / N. Aparicio-García, C. Martínez-Villaluenga, J. Frias, E. Peñas. DOI: 10.3390/foods10010139 // Foods. 2021. Vol. 10. No. 1. Article No. 139.
2. Полифенолы как перспективные биологически активные соединения / Т. Н. Бобрышева, Г. С. Анисимов, М. С. Золоторева и др. DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-1-92-107 // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 1. С. 92–105.
3. Ethnobotany and phytopharmacology of *Avena sativa*: a qualitative review / S. Kumari, S. R. Ali, O. Rahman, et al. DOI: 10.58920/sciphy02010056 // Sci. Phytochem. 2023. Vol. 2. No. 1. P. 46–59.
4. Antibacterial activity of medicinal plants and their constituents in the context of skin and wound infections, considering European legislation and folk medicine – a review / B. S. Fialová, K. Rendeková, P. Mučaji, et al. DOI: 10.3390/ijms221910746 // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22. No. 19. Article No. 10746.
5. Проект ФС. Овса настойка. [Электронный ресурс]. – URL: https://static-0.menzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/037/632/original/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%A4%D0%A1-%D0%9E%D0%B2%D1%81%D0%B0-%D0%BD%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B9%D0%BA%D0%B0.doc?1519721019 (дата обращения: 03.11.2025).
6. Ferreira M. S., Sousa Lobo J. M., Almeida I. F. Sensitive skin: active ingredients on the spotlight. DOI: 10.1111/ics.12754 // Int. J. Cosmet. Sci. 2022. Vol. 44. No. 1. P. 56–73.
7. Effect of *Avena sativa* (oats) on cognitive function: a systematic review of randomized controlled trials / A. T. Jibril, A. G. Arero, S. B. Kankam, M. Fuseini. DOI: 10.1016/j.clnesp.2022.12.011 // Clin. Nutr. ESPEN. 2023. Vol. 53. P. 144–150.
8. Polyphenols and avenanthramides extracted from oat (*Avena sativa* L.) grains and sprouts modulate genes involved in glucose and lipid metabolisms in 3T3 L1 adipocytes / A. F. Xochitl, R. C. Rosalía, R. G. Minerva, et al. DOI: 10.1111/jfbc.13738 // J. Food Biochem. 2021. Vol. 45. No. 6. Article No. e13738.
9. Hulled oat (*Avena sativa* var. Noni) and naked oat (*Avena nuda* var. Kamil): distribution of selected secondary metabolites during germination // A. Živkovic, B. Cigic, T. Polak, T. Požrl. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.145505 // Food Chem. 2025. Vol. 492. No. 3. Article No. 145505.
10. Changes in metabolites with harvest times of seedlings of various Korean oat (*Avena sativa* L.) cultivars and their neuraminidase inhibitory effects / S. Y. Woo, J. Y. Yang, H. Lee, et al. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131429 // Food Chem. 2022. Vol. 373. Article No. 131429.
11. Germination-driven dynamic changes of phenolic compounds in oats and the underlying mechanisms for antioxidation enhancement / M. Huang, Q. Chen, S. Li, et al. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.146344 // Food Chem. 2025. Vol. 495. Article No. 146344.
12. Effect of light treatments on polyphenols, flavonoids, and antioxidant activities in sprouted oats (*Avena nuda* L.) / J. Deng, J. Li, X. He, et al. DOI: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2021.10.015 // Journal Northwest A & F University. Natural Science Edition. 2021. Vol. 49. No. 10. P. 120–128 (in Chinese).

13. Контролируемое проращивание зерновых культур – эффективный способ переработки низкокачественного сырья / Н. В. Науменко, Р. И. Фаткуллин, И. В. Калинина и др. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-149-154 // Аграрная наука. 2023. № 7. С. 149–154.
14. Solar ultraviolet-B radiation increases phenolic content and ferric reducing antioxidant power in *Avena sativa* / C. T. Ruhland, M. J. Fogal, C. R. Buyarski, M. A. Krna. DOI: 10.3390/12061220 // Molecules. 2007. Vol. 12. No. 6. P. 1220–1232.
15. Effects of succession stages and altitudinal gradient on leaf surface area and biomass allocation of typical plants in the subalpine of Eastern Tibetan Plateau / G. Chen, K. Yang, J. Zhang, et al. DOI: 10.1016/j.gecco.2021.e01590 // Glob. Ecol. Conserv. 2021. Vol. 27. Article No. e01590.
16. Batalova G. A., Lisitsyn E. M. Correlation analysis of the parameters of oats assimilation apparatus and productivity elements. DOI: 10.5377/nexo.v34i01.11315 // Nexo Revista Científica. 2021. Vol. 34. No. 1. P. 379–389.
17. An overview of global leaf area index (LAI): methods, products, validation, and applications / H. Fang, F. Baret, S. Plummer, G. Schaepman-Strub. DOI: 10.1029/2018RG000608 // Rev. Geophys. 2019. Vol. 57. No. 3. P. 739–799.
18. Шеромов А. М., Товстик Е. В., Шуплецова О. Н. Валидация методики определения свободных и связанных полифенолов в растениях ячменя методом спектрофотометрии. DOI: 10.31163/2618-964X-2024-7-2-80-85 // Экобиотех. 2024. Т. 7. № 2. С. 80–85.
19. Серебренников Ю. И. Оценка эффективности использования сортами овса кущения. DOI: 10.5281/zenodo.6369073 // Инновационные научные исследования. 2022. Т. 2–3. № 16. С. 11–19.
20. Natural mycorrhization, mineral uptake, total polyphenols and total flavonoids of oat as affected by tillage practices under rainfed conditions / N. Chaieb, S. Labidi, A. K. Chiab, et al. DOI: 10.9734/aprj/2021/v8i430191 // Asian Plant Research Journal. 2021. Vol. 8. No. 4. P. 105–115.
21. Plant phenolics: neglected secondary metabolites in plant stress tolerance / Y. K. Ahlawat, M. Singh, K. Manorama, et al. DOI: 10.1007/s40415-023-00949-x // Braz. J. Bot. 2024. Vol. 47. No. 3. P. 703–721.
22. Mirwais M. Q., Ashley B. M., Courtney A. S. Environmental factors regulate plant secondary metabolites. DOI: 10.3390/plants12030447 // Plants. 2023. Vol. 12. No. 3. Article No. 447.
23. Changes in chlorophyll and polyphenols content in *Camellia sinensis* var. *sinensis* at different stage of leaf maturity / M. I. Prawira-Atmaja, H. S. Khomaini, H. Maulana, et al. DOI: 10.1088/1755-1315/131/1/012010 // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2018. Vol. 131. No. 1. Article No. 012010.
24. Du Toit E. S., Sithole J., Vorster J. Leaf harvesting severity affects total phenolic and tannin content of fresh and dry leaves of *Moringa oleifera* Lam. trees growing in Gauteng, South Africa. DOI: 10.1016/j.sajb.2019.08.035 // South Afr. J. Bot. 2020. Vol. 129. P. 336–340.

**ПРОДУКТИВНОСТЬ И БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ С СООБЩЕСТВАМИ
*HERACLEUM SOSNOWSKYI MANDEN.***

Ю. А. Смотрина^{1, 2}, Е. М. Лаптева^{1, 2}, И. В. Далькэ^{1, 2}, И. Г. Захожий²

¹ Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина,
smotrina-juliya@yandex.ru,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Оценены основные параметры производственного процесса сообществ *Heracleum sosnowskyi Manden.*, формирующихся в постагрогенных экосистемах Севера. Показано, что суммарная биологическая продуктивность рассмотренных постагрогенных сообществ варьирует в пределах от 145 до 270 ц/га, в среднем составляя 188±37 ц/га. Основную роль в формировании биомассы борщевика играет надземная фитомасса генеративных и вегетативных побегов (55–69%). Рассчитана емкость биологического круговорота в сообществах борщевика, которая составляет порядка 63–69 ц/га углерода, азота и макроэлементов (без учета кремния). Показано, что ведущую роль в запасах элементов играют С, К, Са и N.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, *Heracleum sosnowskyi Manden.*, продуктивность, биологический круговорот химических элементов, постагрогенные экосистемы, залежь, дерново-подзолистые почвы, средняя тайга.

Вывод пахотных угодий из сельскохозяйственного производства сопровождается сукцессионной сменой растительности в постагрогенных экосистемах. В биоклиматических условиях таежной зоны Республики Коми (РК) на залежных участках происходит формирование разнотравно-злаковых сообществ, которые при отсутствии ежегодного сенокошения сменяются мелколиственными молодняками. Однако, наряду с этим в последние 20–30 лет на залежные участки начал активно внедряться борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden.*) с формированием постагрогенных экосистем со стабильно функционирующими маловидовыми сообществами борщевика.

Цель данной работы заключалась в оценке биологической продуктивности и емкости биологического круговорота в постагрогенных экосистемах с сообществами *Heracleum sosnowskyi Manden.*

Исследования проводили на территории РК в 2021–2024 гг. В подзоне средней тайги ключевые участки (КУ) с сообществами *H. sosnowskyi* расположены в окрестностях г. Сыктывкара (РБК, Ручейная, Ляли, Ботсад СГУ), северной – в окрестностях г. Инта (Инта). При проведении исследований использовали общепринятые методы геоботаники. Структуру и запасы надземной фитомассы на каждом КУ оценивали в соответствии с

методическими указаниями [1] на учетных площадках площадью 1 м² (n = 5), подземной – методом монолитов на глубину 0–30 см (n = 5) или послойно (0–10, 10–20, 20–30 см). Фитомассу надземных и подземных органов доводили до воздушно-сухого состояния, взвешивали, оценивали их запасы. Содержание углерода и азота в образцах растительного материала определяли методом газовой хроматографии (ФР.1.31.2016.23502) на CHNS-O анализаторе EA 1110 («CE Instruments», Италия), макроэлементов (Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, P, S) – методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (М71ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98) на спектрометре Spectro Ciros CCD, «SPECTRO Analytical Instruments» (Германия) соответственно в ЦКП «Хроматография» и экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦУрО РАН. Для статистической обработки результатов использовали пакет прикладных программ Microsoft Office Excel 2010.

Как показали проведенные исследования, биологическая продуктивность сообществ *H. sosnowskyi* на рассмотренных КУ составляет в среднем 188±37 ц/га сухой биомассы, варьируя по годам наблюдений от 145 до 270 ц/га (рис. 1). Вклад подземной фитомассы в суммарную биомассу – 31–45%. Ежегодно порядка 68±6% (или 129±47 ц/га) сухой фитомассы *H. sosnowskyi* включается в биологический круговорот. Основной вклад в биомассу, ежегодно вовлекаемую в биологический круговорот веществ, вносят стебель-корни генеративных побегов и вся надземная фитомасса растений *H. sosnowskyi*, включая генеративные и вегетативные побеги.

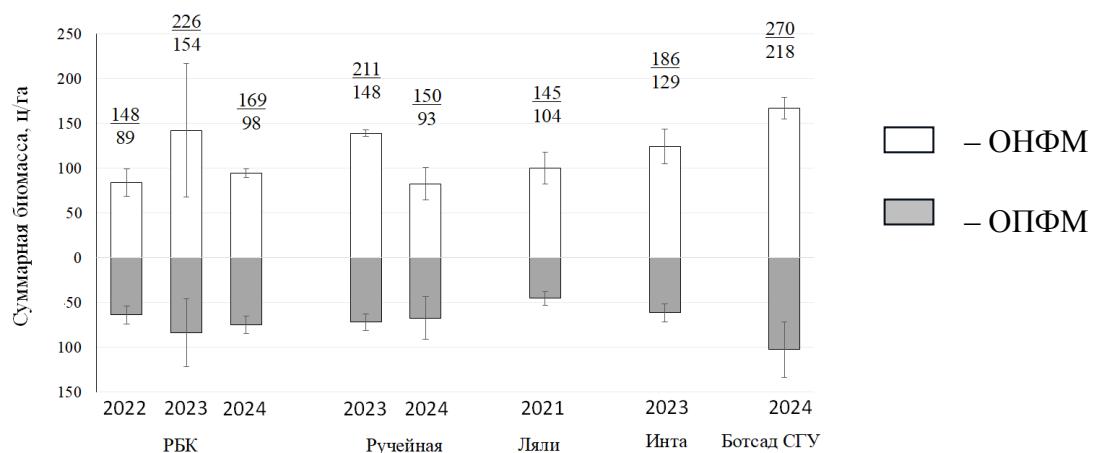


Рис. 1. Биологическая продуктивность *H. sosnowskyi* в постагrogenных экосистемах на ключевых участках по годам наблюдений: ОНФМ – общая надземная фитомасса; ОПФМ – общая подземная фитомасса.

В числителе – суммарная биомасса,
в знаменателе – ежегодно отмирающая биомасса

Специфической особенностью сообществ *H. sosnowskyi* в постагrogenных экосистемах является высокая скорость разложения растительной массы после ее отмирания – практически к середине следующего вегетационного периода вся растительная масса полностью минерализуется. В связи с этим, в таких сообществах практически не образуется слоя ветоши на поверхности

почв, характерного для разнотравно-злаковых лугов и мелколиственных сообществ с травянистым напочвенным покровом. В соответствии с десятибалльной шкалой, разработанной Н. И. Базилевич и Л. Е. Родиным [2, 3], сообщества *H. sosnowskyi*, формирующиеся на постагротенной стадии трансформации залежных участков, по величине суммарной биологической продуктивности попадали в категорию малопродуктивных растительных сообществ с весьма интенсивной скоростью разложения опада.

Химический анализ растительных образцов показал, что в растениях *H. sosnowskyi* максимальным содержанием углерода характеризуются семена и соцветия, азота – листья ювенильных и виргинильных растений (табл.). Однако, с учетом формирующейся фитомассы, основной вклад в запасы углерода вносят стебли и стеблекорни генеративных побегов, а также листья, стеблекорни и черешки листьев вегетативных растений. В запасы азота в сообществах *H. sosnowskyi* основной вклад вносят листья и стебли генеративных побегов, а также листья и черешки виргинильных и имматурных растений.

Таблица

Содержание и запасы углерода и азота в различных частях вегетативных и генеративных побегов *Heracleum sosnowskyi* Manden.

Тип побега	Части побегов	Содержание, %		Запасы, кг/га	
		C	N	C	N
Генеративные	Стеблекорни	28,4±2,8	0,32±0,06	1595	18,2
	Стебли	36,6±1,3	0,95±0,10	1998	52,0
	Листья	39,8±1,4	2,34±0,26	783	46,0
	Семена и соцветия	46,6±1,6	2,67±0,29	0,21	0,012
Виргинильные и имматурные	Стеблекорни	35,3±1,2	0,95±0,10	621	16,7
	Черешки	37,1±1,3	1,97±0,22	504	26,8
	Листья	41,3±1,5	4,1±0,5	248	24,5
Ювенильные	Стеблекорни	37,3±1,4	1,28±0,14	32	1,1
	Листья и черешки	39,0±1,4	3,6±0,4	22	2,0

Максимальным содержанием макроэлементов отличаются листья и стебли всех типов побегов *H. sosnowskyi*, при этом, если в вегетативных побегах основу пула макроэлементов составляют калий и азот, то в генеративных побегах на первое место выходит кальций (рис. 2).

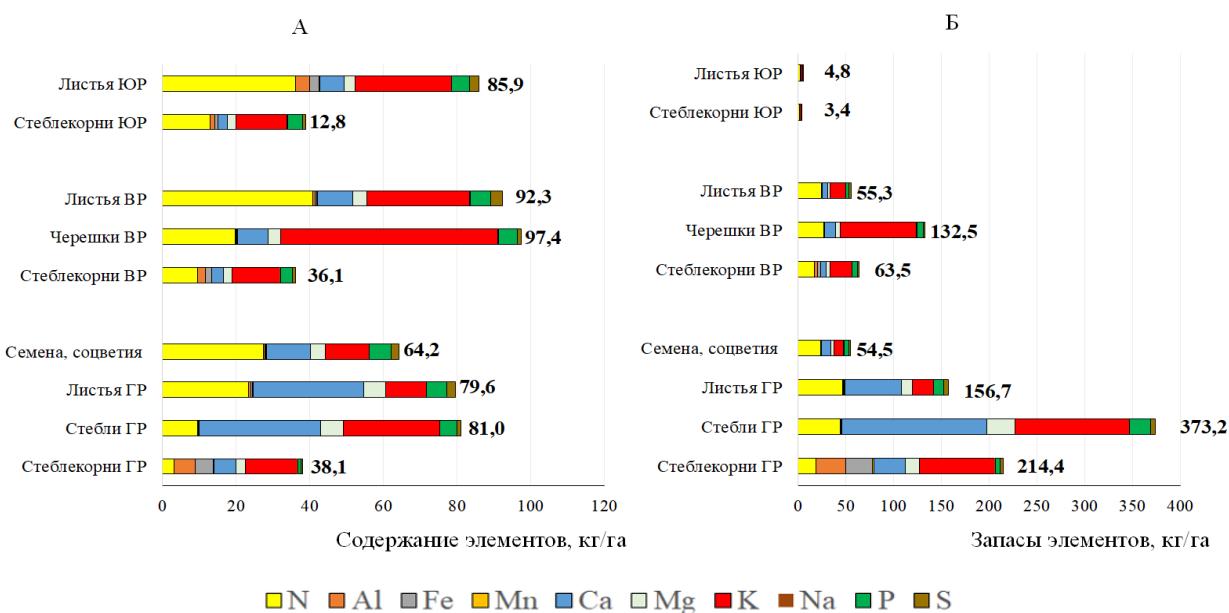


Рис. 2. Содержание (А) и запасы (Б) азота и макроэлементов в различных частях генеративных (ГР), виргинильных, имматурных (ВР) и ювенильных (ЮР) растений

Таким образом, в условиях таежной зоны РК суммарная продуктивность маловидовых зарослей *H. sosnowskyi* составляет 188 ± 37 ц/га сухой биомассы (от 145 до 270 ц/га), вклад подземной фитомассы в суммарную биомассу составляет 31–45%. Рассмотренные сообщества относятся к азотному бореальному классу, кальциево-калиевому типу химизма биологического круговорота. Благодаря значительным запасам надземной фитомассы растений борщевика в постагренических сообществах с участием *H. sosnowskyi*, ведущую роль в биологическом круговороте играют такие элементы как калий, кальций и азот. Эти элементы занимают первые три позиции в рядах накопления элементов как в расчете на содержание элементов, так и в расчете на их запасы.

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

Библиографический список

1. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота. Л. : Наука, 1967. 145 с.
2. Базилевич Н. И., Родин Л. Е. Типы биологического круговорота зольных элементов и азота в основных природных зонах северного полушария // Генезис, классификация и картография почв СССР. 1964. С. 105–108.
3. Базилевич Н. И., Родин Л. Е. Биологическая продуктивность основных типов растительности северного полушария Старого Света // Доклады АН СССР. 1964. Т. 157. № 1. С. 215–218.

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОБРАЗЦОВ МЁДА

В. И. Сошников, А. О. Ложкина, Д. А. Хохлова,

С. В. Шабалкина, Е. В. Коледаева

Кировский государственный медицинский университет,

xoхlovadiana1719@gmail.com

В статье представлены результаты палинологического анализа пяти образцов мёда, произведённых в населённых пунктах Кировской области (Яранск, Кумены, Фаленки и Уржум) и в Самарской области. Установлены таксономическая принадлежность растений, использовавшихся медоносными пчелами для сбора, и частота встречаемости пыльцевых зёрен.

Ключевые слова: Кировская область, мелиссопалинология, мёд, микроскопирование, пыльцевой анализ, пыльцевое зерно, частота встречаемости пыльцевых зёрен.

Мёд – это натуральный пищевой продукт, сладкая вязкая субстанция, которую производят медоносные пчелы из нектара цветковых растений или пади. В связи с этим выделяют два типа мёда: цветочный (нектарный) и падевый, собранный с различных частей растения. Примерами цветочного мёда являются тимьяновый, цитрусовый, липовый и вересковый, падевого – сосновый и еловый [1].

Исходя из состава, мёд также можно классифицировать на две категории: монофлорный и полифлорный. В состав монофлорного мёда преимущественно входит нектар одного вида растений. В полифлорном преобладает смесь пыльцы нескольких видов растений. По этой причине монофлорный мёд пользуется большим спросом и обладает более высокой рыночной ценой [1].

В состав мёда входят следующие химические вещества: сахара (75–85%), вода (13–20%) и небольшая доля несахаристых компонентов (около 3%). Основными углеводными составляющими являются фруктоза (33–38%), глюкоза (28–31%) и сахароза (1,5–5%), а также фруктоолигосахариды (4–5%). Аромат этого продукта пчеловодства зависит от присутствия в нём эфирных масел, но их концентрация крайне мала. Кроме того, мёд содержит белки, но только в незначительных количествах (0,1–0,5%). Основными ферментами, содержащимися в мёде, являются глюкозооксидаза, инвертаза (сахараза), диастаза (амилаза) и каталаза. Они определяют биологическую активность этого продукта [2]. Таким образом, имея в своём составе биологически активные компоненты, продукты из мёда оказывают антимикробное, противовирусное, антиоксидантное, противовоспалительное и противодиабетическое действие на организм человека.

На составляющие мёда влияют многочисленные факторы, в том числе ботаническое и географическое происхождение, виды пчел, участвующих в

его производстве, его возраст, метод хранения и обработки. Географическое и ботаническое происхождение этого продукта пчеловодства выявляется посредством пыльцевого анализа, что основано на спектре пыльцы мёда каждой природной зоны, который содержит преимущественно пыльцу растений, произрастающих на данной территории. Данный метод также позволяет выявить случаи фальсификации этого продукта [1].

В Кировской области объём производимого мёда ежегодно держится примерно на одном уровне – 1000 тонн. По данным статистики, в 2021 г. собрано более 1148 т товарного мёда, что выше уровня 2020 г. почти на 15%. Производством этого продукта активно занимается население Кильмезского, Малмыжского, Нолинского, Уржумского, Яранского и других районов региона. В 2022 г. кировские пчеловоды произвели 1078 т мёда.

Российская Федерация ежегодно поставляет на экспорт сотни тонн мёда. Требованиями многих стран, включая Европу, является указание его происхождения. Аналогичная ситуация и в России: сегодня на основании приказа Министерства сельского хозяйства РФ от 2022 года № 713, для каждой партии монофлорного мёда требуется подтверждение его ботанического происхождения [3].

В связи с этим, целью исследования стало проведение палинологического анализа образцов мёда для выявления спектра пыльцевых зёрен.

Типы мёда и фальсификат определяются путём использования метода пыльцевого анализа, основанного на микроскопировании, определении частоты встречаемости пыльцевых зёрен и их морфологических особенностей. Эффективность палинологического анализа объясняется тем, что растения производят большой объём пыльцы. Наружные оболочки пыльцевых зёрен являются достаточно стойкими и обладают характерными морфологическими особенностями: размер, структура, наличие борозд, пор и цвет. На основании этого можно установить таксономическую принадлежность растений, использовавшихся медоносными пчелами для сбора.

Для проведения палинологического анализа отобрано пять образцов мёда, произведённых в населённых пунктах Кировской области (Яранск, Кумены, Фаленки и Уржум) и в Самарской области (далее – Самара). Исследование проводили согласно ГОСТ 31769-2012 и использовали следующее лабораторное оборудование: градуированная пипетка, мерный стеклянный цилиндр вместимостью 50–100 см³, оптический биологический микроскоп с кратностью увеличения ×100–400, бумажный фильтр, водяная баня, предметное и покровное стёкла, стеклянный стакан вместимостью 50–100 см³ [4].

В мерную колбу объёмом 150 мл наливали 100 мл пробы мёда, нагретой до температуры 50–60 °С. Градуированной пипеткой отбирали пробу из мерной колбы (глубина 40 мл), переносили её на предметное стекло и равномерно распределяли гранью покровного стекла. Далее покровное стекло медленно (во избежание образования воздушных пузырьков) опускали на мёд. Аналогично готовили препараты из одной пробы с глубины мерной колбы 70 и 90 мл. Просмотр и подсчет пыльцевых зёрен проводили при помощи микро-

скопа при увеличении кратном $\times 100$, идентифицировали при увеличении кратном $\times 400$ [4] с помощью атласа [5]. Считали 81 поле – 9 по горизонтали и 9 по вертикали. Частоту встречаемости пыльцевых зёрен отдельного вида растений – X_p (%) – рассчитывали по формуле:

$$X_p = \frac{4 \cdot 100\%}{n},$$

где А – суммарное число пыльцевых зёрен отдельного вида растения во всех счетных полях; 100 – коэффициент перевода в проценты; n – суммарное количество всех пыльцевых зёрен в данной пробе.

За результат испытаний принимали среднее арифметическое значение трёх проб, взятых с различной глубины образца.

В результате анализа пяти образцов выявлено, что в составе мёда присутствует пыльца 30 видов растений в совокупности (табл.). В пробе продукта из Яранска встречалась пыльца 11 видов растений, среди которых наиболее часто идентифицировались зёдра душицы обыкновенной и небольшой процент земляники ананасной, клевера гибридного и др.

Таблица

Частота встречаемости пыльцы, %, по результатам анализа проб мёда

Название растения	Место производства образца				
	Яранск	Кумены	Фаленки	Уржум	Самара
1	2	3	4	5	6
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)	80,02	–	–	18,58	89,83
Земляника ананасная (<i>Fragaria × ananassa</i> (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier)	5,33	–	7,14	–	–
Груша обыкновенная (<i>Pyrus communis</i> L.)	–	6,66	7,14	–	–
Жимолость татарская (<i>Lonicera tatarica</i> L.)	–	13,33	–	–	–
Ива белая (<i>Salix alba</i> L.)	–	6,66	–	–	–
Клевер гибридный (<i>Trifolium hybridum</i> L.)	4,01	26,66	7,14	–	–
Крыжовник обыкновенный (<i>Ribes uva-crispa</i> L.)	1,33	6,66	–	9,98	–
Кукуруза сахарная (<i>Zea mays</i> L.)	–	20,04	28,59	9,88	–
Люцерна посевная (<i>Medicago sativa</i> L.)	–	6,66	–	–	–
Подсолнечник однолетний (<i>Helianthus annuus</i> L.)	–	13,33	–	–	–
Ирга овальнолистная (<i>Amelanchier ovalis</i> Medik.)	–	–	7,14	–	–
Мать-и-мачеха обыкновенная (<i>Tussilago farfara</i> L.)	–	–	21,43	–	–
Пустырник обыкновенный (<i>Leonurus cardiaca</i> L.)	–	–	7,14	–	–

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
Смородина колосистая (<i>Ribes spicatum</i> E. Robson)	1,33	—	7,14	—	—
Сныть обыкновенная (<i>Aegopodium podagraria</i> L.)	—	—	7,14	2,45	—
Эспарцет посевной (<i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.)	—	—	—	6,17	8,48
Донник лекарственный (<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Lam.)	1,33	—	—	18,28	1,69
Роза собачья, или шиповник собачий (<i>Rosa canina</i> L.)	1,33	—	—	1,53	—
Осот полевой (<i>Sonchus arvensis</i> L.)	1,33	—	—	—	—
Гречиха посевная (<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench)	1,33	—	—	—	—
Лядвенец рогатый (<i>Lotus corniculatus</i> L.)	1,33	—	—	1,23	—
Сирень обыкновенная (<i>Syringa vulgaris</i> L.)	1,33	—	—	2,45	—
Вишня обыкновенная (<i>Prunus cerasus</i> L.)	—	—	—	4,94	—
Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i> L.)	—	—	—	8,64	—
Василек синий (<i>Centaurea cyanus</i> L.)	—	—	—	8,40	—
Крушина ольховидная (<i>Frangula alnus</i> Mill.)	—	—	—	1,27	—
Малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.)	—	—	—	1,23	—
Донник белый (<i>Melilotus albus</i> Medik.)	—	—	—	1,29	—
Жимолость вьющаяся (<i>Lonicera periclymenum</i> L.)	—	—	—	1,23	—
Фацелия пижмолистная (<i>Phacelia tanacetifolia</i> Benth.)	—	—	—	2,45	—

Примечание: прочерк – отсутствие пыльцевых зёрен таксона в образце.

В пробе из Кумен, содержащей пыльцу 8 видов растений, чаще встречались зёرна клевера гибридного, кукурузы сахарной, жимолости татарской, подсолнечника однолетнего и др. В образце мёда из Фаленок выявлена пыльца 9 видов растений, среди которых преимущественно встречались зёрна кукурузы, мать-и-мачехи и небольшой процент пыльцы других видов растений. Образец мёда из Уржума содержал пыльцевые зёرна 17 видов растений, среди которых чаще обнаруживалась пыльца душицы обыкновенной, донника лекарственного, клевера ползучего, василька синего, крыжовника обыкновенного, кукурузы и др. Небольшой процент пыльцевых зёрен жимолости вьющейся, крушины ольховидной и сирени обыкновенной, в норме редко собираемых пчёлами, можно объяснить случайным попаданием в образец. Мёд из Самары можно считатьmonoфлорным, поскольку в пробе идентифицированы

пыльцевые зёрна трёх видов растений. С наибольшей частотой в образце встречалась пыльца душицы обыкновенной (табл.).

Наиболее распространёнными растениями для сбора оказались *Origanum vulgare* L., *Trifolium hybridum* L., *Ribes uva-crispa* L., *Zea mays* L., *Melilotus officinalis* (L.) Lam.: пыльца этих видов присутствовала в трёх образцах мёда.

На основании полученных данных видно, что результаты палинологического анализа важны для определения ботанического и географического происхождения мёда. Однако, для точного установления его качества и отсутствия фальсификации необходимо проводить дополнительные комплексные исследования (физико-химический, органолептический анализы и др.).

Библиографический список

1. Мирошина Т. А., Резниченко И. Ю., Мирошин Е. В. Виды меда и его фальсификация // Фундаментальные и прикладные решения приоритетных задач пчеловодства : сб. науч.-практ. матер. Междунар. науч.-практ. конф. Вып. II. Казань : Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса, 2023. С. 133–139.
2. Шакарова Л. Исследование химического состава липового меда // Природные ресурсы Земли и охрана окружающей среды. 2022. Т. 3. № 2. С. 17–19.
3. Любимова О. Д., Любимов А. С., Мустафина А. С. Методологические аспекты пыльцевого анализа меда // Актуальные вопросы пчеловодства : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф., приуроченной к 80-летию биологического-технологического факультета Алтайского государственного аграрного университета. Барнаул : Алтайский государственный аграрный университет, 2023. С. 53–57.
4. ГОСТ 31769-2012 Мед. Метод определения частоты встречаемости пыльцевых зерен. Дата введ. 01.07.2013. М. : Стандартинформ, 2019. 11 с.
5. Курманов Р. Г., Ишбирдин А. Р. Пыльцевой атлас. Уфа : Гилем, 2013. 299 с.

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ СТРЕССОРОВ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ ЯЧМЕНИ

E. B. Товстик^{1,2}, O. H. Шуплецова²

¹ Вятский государственный университет,

² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, *tovstik2006@inbox.ru*

Представлена сравнительная оценка удельной листовой поверхности (УЛП) подфлаговых листьев ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сортов «Луч» и «Спутник», а также их регенерантных линий. Растения выращивали на почвенных фонах с токсичностью кадмия, повышенной кислотностью, засухой и контролльном (без стрессоров). Показано, что в условиях почвенного стресса УЛП регенерантов сорта «Луч» была выше, чем у исходного генотипа в 1,3–2,2 раза. Показатели регенерантов сорта «Спутник» в зависимости от условий их получения на селективных средах *in vitro* имели как превышение, так и снижение относительно исходного генотипа.

Ключевые слова: ячмень, регенерант, удельная листовая поверхность, почвенный фон, кадмий, кислотность, засуха.

Использование культуры растительных тканей с включением каллусной стадии расширяет возможности традиционной селекции в создании новых стрессоустойчивых генотипов. Приобретенная сортовая изменчивость имеет как генетическое, так и эпигенетическое происхождение и, может быть, как желательной, так и снижать ценность регенерированных в каллусе растений [1]. Проведенные ранее на базе ФАНЦ Северо-Востока исследования показали возможность получения генотипов зерновых, в том числе ячменя, устойчивых к повышенной кислотности почв, токсичности тяжелых металлов и дефициту влаги методами клеточной селекции [2]. Было выявлено, что природа селективных агентов и иммуномодуляторов в питательной среде для индукции каллуса влияет на вариабельность признаков растений-регенерантов. В настоящее время продолжается сравнительный анализ новых сортов ячменя и их регенерантных форм по биохимическим и, прежде всего, морфологическим параметрам в условиях *in vivo*.

Лист считается одним из наиболее чувствительных к изменению факторов окружающей среды органов растений [3]. Функциональные признаки листьев (площадь поверхности, удельная площадь, масса) оказывают влияние на изменчивость биологических процессов у растений [4]. Это связано с тем, что листовая поверхность является ключевым органом фотосинтеза, определяющим потенциал формирования урожая [5]. По данным литературы, более высокая удельная листовая поверхность (УЛП) обычно связана с большей фотосинтетической способностью на единицу сухой массы [6]. Имеются сведения об изменении УЛП растений в зависимости от температуры, количества осадков, питательных веществ в почве. Установлено, что УЛП снижается в неблагоприятных или низкопродуктивных местообитаниях и повышается в более благоприятных условиях. Обычно УЛП увеличивается с осадками, повышением влажности почвы и содержанием в ней азота [7, 8]. Неоднозначные результаты по УЛП описаны при изучении реакции растений на температуру [9]. Недостаточны исследования влияния ионной токсичности почвы на данный показатель.

Цель работы – изучение функциональных признаков подфлагового листа регенерантных и исходного генотипов ячменя в условиях почвенных стрессов.

Исследования проводили в условиях вегетационного опыта в летний период 2025 года. Объектами исследования служили два сорта ячменя («Луч», «Спутник») и их регенерантные линии, индуцированные в процессе клеточной селекции в каллусной культуре по специальным методикам [10] на различных селективных средах *in vitro*: RA-Cd (с 20 мг/л Cd²⁺), RA-Al (с 40 мг/л Al³⁺ при pH 4,0), RA-ПЭГ (15% ПЭГ) и RA-Контроль (без стресса). Семена ячменя высевали на моделируемые почвенные фонны (табл.).

Таблица

Схема опыта

Стрессор	Почвенный фон			
	контрольный	с кадмием	кислый	засуха
Cd (подвижная форма), мг/кг	0,036±0,004	19,2±0,5	0,706±0,018	0,036±0,004
pH солевой вытяжки из почв	6,8±0,1	5,2±0,1	4,6±0,1	6,8±0,1
Атмосферные осадки	Без изоляции			Изоляция

Растения выращивали в естественных условиях. Для оценки реакции генотипов на стресс на стадии колошения с 20 случайных растений срезали подфлаговый лист.

Анализ функциональных признаков включал фотосъемку сырых листьев, импорт фотографий в программу Image J [11], автоматизированный расчёт площади их поверхности. После фотосъемки листья взвешивали на аналитических весах, производили расчет УЛП, которую определяли как отношение площади листа к его массе.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли стандартными методами с использованием программ MS Excel. Данные представляли в виде средних значений ± стандартное отклонение.

По усредненным значениям УЛП сортов «Луч», «Спутник» и их регенерантов наиболее благоприятные условия для роста складывались на контролльном фоне (80,7 и 89,3 см²/г соответственно); с повышенным кадмием происходило значительное снижение показателей (66,3 и 71,9 см²/г), на кислом фоне (74,4 и 75,3 см²/г) и при засухе (76,5 и 77,9 см²/г) – относительная выравненность с контрольными значениями.

Выявлены достоверные различия между исходным сортом «Луч» и его регенерантами на кадмievом и кислом фонах. При этом исходный сорт уступал регенерантам в 1,3–2,2 раза. Между регенерантами различия наблюдали только для RA-Контроль и RA-Cd на всех почвенных фонах, кроме кислого. Однако, если на контролльном фоне УЛП RA-Cd превосходила значения RA-Контроль на 8%, то на почвенном фоне с кадмием и при засухе – была ниже на 14 и 16% (рис.).

Для «Спутника» на всех почвенных фонах имелись различия между исходным и отдельными регенерантными генотипами. RA-ПЭГ превосходил исходный генотип на контролльном фоне на 19%, на кислом фоне – на 13%; при засухе – на 16%; RA-Контроль на кадмievом – на 20%, кислом – на 13%. В отличие от сорта «Луч» у «Спутника» были выявлены регенеранты, уступающие исходному генотипу: RA-Al на почвенном фоне с кадмием – на 28%, RA-Контроль и RA-Al при засухе – на 17 и 40%.

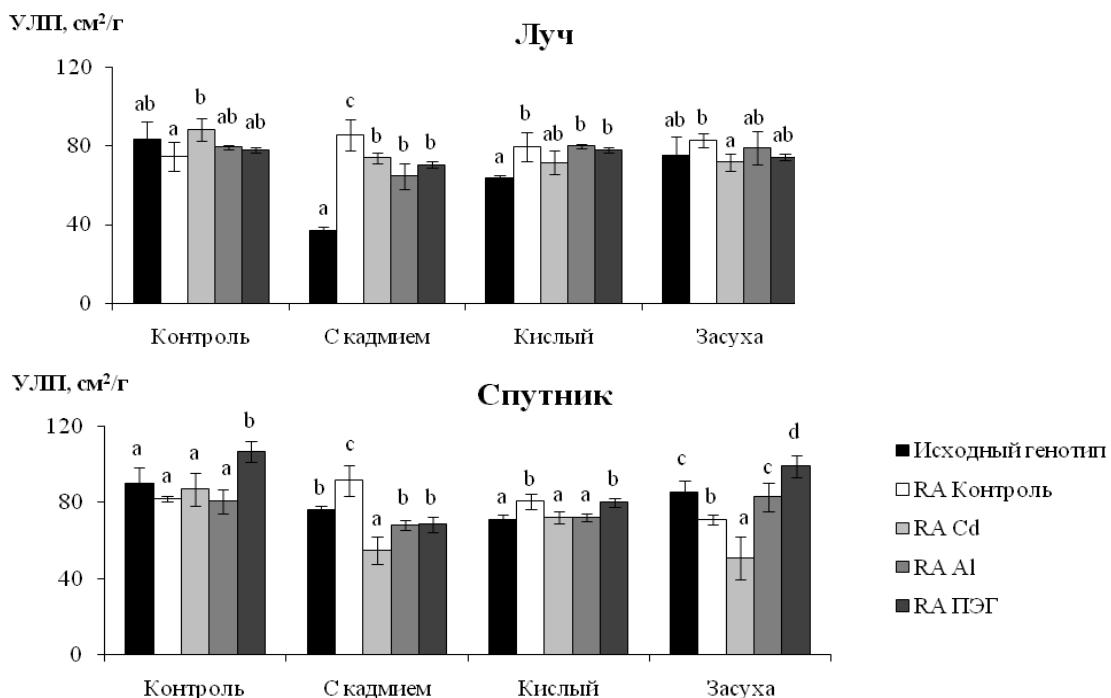


Рис. Удельная поверхность подфлагового листа различных генотипов ячменя на почвенных фонах: разные буквы (a–d) указывают на значимые различия ($p < 0,05$) между генотипами в пределах одного почвенного фона

Полученные результаты показали, что загрязнение почвы кадмием, повышенная кислотность и засуха оказывали влияние на УЛП, вызывая ее уменьшенное снижение у ячменя. Реакция сортов на почвенные стрессоры определялась типом стрессора и происхождением генотипа. У обоих сортов имелись регенерантные линии, превосходящие исходный генотип по исследуемому показателю. Следует отметить, что отбор *in vitro* сорта «Луч» обеспечивал увеличение УЛП (предположительно и потенциальную продуктивность) всех регенерантов в почвенных условиях с ионной токсичностью (кислый и кадмийный фон) или отсутствие отрицательного результата (фон с засухой) по сравнению с исходным генотипом. Тогда как результаты клеточной селекции для сорта «Спутник» были нестабильными – показатели его регенерантных форм (на фоне с кадмием и засухой) имели относительно исходного генотипа как превышение, так и снижение в зависимости от условий их получения на селективных средах *in vitro*. Однако для более корректной интерпретации данных требуется сопоставление урожайности данных генотипов в аналогичных стрессовых условиях.

Библиографический список

1. Orlowska R., Bednarek P.T. Precise evaluation of tissue culture-induced variation during optimisation of *in vitro* regeneration regime in barley. DOI: 10.1007/s11103-020-00973-5 // Plant Mol. Biol. 2020. Vol. 103. P. 33–50.
2. Щенникова И. Н., Шуплецова О. Н., Кокина Л. П. Биотехнология в создании сортов ярового ячменя. DOI: 10.31857/S2500262722030061 // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 3. С. 28–32.

3. Increase in absolute leaf water content tends to keep pace with that of leaf dry mass—evidence from bamboo plants / W. Huang, G. V. P. Reddy, Y. Li, et al. DOI: 10.3390/sym12081345 // Symmetry. 2020. Vol. 12. No. 8. Article No. 1345.
4. Effects of succession stages and altitudinal gradient on leaf surface area and biomass allocation of typical plants in the subalpine of Eastern Tibetan Plateau / G. Chen, K. Yang, J. Zhang, et al. DOI: 10.1016/j.gecco.2021.e01590 // Glob. Ecol. Conserv. 2021. Vol. 27. Article No. e01590.
5. An overview of global leaf area index (LAI): methods, products, validation, and applications / H. Fang, F. Baret, S. Plummer, G. Schaepman-Strub. DOI: 10.1029/2018RG000608 // Rev. Geophys. 2019. Vol. 57. No. 3. P. 739–799.
6. Zhang L., Yang L., Shen W. Dramatic altitudinal variations in leaf mass per area of two plant growth forms at extreme heights. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105890 // Ecol. Indic. 2020. Vol. 110. Article No. 105890.
7. Chown S. L., Gaston K. J., Robinson D. Macrophysiology: large-scale patterns in physiological traits and their ecological implications. DOI: 10.1111/j.0269-8463.2004.00825.x // Functional Ecology. 2004. Vol. 18. No. 2. P. 159–167.
8. Dominant native and non-native graminoids differ in key leaf traits irrespective of nutrient availability / A. Broadbent, J. Firn, J. M. McGree, et al. DOI: 10.1111/geb.13092 // Global Ecol. Biogeogr. 2020. Vol. 29. No. 7. P. 1126–1138.
9. Components of leaf-trait variation along environmental gradients / N. Dong, I. C. Prentice, I. J. Wright, et al. DOI: 10.1111/nph.16558 // New Phytologist. 2020. Vol. 228. No. 1. P. 82–94. Article No. 32198931.
10. Шуплецова О. Н., Товстик Е. В., Щенникова И. Н. Изменение содержания полифенолов в растениях ячменя на стрессовых почвенных фонах. DOI: 10.31857/S2500262723060030 // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 6. С. 15–19.
11. Image J [Электронный ресурс]. – URL: <https://imagej.net/ij/> (дата обращения: 08.11.2025).

ВЫБОР МАРКЕРНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДНК ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ *ROSA ACICULARIS L. И ROSA MAJALIS L.*

С. А. Тойнова¹, Е. В. Коледаева¹, В. А. Козвонин^{1, 2}

¹ Кировский государственный медицинский университет,

toinovkaa@yandex.ru,

² Вятский государственный университет

Растительные лекарственные препараты могут содержать фальсификаты и артефакты производства, что заставляет применять надежные методы идентификации сырья. Одним из таких способов является метод ДНК-штрихкодирования. На примере шиповника иглистого и майского, распространённых в Кировской области и включённых в фармакопею Российской Федерации, был подобран самый полиморфный маркер для их идентификации, освещены возможности метода ДНК-штрихкодирования в фармакогнозии.

Ключевые слова: ДНК-баркодинг, ДНК-штрихкодирование, молекулярная идентификация, растительное лекарственное сырье, фармакогнозия.

Баркодирование ДНК (ДНК-штрихкодирование, генетический баркодинг, ДНК-баркодинг, англ. DNA barcoding) – метод молекулярной идентификации, который позволяет по коротким генетическим маркерам в ДНК определять принадлежность организма к определённому таксону (участку ДНК) [1]. В отличие от методов молекулярной филогенетики, ДНК-баркодирование используется для определения места данного организма в уже существующей классификации, а не для построения филогенетических деревьев и дополнения уже существующей классификации.

Лекарственное сырье – основной источник для создания медицинских препаратов. Молекулярная идентификация лекарственного сырья растительного происхождения играет большую роль в обеспечении безопасности и эффективности применения лекарственных средств – важной части персонализированной медицины. Только при использовании современных методов молекулярной идентификации растений (ДНК-штрихкодирование) из перечня видов, включенных в фармакопею Российской Федерации (РФ), возможно более тщательно отслеживать качество сырья по всей цепочке производства фармакологических препаратов. Это необходимо, так как на рынке лекарственных препаратов растительного происхождения все чаще обнаруживается несоответствие заявленному в инструкции составу, подтверждение этому ряд работ на обсуждаемую тему, вышедшие в последнее время [2]. Возможно, это происходит из-за загрязнения во время сбора и транспортировки лекарственного сырья. К тому же заготовка лекарственных растений в промышленных масштабах не всегда гарантирует соблюдение всех правил.

Преимущества молекулярной идентификации (ДНК-штрихкодирование) лекарственного сырья перед другими стандартными методами очевидно: снимается вопрос привлечения «узких» специалистов для видовой идентификации растений; обнаружение и видовая идентификация примесей при их наличии (то, что можно не заметить невооруженным взглядом, будет обнаружено); достаточно небольшое количество образца для анализа; можно идентифицировать уже переработанное сырье, которое невозможно определить по морфологическим признакам, даже узким специалистам. Использование методов ДНК-штрихкодирования (ДНК-ШК) для целей фармакогнозии находится на начальной стадии своего развития. Поэтому исследования в направлении поиска новых ДНК маркеров, а также применение уже существующих для идентификации лекарственных растений являются актуальными.

Представители семейства Rosaceae – *Rosa acicularis* L. и *Rosa majalis* L. входят в фармакопею РФ, широко произрастают на территории Кировской области. Плоды шиповников содержат большое количество витаминов (особенно С, Р и К), флавоноиды, каротиноиды, дубильные вещества, пектины. Они оказывают общеукрепляющее действие; стимулируют неспецифическую сопротивляемость организма вредным воздействиям; ускоряют восстановление тканей; уменьшают проницаемость сосудов; положительно влияют на углеводный и минеральный обмен веществ; обладают противовоспалительными

свойствами; усиливают гуморальный и клеточный иммунитет; обладают желчегонным действием, обусловленным наличием органических кислот и флавоноидов. В связи с этим, становится актуальной проблема идентификации этих растений при утрате диагностических критериев, по которым возможно их определение до вида.

Цель – подбор ДНК-маркеров для видовой идентификации лекарственных растений из семейства Rosaceae – *Rosa acicularis* и *Rosa majalis*.

Для видовой идентификации растений с использованием метода ДНК-ШК используют один из четырех молекулярных маркеров, или их комбинации. Этими маркерами являются последовательности гена *rbcL*, гена *matK*, и межгенный спейсер *trnH-psbA* хлоропластной ДНК, а также последовательность внутреннего транскрибуируемого спейсера два (ITS2) ядерной ДНК.

Из базы данных Genbank и BOLD SYSTEM взяты ДНК-последовательности (*rbcL*, *matK*, *trnH-psbA* и *ITS2*) для видов семейства Rosaceae, встречающихся во флоре Кировской области. Работа состояла из следующих этапов: отбор нуклеотидных последовательностей из портала открытых данных; помещение генетического кода в файл в программе Mega 7; выравнивание нуклеотидных последовательностей до усредненных между собой удобных для дальнейших расчетов размеров. Работу по укорачиванию нуклеотидных последовательностей до определенных размеров, выравниванию нуклеотидных последовательностей и построению филогенетического древа видов семейства Rosaceae проводили в программе Mega 7 (<https://www.megasoftware.net/>), анализ получившихся нуклеотидных последовательностей на наличие вариабельных участков.

Сравнительный анализ маркерных последовательностей показал, что самым полиморфным маркером (уникальный для каждого из анализируемых нами видов) является последовательность *trnH-psbA*. Однако, нельзя назвать его самым пригодным, так как он еще и самый немногочисленный по встречаемости в базах GenBank (24 из 41 вида). По результатам анализа, молекулярный маркер *ITS2* представлен для всех видов из составленного списка, но это не дает ему возможности быть пригодным для последующей идентификации, так как для шести видов из нашего списка маркерные последовательности ДНК одинаковые, то есть при идентификации нельзя будет точно отличить одно лекарственное сырье от другого с помощью методов молекулярной диагностики. ДНК-баркоды *matK* и *rbcL* также не пригодны для идентификации, так как не полностью представлены в базах генетических данных и некоторые последовательности из представленных не являются уникальными. Кроме того, в GenBank не было ДНК-последовательности гена *rbcL*, что в особенности не позволяет ему стать пригодным для идентификации.

На основании полученных сведений проведен молекулярно-филогенетический анализ, который помог визуализировать данные в виде филогенетических древ. Для лучшей визуализации данные сведены в разработанную таблицу (табл.). В ней белые ячейки обозначают, что маркерная последовательность ДНК позволяет идентифицировать вид и есть в базе Ген-

Bank; серые ячейки означают, что ДНК-маркер для вида есть в международной базе генетических данных, но он его не идентифицирует; черные ячейки – ДНК-последовательности нет в международной базе генетических данных и BOLDSYSTEM.

Таблица

**Информация о наличии маркерных последовательностей ДНК
для анализируемых видов семейства Rosaceae**

Название вида / ДНК-последовательность	ITS2	matK	rbcL	TrnH-psbA
1	2	3	4	5
<i>Acomastylis glacialis</i> (Adams) A. Khokhr. / <i>Geum glaciale</i> Adams ex Fisch.		■		
<i>Alchemilla acutiloba</i> Opiz. / <i>Alchemilla acutiloba</i> Opiz.	■		■	
<i>Alchemilla glabra</i> Neyg. / <i>Alchemilla glabra</i> Neygenf	■			
<i>Alchemilla glaucescens</i> Wallr. / <i>Alchemilla glaucescens</i> Wallr.		■	■	
<i>Alchemilla glomerulans</i> Bus. / <i>Alchemilla glomerulans</i> Buser	■	■	■	
<i>Alchemilla gracilis</i> Opiz. / <i>Alchemilla incisa</i> Buser		■		
<i>Alchemilla heptagona</i> Juz. / <i>Alchemilla heptagona</i> Juz	■	■		
<i>Alchemilla monticola</i> Opiz. / <i>Alchemilla monticola</i> Opiz.		■	■	
<i>Alchemilla subcrenata</i> Bus. / <i>Alchemilla subcrenata</i> Buser		■	■	
<i>Agrimonia eupatoria</i> L. / <i>Agrimonia eupatoria</i> auct. fl. amer.				
<i>Comarum palustre</i> L. / <i>Comarum palustre</i> L.				
<i>Cotoneaster melanocarpus</i> Fisch. ex Blytt				
<i>Dryas octopetala</i> L. / <i>Dryas octopetala</i> L.				■
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim. / <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.				
<i>Fragaria vesca</i> L. / <i>Fragaria vesca</i> L.				
<i>Geum rivale</i> L. / <i>Geum rivale</i> L.				
<i>Geum urbanum</i> L. / <i>Geum urbanum</i> L.				
<i>Malus</i> sp. / <i>Malus acerba</i> M, rat/ <i>Malus sylvestris</i> (L.) Mill.				
<i>Padus avium</i> Mill. / <i>Prunus padus</i> L.				
<i>Pentaphylloides fruticosa</i> (L.) O. Schwarz				
<i>Potentilla argentea</i> L. / <i>Potentilla argentea</i> L.		■		
<i>Potentilla crantzii</i> (Crantz) G. Beck ex Fritsch			■	
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Raeusch. / <i>Potentilla erecta</i> (L.) Raeusch			■	
<i>Potentilla gelida</i> C. A. Mey subsp. <i>boreo-asiatica</i> Jurtz. et R. Kam		■	■	
<i>Potentilla goldbachii</i> Rupr. / <i>Potentilla thuringiaca</i> Bernh.		■	■	
<i>Potentilla heidenreichii</i> Zimmeter / <i>Potentilla intermedia</i> L.			■	■
<i>Potentilla hyparctica</i> Malte / <i>Potentilla hyparctica</i> Malte		■	■	
<i>Potentilla impolita</i> Wahlenb. / <i>Potentilla inclinata</i> Vill.		■	■	
<i>Potentilla multifida</i> L. / <i>Potentilla multifida</i> L.			■	
<i>Potentilla norvegica</i> L. / <i>Potentilla norvegica</i> L.		■	■	
<i>Potentilla supina</i> L. / <i>Potentilla supina</i> L.			■	

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
<i>Rosa acicularis</i> Lindl. / <i>Rosa acicularis</i> Lindl.				
<i>Rosa majalis</i> Herrm. / <i>Rosa majalis</i> Herrm.				
<i>Rubus arcticus</i> L. / <i>Rubus arcticus</i> L.				
<i>Rubus chamaemorus</i> L. / <i>Rubus chamaemorus</i> L.				
<i>Rubus humulifolius</i> C. A. Mey. / <i>Rubus humulifolius</i> C. A. Mey				
<i>Rubus idaeus</i> L. / <i>Rubus idaeus</i> L.				
<i>Rubus saxatilis</i> L. / <i>Rubus saxatilis</i> L.				
<i>Sibbaldia procumbens</i> L. / <i>Sibbaldia procumbens</i> L.				
<i>Sorbus aucuparia</i> L. / <i>Sorbus aucuparia</i> L.				
<i>Spiraea media</i> Franz Schmidt / <i>Spiraea media</i> Schmidt				

В результате работы установлено, что оптимальным ДНК-маркером для идентификации растений *Rosa acicularis* и *Rosa majalis* является последовательность *trnH-psbA*, однако для определения его полной пригодности необходимо выделить ДНК-последовательности этого маркера, провести секвенирование и внести полученные данные в GenBank или BOLD SYSTEM. Использование этого маркера может позволить избежать попадания примесей других растений на всех этапах заготовки растительного сырья, в том числе ядовитых растений. Таким образом, знание компонентного состава лекарственного сырья как растительного, так и животного происхождения, имеет большое значение. Прежде всего, это необходимо для своевременного выявления и избегания фальсификаторов на рынке лекарственных препаратов.

Библиографический список

1. Biological identifications through DNA barcodes / P. D. N. Hebert, A. Cywinska, S. L. Ball, J. R. deWaard. DOI: 10.1098/rspb.2002.2218 // Proc. Biol. Sci. 2003. Vol. 270. No. 1512. P. 313–321.
2. Poisonous or non-poisonous plants? DNA-based tools and applications for accurate identification. Review / V. Mezzasalma, I. Ganopoulos, A. Galimberti, et al. DOI: 10.1007/s00414-016-1460-y // Int. J. Legal. Med. 2017. Vol. 131. P. 1–19.

РЕДКИЕ ВИДЫ РАСТЕНИЙ КАК ИНДИКАТОРЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

М. Б. Фардеева, Н. Р. Шафигуллина
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
orchis@inbox.ru, nadiashafigullina@gmail.com

Проведены исследования разнообразия флоры мхов и сосудистых растений в лесных сообществах Агрызского района Республики Татарстан. Выявлены редкие виды растений: *Circaea alpina* L., *Ligularia sibirica* (L.) Cass., *Neottianthe cucullata* (L.) Rich., *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., *Succisa pratensis*

Moench, *Dryopteris assimilis* S. Walker, *Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt, *Botrychium multifidum* (S. G. Gmel.) Rupr., *Lycopodium annotinum* L. и *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub., *Neckera pennata* Hedw. Их ценопопуляции устойчивы, часто многочисленные на участках, предложенных нами для организации новых особо охраняемых территорий.

Ключевые слова: редкие растения, состояние популяций, ключевые сообщества, рекомендации для организации охраняемых участков.

Ведение региональных Красных книг предполагает исследование редких видов организмов в разных условиях природопользования, их распространения, оценки численности и состояния популяций. Исследования в Агрызском районе Республики Татарстан (РТ) проводили летом 2023 г. как на территории заказника «Кичке-Тан», так и на неохраняемом участке лесничества в различных сообществах: от склонов родников, овражно-балочных систем, пойменных лугов до елово-широколиственных, широколиственных, мелколиственных и сосновых лесов, что позволило собрать большой материал по разнообразию флоры и растительных сообществ. Агрызский район находится на северо-востоке РТ, граничит с Удмуртской Республикой, входит в состав Вятско-Камского равнинного региона северных темнохвойно-широколиственных лесов. По ландшафтному районированию приурочен к Елабужско-Предкамскому эрозионно расчленённому району подтаежных Приуральских широколиственно-пихтово-еловых неморально-травяных, сосново-широколиственных, сосновых и заболоченных лесов и болот [1] и интересен сохранением здесь редких бореальных и бореально-неморальных растений.

Основные исследования проходили в центральной и северо-западной части района по долине реки Иж. Флора оステнённых, некоторых лесных и заболоченных участков Агрызского района изучалась в 2000–2004 гг., 2008–2010 гг. [2, 3]. В современных условиях (2023 г.) сделано более 50 геоботанических описаний различных сообществ, которые занесены в базу данных «Флора» [4]. Актуальным является не только изучение распространения редких видов растений, но выделение перспективных участков для организации особо охраняемых природных территорий (ООПТ), что важно для северных районов РТ, где по лесничествам, наряду с выборочными рубками, часто отмечаются сплошные рубки спелых сосновых и елово-широколиственных лесов. Целью наших исследований было выделение разнообразия редких растений и уникальных естественных природных комплексов для сохранения подтаежных экосистем.

Мониторинг состояния флоры и особенно оценку восстановления после засухи 2010 г. популяций лесообразующих хвойных деревьев в заказнике «Кичке-Тан» проводили в 2014–2016 гг. [5]. В современных условиях (2023 г.) сосновки мшистые, бруслично-мшистые, чернично-бруслично-вейниковые в ООПТ «Кичке-Тан» находятся в хорошем состоянии, проектив-

ное покрытие мхов составляет 40–60%, что позволяет развиваться в таких условиях некоторым редким бриофильным видам орхидей, в частности, неотианте клубочковой (*Neottianthe cucullata* (L.) Rich. (или по современной классификации – *Ponerorchis cucullata* (L.) Schlechter). Популяционные исследования проведены в сосняке орляковом, где в ценопопуляции 1 (ЦП1) отмечено 87 особей, и в сосняке бруснично-мшистом – ЦП2 – 102 особи на пробных площадках 100 кв. м. Возрастные спектры полночленные, популяции устойчивые, встречаются все возрастные группы (ювенильные, имматурные, виргинильные до 60%), что говорит о хорошем семенном возобновлении; молодые и зрелые генеративные особи, единично цветущие (14–16.08.2023) или плодоносящие (рис.). В целом, процент плodoобразования *Neottianthe cucullata* составляет 70–80% – высокий.

Сохранившиеся биотопы мшистых сосняков с елью являются подходящими местообитаниями для любки двулистной (*Platanthera bifolia* (L.) Rich.) и даже более редкой гудайеры ползучей (*Goodyera repens* (L.) R. Br.), которые, к сожалению, не были найдены, что требует дальнейших исследований.

Флора мхов довольно богата, здесь отмечены следующие виды: *Amblystegium serpens* (Hedw.) Bruch et al., *Anomodon longifolius* (Brid.) Hartm., *Atrichum flavisetum* Mitt., *Atrichum tenellum* (Röhl.) Bruch et Schimp., *Callicladium haldanianum* (Grev.) H.A. Crum, *Climacium dendroies* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr, *Dicranum montanum* Hedw., *Dicranum polysetum* Sw., *Dicranum scoparium* Hedw., *Fissidens bryoides* Hedw., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al., *Mnium stellare* Hedw., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Pohlia cruda* (Hedw.) Lindb., *Polytrichum juniperinum* Hedw., *Pseudoleskeella nervosa* (Brid.) Nyholm, *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Bruch et al., *Sciuro-hypnum reflexum* (Starke) Ignatov et Huttunen.

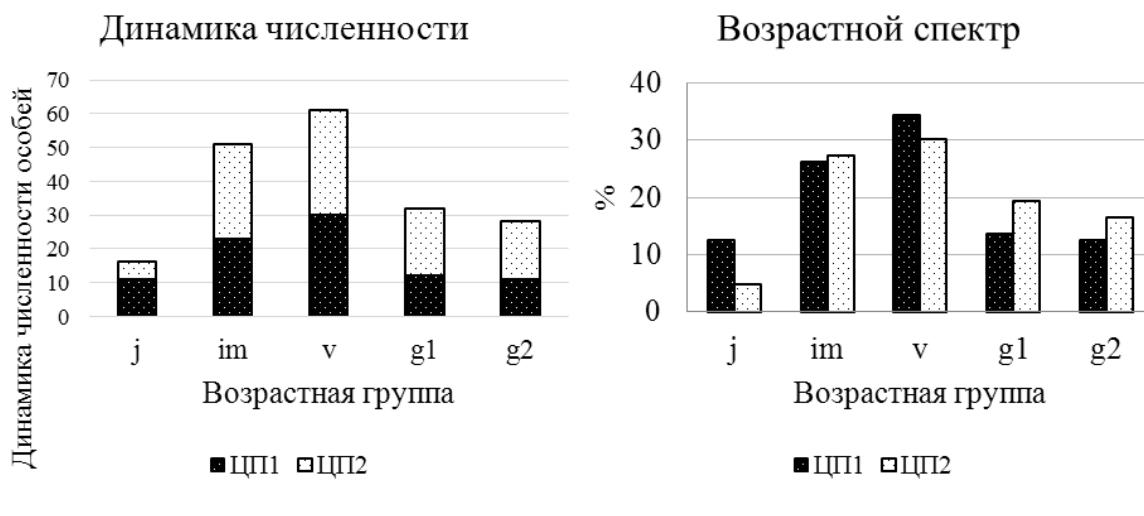


Рис. Динамика численности (А) и возрастной структуры (Б) исследованных ценопопуляций 1 и 2 (ЦП) *Neottianthe cucullata*

Среди перспективных сообществ для создания охраняемых территорий нами были отмечены три участка. Овражно-балочная система недалеко от ООПТ «Кичке-Тан», перспективная для расширения территории заказника, уникальна разнообразными местообитаниями по склонам, подножию оврага и гигрофильной флорой овражного ручья. По склонам оврага сохранились ста-ровозрастные ельники с липой и вязом кисличные, где отмечается бореальный комплекс растений, среди них и редкие виды РТ: *Circaeа alpina* L. – многочисленные ЦП цирцеи альпийской встречаются как по днищу, так и склонам оврага обильно, более 1000 особей, возобновление семенное; *Dryopteris assimilis* S. Walker – короткокорневищный розеточный многолетник, встречается по склонам оврага – более 20 розеток, причем отмечаются розетки с крупными и более мелкими листьями – разных онтогенетических групп; *Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt – длинокорневищный многолетник отмечается в четырех микроместообитаниях часто вместе с *Cystopteris fragilis* (L.) Bernh. или *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm., образуя куртины по 10–20 листьев (вай), всего более 100 особей. Куртины и розетки листьев редких папоротников довольно крупные, с развитыми сорусами, что обусловливает хорошее возобновление спорами и развитие гаметофитов в благоприятных, влажных условиях овражно-балочной системы.

В широколиственных и елово-широколиственных лесах отмечается *Neottia nidus-avis* (L.) Rich. Проективное покрытие мхов по склонам оврага составляет 20–30% местами до 60–70%. Выявлены следующие виды мхов и печеночников: *Atrichum flavisetum*, *Chiloscyphus pallescens* (Ehrh. ex Hoffm.) Dumort., *Climacium dendroies*, *Conocephalum conicum* (L.) Und., *Dicranum scoparium*, *Homalia trichomanoides* (Hedw.) Bruch et al., *Lophocolea heterophylla* (Schrad.) Dumort., *Lophocolea minor* Nees, *Mnium stellare*, *Neckera pennata* Hedw., *Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T.J. Kop., *Pleurozium schreberi*, *Pohlia wahlenbergii* (F. Weber et D. Mohr) A. L. Andrews, *Ptilidium pulcherrimum* (G. Web.) Vain., *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not., *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Bruch et al., *Radula complanata* (L.) Dum., *Rhizomnium magnifolium* (Horik.) T. J. Kop., *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske, *Sciuro-hypnum reflexum*. Среди эпифитных мхов отмечена неккера перистая – редкий вид, входящий в Красную книгу РТ [6], а значительное разнообразие мхов говорит о благоприятном микроклимате в условиях оврага и об отсутствии рубок.

Заболоченные (пойменные) березняки с елью и ольхой осоково-мшистые, расположенные вдоль ручья, впадающего в речку Чильчинка, оказались подходящим местообитанием для редких видов растений [6]. Впервые здесь найден бузульник сибирский (*Ligularia sibirica* (L.) Cass.), ЦП насчитывает 58 цветущих генеративных особей, а также виргинильных – около 10 шт. Длина цветоносов варьирует от 100 до 180 см в фазе отцветания и формирования семян; сивец луговой (*Succisa pratensis* Moench) – 10 цветущих экземпляров. По склонам и опушке березняка отмечена *Trollius europaeus* L. (около 10 экз.), по окраине леса – *Neottia nidus-avis*. В составе флоры мхов были отмечены: *Amblystegium serpens*, *Climacium dendroies*, *Drepanocladus aduncus*

(Hedw.) Warnst., *Plagiomnium ellipticum* (Brid.) T.J. Kop., *Plagiomnium rostratum* (Schrad.) T.J. Kop., *Pleurozium schreberi*, *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb., *Sanionia uncinata*. К сожалению, заболоченные луга и березняки с елью изучены только на 30% территории, что требует дальнейших исследований. Данный участок находится в 2 км от д. Саклово и рекомендуется для выделения под ООПТ.

В окрестностях села Ямурзино еще в 2008–2010 гг. [3] были изучены участки заболоченных лесов и минеротрофных болот, но сосновые и сосново-зеленомошные леса остались не исследованными. В современных условиях многие сосняки, как переспелые, интенсивно вырубаются, однако именно старовозрастные хвойные леса богаты таежной флорой мхов и сосудистых растений. Сухие сосняки бруслично-мшистые и по понижениям сосняки с елью зеленомошные располагались недалеко от участков сплошных рубок. Хвойные леса представлены хорошо сформировавшимися приспевающими сосняками с елью, где высота *Pinus sylvestris* L. 20–22 м, при диаметре стволов 22–44 см, *Picea fennica* (Regel) Kom. преимущественно составляет второй ярус, высотой 8–10 м, редко до 15–16 м, в подлеске часто встречается *Juniperus communis* L., внесенный в приложение Красной книги РТ [6]. Проективное покрытие мхов составляет от 40 до 80%. По мшистым местообитаниям встречаются краснокнижные виды плаунов (сем. Lycopodiaceae): *Lycopodium annotinum* L. и *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub., которые образуют кутины размером до 5–10 м², хорошо возобновляются, прекрасно развиты спороносные колоски. Отмечены представители редких ужовниковых (сем. Ophioglossaceae): единично встречен грозовник многорядный – *Botrychium multifidum* (S. G. Gmel.) Rupr. (выявлено 3 экз.). Наряду с редкими споровыми растениями отмечены типичные бореальные и боровые виды растений, являющиеся индикаторами хорошего сохранения боров и подтаежных елово-сосновых мшистых лесов. Многие из растений внесены в приложение к Красной книге РТ [6]: *Pyrola media* Swartz и более редкие – *Pyrola chlorantha* Swartz и *Chimaphila umbellata* (L.) Barton, их популяции многочисленные. Реже по соснякам с елью и березой встречается подъельник буковый (*Monotropa hypophaea* Wallr.).

В подобных хвойных сообществах отмечено большое обилие мхов в напочвенном покрове, которые требуют дальнейшего изучения. В основном представлены *Dicranum montanum*, *Dicranum polysetum*, *Dicranum scoparium*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Rhytidadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst.

Подготовка практических рекомендаций для выделения «ключевых сообществ» при заготовке древесины лесничествами [7] позволяет выделять уникальные природные комплексы, способные стать резерватами подтаежных лесов не только для сохранения редких видов растений, но и в целом, бореального комплекса видов разных организмов, находящихся в РТ на южной границе распространения. Подобные исследования проводились уже в Лубянском, Мартовском и Елабужском лесничествах по заданию Минлесхоза РТ в

2019–2020 гг. Вследствие этого, выявленные нами участки Агрызского района требуют внесение их в реестр ООПТ с организацией охраняемых территорий для мониторинга за их состоянием в условиях изменения климата. Сохранение сосновых, елово-сосновых и елово-лиственных сообществ рядом с участками санитарных, выборочных и сплошных рубок необходимы для восстановления бореального комплекса всех естественных организмов в будущих искусственных насаждениях, формирования там нового мохового покрова и восстановления разнообразия симбиотрофных грибов, участвующих в процессе естественного возобновления хвойных деревьев и восстановления спелых хвойных сообществ.

Библиографический список

1. Бакин О. В., Рогова Т. В., Ситников А. П. Сосудистые растения Татарстана. Казань : Изд-во Казанского университета, 2000. 496 с.
2. Баранова О. Г. Материалы к аборигенной флоре окрестностей села Красный Бор Агрызского района Республики Татарстан // Вестник Удмурт. ун-та. Сер. Биология. 2004. № 10. С. 39–50.
3. Бакин О. В., Прохоров В. Е. Заметки о растениях Агрызского района Татарстана // Ботанические заметки. № 1. Казань, 2010. С. 18–21.
4. Prokhorov V., Rogova T., Kozhevnikova M. Vegetation database of Tatarstan. DOI: 10.1127/phyto/2017/0172 // Phytocoenologia. 2017. Vol. 47. No. 3. P. 309–313.
5. Ибрагимова А. Ф., Фардеева М. Б. Особенности популяционной динамики *Picea fennica* (Regel.) Kom. в хвойно-широколиственных лесах на южной границе ареала // Вестник Удмуртского ун-та. Биол. науки о земле. 2017. Вып.1. С. 22–32.
6. Красная книга Республики Татарстан: животные, растения, грибы. Казань : Министерство лесного хозяйства Республики Татарстан, 2016. 760 с.
7. Определитель ключевых биотопов и объектов для сохранения биоразнообразия при освоении лесосек на территории Республики Татарстан / Г. А. Шайхутдинова, Т. В. Рогова, Р. Х. Бекмансуров и др. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2024. 148 с.

МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО β -КАРОТИНА ДЛЯ ОЦЕНКИ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАСТЕНИЯХ

Д. В. Шутова, Е. С. Соловьёва

Вятский государственный университет, shutov4daria@yandex.ru

В статье представлены результаты по извлечению β -каротина из различного растительного сырья (плоды томатов и тыквы, корнеплоды моркови). Показана эффективность выделения индивидуального пигмента методом колоночной хроматографии. Установлены различия в его содержании в исследуемых объектах: максимальное количество зафиксировано в корнеплодах моркови. Предложено использование данной методики для оценки воздействия антропогенных факторов на растительные сообщества.

Ключевые слова: каротиноиды, β -каротин, растительное сырье, экстракция, хроматография.

Современная экологическая обстановка требует особого внимания к состоянию окружающей среды из-за усиленного антропогенного воздействия, что обуславливает необходимость разработки практических методов их диагностики. Традиционные физико-химические методы, несмотря на свою точность, не всегда отражают комплексное воздействие загрязнения на живые организмы. В связи с этим методы, основанные на оценке ответных реакций биоиндикаторов, становятся наиболее значимыми. Значительную роль в качестве таких биоиндикаторов играют растения, так как подвержены влиянию одновременно двух сред: воздушной и почвенной. Также, учитывая их прикрепленный образ жизни, состояние их организма может свидетельствовать о состоянии конкретного местообитания [1]. Реакция растений на негативные факторы проявляется на различных уровнях, в том числе через изменение биохимического состава. Важную роль в защите организма растений от воздействия окислительного стресса, вызванного загрязнениями, играют каротиноиды.

Каротиноиды обладают важнейшими свойствами, одно из которых – антиоксидантная активность, проявляющаяся в защите клеток от повреждающего действия свободных радикалов [2]. Не менее значимым является и провитаминная активность некоторых из них, например β -каротин, являясь предшественником витамина А, превращается в него в организме под действием ферментов. В растениях каротиноиды выполняют три важные функции: обеспечивают улавливание энергии света в сине-зеленом диапазоне, защищают фотосинтезирующую систему от деградации при чрезмерном солнечном излучении, входят в состав клеточных мембран как обязательные структурные компоненты [3].

Растения синтезируют каротин в виде трех изомеров – α -, β - и γ -, наиболее часто встречающийся из них – β -каротин. Источники его весьма многочисленны и представлены широким списком объектов: трава, зеленые листья, пыльца цветковых растений, водоросли, корни, семена и плоды растений, а также различные микроорганизмы и некоторые виды рыб. Помимо них, данный пигмент встречается в плодах цитрусовых, абрикосов и хурмы. Среди растений, встречающихся в средних широтах, стоит отметить морковь (корнеплоды), шиповник, рябину обыкновенную, облепиху, томаты и тыкву [4]. При этом количество β -каротина в растительном сырье может значительно варьироваться в зависимости от различных условий, таких как влажность, температурный режим, состояние почвы, интенсивность освещения, применяемые удобрения [5].

Таким образом, целью данного исследования стало сравнительное изучение содержания β -каротина в экстрактах из наиболее широко распространенного растительного сырья, оценка потенциала его использования в качестве источника индивидуального β -каротина и оценка возможности применения данного биохимического параметра в целях экологического мониторинга.

Сырье, выбранное в качестве объектов исследования, – корнеплоды моркови сорта «Королева осени», плоды тыквы Баттернат, плоды томатов

сорта «Бычье сердце» – отобраны в Верхнекамском районе Кировской области осенью 2024 г. Подготовку сырья к экстракции и извлечение каротиноидов проводили согласно следующей методике. Все виды исходного сырья предварительно подвергали сушке при температуре, не превышающей 30 °С, предохраняя каротиноиды от разрушения. Затем сырье измельчали, применяя продольно-поперечный способ измельчения. Извлечение каротиноидов проводили методом двукратной экстракции [6] органическим растворителем – этиловым спиртом 95%. Полученный экстракт обрабатывали раствором гидрокарбоната натрия до нейтральной реакции среды. Избыток органического растворителя удаляли методом перегонки, получая сухой экстракт. Полученный экстракт растворяли в бензине. Далее разделение экстракта на индивидуальные каротиноиды и выделение индивидуального β -каротина проводили методом колоночной хроматографии [7]. В качестве адсорбента был использован оксид алюминия, в качестве элюента – бензин.

Содержание β -каротина в экстрактах определяли методом спектрофотометрии при длине волны 450 нм. Данные по содержанию β -каротина в полученных экстрактах представлены в таблице 1. Наибольшее содержание β -каротина обнаружено в экстракте из корнеплодов моркови, наименьшее – из плодов томатов.

Содержание β -каротина в экстракте пересчитывали на его содержание в сухом веществе (табл. 1). Как и содержание β -каротина в экстрактах, так и его содержание в сухом веществе наибольшее в экстрактах из корнеплодов моркови, наименьшее – из плодов томатов.

Таблица 1

Содержание β -каротина в экстрактах

Сырье для экстрактов	Содержание в экстрактах, мкг/мл	Масса в пересчете на СВ, г	Содержание в СВ, мг/кг
Плоды тыквы	0,45±0,08	0,024±0,004	0,0010±0,0002
Плоды томатов	0,11±0,02	0,006±0,001	0,0002±0,0001
Корнеплоды моркови	0,70±0,13	0,038±0,007	0,0015±0,0003

Примечание: СВ – сухое вещество

По результатам колоночной адсорбционной хроматографии получены хроматограммы, в которых отчетливо виден слой β -каротина. По интенсивности окраски и длине слоя сделан вывод о большем содержание β -каротина в экстракте из корнеплодов моркови, наименьшем – в экстракте из плодов томатов. Поэтому дальнейшее извлечение индивидуального β -каротина было проведено из экстрактов, полученных из корнеплодов моркови. Слой β -каротина извлекали из колонки, растворяли в спирте 95%, фильтровали и избавлялись от избытка растворителя. Рассчитывали выход β -каротина, принимая за 100% его массу в экстракте (табл. 2).

Таблица 2

Извлечение β-каротина из экстракта из корнеплодов моркови

Экстракт	Масса β-каротина, г	Выход β-каротина, %
Корнеплоды моркови	0,026±0,007	69%

Данные свидетельствуют об эффективности применения колоночной хроматографии для извлечения индивидуального пигмента из растительного сырья, поскольку обеспечивается довольно высокий выход целевого соединения.

Таким образом, в результате проведенного эксперимента, повышенное содержание β-каротина обнаружено в экстракте из корнеплодов моркови ($0,70\pm0,13$ мкг/мл), что подтверждается данными литературы о содержании каротиноидов и, в частности, β-каротина в различном растительном сырье. По данным колоночной хроматографии, корнеплоды моркови представляются перспективным сырьем для использования в качестве источника такого пигмента как β-каротин. Предлагаемый подход имеет значение для экологического мониторинга. Данная методика количественного определения β-каротина может быть использована для анализа состава растений, встречающихся в регионах с разной степенью антропогенного воздействия, позволяя количественно определить степень физиологического стресса и, как следствие, неблагоприятного влияния на экосистему в целом.

Библиографический список

1. Биоиндикация и биотестирование методы познания экологического состояния окружающей среды / Т. Я. Ашихмина, Н. М. Алалыкина, Г. Я. Кантор и др. Вып. 4. Ч. 3. Киров : Вятский государственный гуманитарный университет, 2005. 52 с.
2. Яшин А. Я., Яшин Я. И. Определение каротиноидов методом ВЭЖХ, их антиоксидантная активность и влияние на здоровье человека (обзор). DOI: 10.17308/sorgchrom.2022.22/10886 // Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т. 22. № 6. С. 794–803.
3. Ладыгин В. Г., Ширшикова Г. Н. Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот // Журнал общей биологии. 2006. Т. 67. № 3. С. 163–189.
4. Ильючик И. А. Биологически активные вещества. Пинск : ПолесГУ, 2022. 236 с.
5. Байсахедова О. Г., Амангулыев М. Б. Исследование возможности получения β-каротина из местных сырьевых ресурсов // Символ науки. 2023. № 9-1. С. 12–13.
6. Цебренко К. Н., Константинов Е. Н., Деревенко В. В. Оптимизация структурной схемы экстракции при обезжикивании масличного материала // Известия вузов. Пищевая технология. 2003. № 5–6. С. 75–77.
7. Пат. RU2648452, A61K 36/00, A61K 35/56, A61K 35/612, B01D 11/02. Способ получения индивидуальных каротиноидов : № 2016148100 : заявл. 07.12.2016 : опубл. 26.03.2018 / Курегян А. Г., Печинский С. В., Степанова Э. Ф. 6 с.

СЕКЦИЯ 5

ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФОРМЫ НАСЕКОМЫХ МЕТОДАМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОРФОМЕТРИИ

Р. П. Горбунов^{1, 2}, Т. А. Автаева^{3, 4}, Р. А. Суходольская^{5, 6}

¹ Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, *xobglor@gmail.com*,
² Заповедник «Белогорье»,

³ Комплексный научно-исследовательский институт имени Х. И. Ибрагимова
Российской академии наук,

⁴ Чеченский государственный педагогический университет,
avtaeva1971@mail.ru,

⁵ Казанский государственный медицинский университет,
sukhodolskayaraisa@gmail.com,

⁶ Волжско-Камский государственный природный заповедник

В исследовании изучается изменчивость формы тела жужелицы *Carabus adamsi* Adams, 1817 вдоль градиента высоты от 25 до 2500 м над уровнем моря в Чеченской Республике. На разных высотах у жуков наблюдалась специфическая форма полового диморфизма, жуки уменьшают изменчивость по мере увеличения высоты над уровнем моря.

Ключевые слова: геометрическая морфометрия, изменчивость формы, половой диморфизм, высота над уровнем моря, *Carabus adamsi*.

Экоморфология помогает прояснить взаимодействие морфологической изменчивости и окружающей среды [1, 2]; благодаря ей можно объяснить адаптивные специфические формы, предполагая, что окружающая среда является основным фактором наблюдаемой морфологии [3]. Взаимодействие формы с экологическими, генетическими, биомеханическими и другими факторами очищает связь различных фенотипов с вариациями окружающей среды. Морфологическое разнообразие зависит от сложных взаимодействий между генетическим составом и факторами окружающей среды, включая экологические и физиологические признаки.

В последние десятилетия морфологические различия, в частности, изменчивость формы организмов, изучают с помощью геометрической морфометрии (GM). Этот метод фактически занял лидирующие позиции в анализе изменчивости формы у самых разных таксонов – млекопитающих и, особенно-

но, насекомых [4–6]. Следует отметить, что изменчивость формы очень часто изучается в градиенте влияний окружающей среды. Так, для бабочки было показано, что особи из разных популяций имеют отчетливые уникальные особенности в разных условиях среды, и анализ может быть использован для выявления путей миграции [7]. В отношении жужелиц первые исследования изменчивости формы были проведены Х. Бенитесом и др. [8], показывая существование полового диморфизма формы жуков и его изменчивость между разными популяциями. В целом, жуки также различались между локациями. Несмотря на такое разнообразие, нельзя сказать, что GM систематически используется для оценки изменчивости насекомых. Таким образом, в ряде работ констатируется только различие в изменчивости формы [9–12], подчеркивая специфические условия окружающей среды в каждой локации или используя данные в филогенетических целях. Небольшим исключением является работа Х. Бенитеса [13], в которой оценивалась изменчивость формы в зависимости от высоты и было показано, что центроидный размер был больше в высокогорьях. Настоящая работа является продолжением подобных исследований, и её основной целью была оценка изменчивости форм жужелицы *Carabus adamsi* в зависимости от высоты над уровнем моря.

Объект, *Carabus adamsi* Adams, 1817, является эндемичным видом Кавказа. В Чечне этот вид относительно обычен, что свидетельствует о стабильной популяции на данной территории. Однако в других регионах Кавказа он может быть редким, что указывает на потенциальные экологические факторы, влияющие на его распространение.

Этот жук широко распространён на Восточном и частично на Центральном Кавказе, а также в Центральном и Восточном Закавказье. Примечательно, что его ареал не простирается в Талышский район, где он замещается викарными видами, занимающими схожие экологические ниши. *C. adamsi* преимущественно обитает в пойменных лесах степной зоны республики. Кроме того, этот вид встречается в лесных и субальпийских районах горных территорий, что свидетельствует о его способности адаптироваться к различным местообитаниям. Вид имеет однолетний жизненный цикл с летним размножением. *C. adamsi* относится к категории ходячих эпигеобионтов – организмов, обитающих преимущественно в поверхностном слое почвы и приспособленных к жизни на суше.

По зоогеографическому ареалу этот вид относится к кавказскому типу, охватывающему различные виды, распространенные по всему Большому Кавказу, в Закавказье, а местами и в северо-восточной Турции. Встречается как в районах Большого, так и Малого Кавказа, а также в высокогорьях Армении.

Жуков отлавливали на 5 участках на высоте от 25 до 2500 м над уровнем моря с помощью почвенных ловушек (рис.).

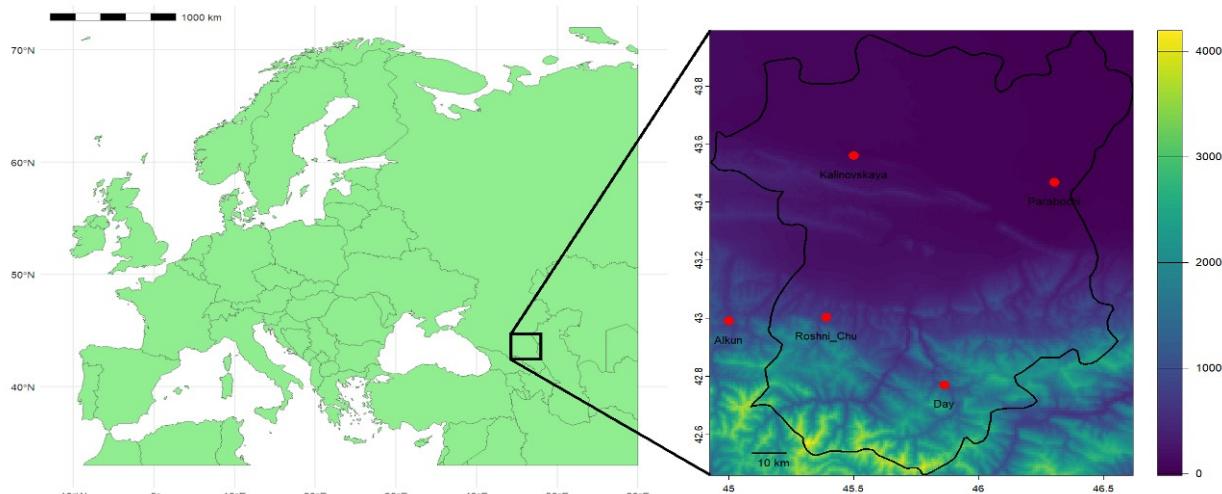


Рис. Карта-схема района исследований. Слева – Европа, справа – Чеченская Республика. Правая шкала – высота над уровнем моря, красным отмечены участки исследований

Жуков анализировали методами геометрической морфометрии [14]. При этом учитывались не только место отлова жуков, но и их пол.

Результаты показали, что вдоль высотного градиента самки *C. adamsi* варьируют сильнее, чем самцы, при этом средние значения размера центроидов характерны для равнин. На разных высотах у жуков наблюдалась специфическая форма полового диморфизма: диморфизм по центроидному размеру резко менялся, и в высокогорье самцы были крупнее самок. Заметное изменение формы переднеспинки вдоль высотного градиента отмечено только у самок. В высокогорье переднеспинка несколько расширялась, задние доли уменьшались, а передние углы переднеспинки сближались. Геометрическая морфометрия выявила достоверные различия в популяциях жужелиц с разных высот над уровнем моря, однако был обнаружен неизвестный фактор, влияющий на дискриминацию жужелиц *C. adamsi*. Была выявлена тенденция к тому, что жужелицы *C. adamsi* подчиняются обратному правилу Бергмана и уменьшают изменчивость с увеличением высоты.

Библиографический список

1. Koehl M. A. R. When does morphology matter? DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.27.1.501 // Annu. Rev. Ecol. Syst. 1996. Vol. 27. No. 1. P. 501–542.
2. Foote M. The evolution of morphological diversity. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.28.1.129 // Annu. Rev. Ecol. Syst. 1997. Vol. 28. No. 1. P. 129–152.
3. Betz O. Ecomorphology: integration of form, function, and ecology in the analysis of morphological structures // Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Entomol. 2006. Vol. 15. P. 409–416.
4. Doğan Sarıkaya A., Koçak Y., Sarıkaya Ö. Sexual dimorphism in the Anatolian endemic tiger beetle, *Cephalota circumdata* ssp. *cappadocica* Franzen, 1996 (Coleoptera: Carabidae: Cicindelinae): a study showing the effectiveness of geometric morphometrics. DOI: 10.16970/entoted.680696 // Türk. Entomol. Derg. 2020. Vol. 44. No. 4. P. 425–436.
5. Combination of morphometric and morphological analyses: an effective approach for the study of *Platynus* from the Italian W Alps (Coleoptera, Carabidae, Platynini) / A. Roggero,

6. Vasil'ev A. G., Vasil'eva I. A., Kourova T. P. Analysis of coupled geographic variation of three shrew species from Southern and Northern Ural taxocenes. DOI: 10.1134/S1067413615060223 // Rus. J. Ecol. 2015. Vol. 46. No. 6. P. 552–558.

7. Zakharova E. Yu., Shkurikhin A. O., Oslina T. S. Morphological variation of *Melanargia russiae* (Esper, 1783) (Lepidoptera, Satyridae) from the main part of the range and in case of its expansion to the north under climate change conditions. DOI: 10.1134/S1995425517050146 // Contemp. Probl. Ecol. 2017. Vol. 10. P. 488–501.

8. Sexual dimorphism and morphological variation in populations of *Ceroglossus chilensis* (Eschscholtz, 1829) (Coleoptera, Carabidae) / H. A. Benítez, M. Vidal, R. Briones, V. Jerez // J. Entomol. Res. Soc. 2010. Vol. 12. No. 2. P. 87–95.

9. Sexual dimorphism and morphological modularity in *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831) (Coleoptera: Chrysomelidae): a geometric morphometric approach / S. Budečević, U. Savković, M. Đorđević, et al. DOI: 10.3390/insects12040350 // Insects. 2021. Vol. 12. No 4. Article No. 350.

10. Serediuk H. V. Morphometry of fore wing venation for identification of net-winged insects of the Ukrainian Carpathians, with a focus on *Chrysopa* (Neuroptera, Chrysopidae). DOI: 10.2478/vzoo-2018-0012 // Vestnik Zoologii. 2018. Vol. 52. No. 2. P. 101–114.

11. Doğan Sarıkaya A. D., Okutaner A. Y., Sarıkaya Ö. Geometric morphometric analysis of pronotum shape in two isolated populations of *Dorcadion anatolicum* Pic, 1900 (Coleoptera: Cerambycidae) in Turkey. DOI: 10.16970/entoted.525860 // Turk. J. Entomol. 2019. Vol. 43. No. 3. P. 263–270.

12. Morphometric analysis of dung beetle (*Gymnopleurus mopsus*: Scarabaeidae: Coleoptera) populations from two different biomes in Mongolia / C. Lim, J. H. Kang, S. H. Park, et al. DOI: 10.1093/biolinnean/blaa110 // Biol. J. Linnean Soc. 2020. Vol. 131. No. 2. P. 369–383.

13. Quantifying elevational effect on the geometric body shape of Russian beetle *Carabus exaratus* (Coleoptera: Carabidae) / H. A. Benítez, R. A. Sukhodolskaya, T. A. Avtaeva, et al. DOI: 10.1016/j.jcz.2022.11.005 // Zoologischer Anzeiger. 2023. Vol. 302. P. 30–36.

14. Klingenberg C. P. Morpho J. An integrated software package for geometric morphometrics. DOI: 10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x // Mol. Ecol. Res. 2011. Vol. 11. No 2. P. 353–357.

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА ГЕРПЕТОБИОНТОВ ЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Т. А. Гордиенко¹, Р. А. Суходольская^{1, 2, 3}, Р. П. Горбунов^{1, 4}, Д. Н. Вавилов²

¹Институт экологии и недропользования АН РТ, eiseniata@gmail.com,

²Казанский государственный медицинский университет, sabantsev.ipen@gmail.com,

³Волжско-Камский государственный заповедник, sukhodolskayaraisa@gmail.com,

⁴Государственный заповедник «Белогорье», xobglor@gmail.com

Исследования подстиlocных беспозвоночных проводили на территории двух участков Волжско-Камского заповедника, расположенных в подтаежной и широколиственной ландшафтных подзонах. Анализ материала выявил сходство и различия в составе сообщества герпетобионтов, сезонные колебания. Кластерный анализ показал большее сходство березовых и ивовых био-

топов Раифского и Саралинского участков заповедника, по сравнению с ли-повыми.

Ключевые слова: динамическая плотность герпетобионтов, подтаежная и широколиственная ландшафтная подзона, липняки, березняки, ивняки.

В настоящее время одна из важнейших проблем современной экологии является сокращение биоразнообразия [1]. Снижение разнообразия обусловлено различными факторами, главным из которых антропогенный, под влиянием которого происходит нарушение среды обитания животных и растений [2], загрязнение [3], исчезновение видов вследствие чрезмерной эксплуатации (отлов промысловых видов животных), инвазий, изменения климата и т. д. Наиболее чувствительными к таким нарушениям и загрязнениям становятся почвенные организмы. Они вносят наибольший вклад в многочисленные экосистемные услуги: регулируют круговорот питательных веществ, динамику органического вещества почвы, выбросы парниковых газов, изменяют физическую структуру почвы и водный режим [4–6].

Герпетобионты – животные обитатели поверхности почвы и верхних ее слоев (подстилка) характеризуются необычайной экологической пластичностью и обилием. Отличаясь высоким видовым и экологическим разнообразием, они участвуют в возвращении в почву питательных веществ, тем самым являясь неотъемлемой частью единой системы трофических связей [7]. Они чутко реагируют на изменения экологических условий и могут служить индикаторами состояния окружающей среды.

Целью данной работы является оценка состояния сообщества герпетобионтов в лиственных лесах Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (далее ВКЗ, заповедник).

Исследования проводили на территории Волжско-Камского заповедника на его двух участках, удаленных на 100 км и расположенных в подтаежной подзоне (Раифский участок) и в широколиственной подзоне (Саралинский участок) [8]. Беспозвоночных учитывали стандартным почвенно-зоологическим методом почвенными ловушками Барбера [9] в лиственных лесных участках заповедника (липняки, березняки, ивняки) два раза в сезон с 2011 по 2025 гг. Обследовано 20 кварталов и один биотоп в охранной зоне (табл.). Установлено 639 ловушек, отработано 3195 ловушко-суток. Собрано 14942 особи беспозвоночных.

Исследование объединило многолетние исследования, начиная с 2012 г. по настоящее время. Ранее исследования наземной фауны беспозвоночных проводились в ВКЗ, но биоразнообразие изучалось в пределах одного семейства Carabidae и только на территории одного участка. С 2011 г. почвенная фауна лесных участков ВКЗ изучается с большей регулярностью. Результаты частично были опубликованы [10–11].

Проведена базовая и многомерная статистическая обработка данных в Excel, Statistica и R программах.

Таксономический состав герпетобионтов лиственных лесов Волжско-Камского заповедника представлен 33 крупными таксонами, они входят в состав 3 типов Annelida, Mollusca и Arthropoda, 7 классов – Clitellata, Gastropoda, Malacostraca, Arachnida, Chilopoda, Diplopoda, Insecta, 16 отрядами – Haplotaxida, Pulmonata, Isopoda, Araneae, Opiliones, Geophilomorpha, Lithobiomorpha, Julida, Blattodea, Dermaptera, Hemiptera, Neuroptera, Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera (по 16–33 таксона в каждой точке отбора).

В липняках обоих участков преобладали насекомые (50,5% в Раифском, 68,8% в Саралинском участках) и паукообразные (24,2% и 12,5% соответственно), кивсяки (7,1% и 13,3%) в липняках обоих участков, мокрицы (11,8%) многочисленны в Раифском участке, а клопы (5,8%) чаще попадаются в ловушках Саралинского участка. Среди насекомых многочисленны жуки (46,8% и 56,4%) жужелицы (26% и 23,9%) и стафилины (17,2% и 5,9%), мертвоеды (8,9%) и навозники (14,9%) многочисленны в Саралинском участке заповедника. Динамическая плотность герпетобионтов в липняках сильно варьирует по кварталам 22–222,6 особей/ 10 лов.-сут. в Раифском участке и 13,2–71,9 особей/10 лов.-сут. в Саралинском участке и в среднем отличается в 2,4 раза в зональном аспекте (соответственно 98,9 и 41,4 особей/ 10 лов.-сут.) (рис. 1).

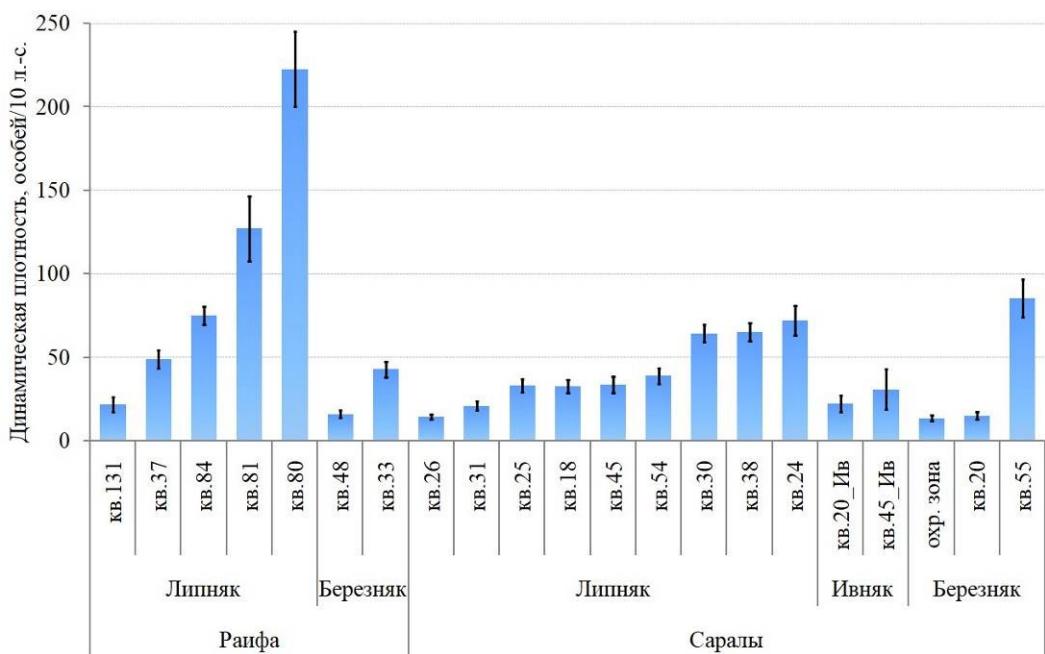


Рис. 1. Соотношение и динамическая плотность герпетобионтов лиственных участков заповедника

В бересняках обоих участков также преобладают насекомые (73,3% и 63,3% в Раифском и Саралинском участках), паукообразные (18,9% и 32,3% соответственно). Среди насекомых доминируют жуки жужелицы (44,4% и 27,1%), стафилиниды (18,6% и 7,8%), на участке широколиственной подзоны чаще попадаются в ловушки жуки-навозники (8,7%) и клопы (7,6%). Динами-

ческая активность герпетобионтов на участках мало отличается друг от друга, в Раифском участке она немного ниже и составляет 27,1 особей/ 10 лов.-сут., в Саралинском участке – 37,4 особей/ 10 лов.-сут.

В ивняках широколиственной подзоны многочисленны также насекомые (86,1%) и паукообразные (5%). Среди насекомых преобладают те же таксоны: жужелицы (36,4%) и стафилиниды (16,4%), а также часто попадаются в ловушки жуки мертвоеды (13,8%) и катопиды (13,3%).

Трофическая структура различных лиственных биотопов участков сходная – доминируют хищники и сапрофаги. Различия между ландшафтными подзонами проявляются в увеличении роли сапрофагов в широколиственной подзоне. Динамическая плотность герпетобионтов варьирует в зависимости от сезона и погодно-климатических условий года. В большинстве случаев в различных биотопах динамическая активность подстилочных беспозвоночных наибольшая в весенний период (конец мая начало июня) (табл.).

Таблица
Характер сезонной динамики численности герпетобионтов
по участкам и биотопам

Биотоп	Раифский участок		Саралинский участок	
	наибольшая численность весной	наибольшая численность осенью	наибольшая численность весной	наибольшая численность осенью
Липняки	3 (75%)	1 (25%)	13 (65%)	7 (35%)
Березняки	4 (100%)	0	3 (75%)	1 (25%)
Ивняки	–	–	2 (100%)	0

Проведен кластерный анализ динамической плотности по типам биотопа заповедника, наибольшее сходство имеют липняки и ивняки (рис. 2а). Однако при сравнении биотопов по участкам, выявлена несколько иная картина (рис. 2б).

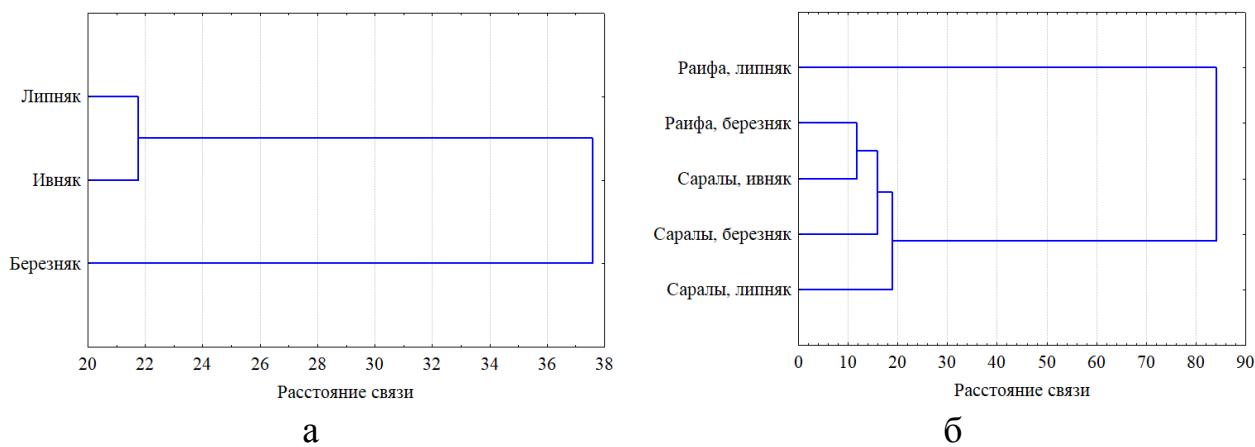


Рис. 2. Результаты кластерного анализа методом одинарной связи Single Linkage динамической плотности герпетобионтов:
а – по биотопам заповедника; б – по участкам и биотопам

Березняки Раифского участка сходны с ивняками Саралинского, дальше от них стоят березняки последнего участка и еще дальше липняки этого участка и отдельно отстоят липняки Раифского участка заповедника. Что, на наш взгляд, более точно отражает структуру и население герпетобионтов на двух участках.

Таким образом, в структуре сообщества герпетобионтов лиственных лесов заповедника отмечено много общего – это основные доминирующие группы насекомые и паукообразные, сходная сезонная динамическая активность – весенняя чаще более обильная, преобладание хищников и сапрофагов. Отличия выражаются в увеличении роли сапрофагов кивсяков, мокриц, жуков мертвоедов и лейотид в широколиственной ландшафтной подзоне Саралинского участка заповедника.

Библиографический список

1. Mora C., Sale P. F. Ongoing global biodiversity loss and the need to move beyond protected areas: a review of the technical and practical short comings of protected areas on land and sea. DOI: 10.3354/meps09214 // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2011. Vol. 434. P. 251–266.
2. 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.
3. 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 // International Journal of Fauna and Biological Studies 2023. Vol. 10. P. 49–52.
4. Ecological linkages between aboveground and belowground biota / D. A. Wardle, R. D. Bardgett, J. N. Klironomos et al. DOI: 10.1126/science.1094875 // Science. 2004. Vol. 304. No. 5677. P. 1629–1633.
5. Kibblewhite M. G., Ritz K., Swift M. J. Soil health in agricultural systems. DOI: 10.1098/rstb.2007.2178 // Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 2008. Vol. 363. No. 1492. P. 685–701.
6. Тиунов А. В. Метабиоз в почвенной системе: влияние дождевых червей на структуру и функционирование почвенной биоты : спец. 03.00.16 : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2007. 44 с.
7. Конакова Т. Н. Разнообразие и экология герпетобионтных жесткокрылых (Coleoptera: Carabidae, Staphylinidae) в лесах подзоны средней тайги Республики Коми : спец. 03.02.08 : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2012. 18 с.
8. Ландшафты Республики Татарстан: Региональный ландшафтно-экологический анализ / О. П. Ермолаев, М. Е. Игонин, А. Ю. Бубнов, С.В. Павлова. Казань : Слово, 2007. 411 с.
9. Качественные методы в почвенной зоологии / ред. М. С. Гиляров, Б. Р. Стригanova. М. : Наука, 1987. 288 с.
10. Гордиенко Т. А., Суходольская Р. А., Вавилов Д. Н. Биоразнообразие и структура сообществ почвенной мезофауны Волжско-Камского заповедника // Труды Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника. Казань : Фолиант, 2016. № 7. С. 213–229.
11. Гордиенко Т. А., Суходольская Р. А., Вавилов Д. Н. Почвообитающие беспозвоночные мезофауны Волжско-Камского государственного природного заповедника // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. 2016. № 2 (18) [Электронный ресурс]. – URL: http://vestospu.ru/archive/2016/articles/Gordienko_etc2-18.html?ysclid=mjb3hc9jbm523746693 (дата обращения: 05.11.2025).

12. Гончаров А. А., Тиунов А. В. Сезонные изменения трофической структуры сообщества лесных почвенных беспозвоночных // Современные тенденции развития особо охраняемых природных территорий : материалы науч.-практ. конф., посвящённой 20-летию Государственного природного заповедника «Полистовский». п. Бежаницы, Псковская область. Великие Луки, 2014. С. 42–48.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ *RANA TEMPORARIA* ПО КОМПЛЕКСУ ПРИЗНАКОВ

Д. А. Гурьянова, М. В. Сиротина

*Костромской государственный университет,
ryry543255@gmail.com, mvsirotina@gmail.com*

В статье представлены результаты исследований состояния популяции *Rana temporaria* L., 1758 на территории Кологривского участка заповедника «Кологривский лес» в полевой сезон 2024 года. Оценка проводилась по морфометрическим и морфофизиологическим показателям, изучена половая и возрастная структура популяции, также исследована гельминтофауна травяных лягушек. По результатам исследования было установлено, что популяция *Rana temporaria* на исследуемой территории находится в стабильном состоянии.

Ключевые слова: *Rana temporaria*, биоиндикация, морфометрические показатели, флюктуирующая асимметрия, морфофизиологические индексы, гельминтофауна, заповедник «Кологривский лес».

Травяная лягушка (*Rana temporaria*) может служить биоиндикатором состояния наземных и водных экосистем благодаря высокой чувствительности к изменениям окружающей среды. Популяции земноводных реагируют изменением ряда своих показателей на загрязнение воды и воздуха, климатические изменения и антропогенное воздействие, поэтому активно используются в экологическом мониторинге [1].

В полевой сезон 2024 г. проведена комплексная оценка популяции травяной лягушки на территории Кологривского участка заповедника «Кологривский лес» – особо охраняемой природной территории с сохранными коренными ландшафтами и минимальным антропогенным воздействием.

Основная цель исследования состояла в комплексном анализе биологических показателей популяции травяной лягушки (*Rana temporaria*). В рамках работы были детально изучены: половая и возрастная структура популяции, морфометрические и морфофизиологические параметры особей, а также состав их гельминтофауны. Всего была отловлена и изучена 61 особь *Rana temporaria*.

В ходе исследования морфометрических показателей и флюктуирующей асимметрии у травяной лягушки (*Rana temporaria*) применялась стандартная методика. Измерения проводились штангенциркулем по ряду промеров,

включая длину тела (L), длину и ширину головы (L. c, Lt. c), длину морды (D. g. o.), длину глаза (L. o), длину барабанной перепонки (L. tym), расстояние между глазами (Sp. os), длину бедра (F), длину голени (T), длину первого пальца задней конечности (D. p) и длину внутреннего пятоного бугра (C. int). Дополнительно оценивались индексы соотношений этих промеров (например, L. / L. c., L. c. / Lt. c., L / T и др.) [2].

Для оценки стабильности развития популяции по флюктуирующей асимметрии анализировались билатерально расположенные признаки окраски и количество сошниковых зубов (всего 13 признаков, включая количество полос и пятен на различных участках тела, число белых пятен на пальцах, число пор и зубов). Показатель частоты асимметричного проявления признаков (ЧАПП) рассчитывался по формуле:

$$\text{ЧАПП} = \frac{N \cdot M}{\sum A},$$

где A – число асимметричных признаков у отдельных особей, N – число особей в выборке, M – число анализируемых признаков.

Для исследования морфофизиологических показателей и гельминтофагуны проводили вскрытие половозрелых особей. Вскрытие для проведения морфометрического анализа осуществляли по методике, указанной в пособии Н. Н. Карташева и др. (1981) [3], а полное гельминтологическое вскрытие – по общепринятой методике К. И. Скрябина [4]. Все манипуляции с земноводными проводили в соответствии с «Международными рекомендациями (этическим кодексом) по проведению медико-биологических исследований с использованием животных» (1985), а также этическими стандартами, утвержденными правовыми актами РФ и международными принципами Базельской декларации о гуманном отношении к животным и правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных (2010).

При анализе возрастной структуры выборки были получены следующие результаты: сеголетки – 39 экз. (63,9%), половозрелые особи – 12 экз. (19,7%), годовалые – 7 экз. (11,5%) и двухлетние – 3 экз. (4,9%). Преобладание сеголеток в выборке свидетельствует об успешном размножении вида на исследуемой территории и благоприятных условиях для выживания в ней молодняка. При этом доля половозрелых особей остается на уровне, который способен обеспечивать поддержание репродуктивного потенциала популяции, что в свою очередь указывает на её стабильность и способность к самоподдержанию при сохранении текущих экологических условий. Дальнейшие исследования проводили с половозрелыми особями.

Полученные средние значения промеров и индексы измерений тела *Rana temporaria* (табл. 1), говорят о том, что выборка сохраняет типичные для вида морфологические черты, но отличается значительной вариабельностью по ряду линейных промеров. Средняя длина тела составила $53,8 \pm 3,2$ мм ($Cv = 27,6\%$), что указывает на заметную неоднородность особей. Пропорции тела в целом соответствуют видовым нормам: отношение длины тела к длине голени (L / T) равно $2,0 \pm 0,03$, а соотношение длины бедра к длине голени (F / T) – $0,9 \pm 0,02$. Особенno высока вариабельность таких признаков, как меж-

глазничное расстояние (C. int. Cv = 50,6%), длина барабанной перепонки (L. tym, Cv = 45,1%) и диаметр зрачка (D. p, Cv = 43,1%), что может быть связано с возрастными различиями. При этом большинство индексов (например, L. c / L. t. c = 0,7±0,03, Sp. os / D. r. o. = 0,9±0,04) демонстрируют низкий коэффициент вариации, свидетельствуя о стабильности основных пропорций в популяции.

Таблица 1

Основные промеры и индексы промеров популяции *Rana temporaria*

Промеры	X±Sx	Cv (%)	Индексы	X±Sx
L (мм)	53,8±3,2	27,6	L / L. c	4,7±0,13
L. c (мм)	11,4±0,7	27,1	L. c / Lt. c	0,7±0,03
Lt. c (мм)	17,4±1,2	32,7	L. c / L. o	2,6±0,1
D. r. o. (мм)	7,9±0,6	35,9	L. o / L. tym	1,4±0,11
L. o (мм)	4,3±0,3	29,9	L. c / D. r. o.	1,4±0,04
L. tym (мм)	3,2±0,3	45,1	D. r. o. / L. o	1,8±0,07
Sp. os (мм)	6,8±0,5	31,5	Sp. os / D. r. o.	0,9±0,04
F (мм)	25,9±1,7	30,0	L / T	2,0±0,03
T (мм)	27,4±1,8	30,0	F / T	0,9±0,02
D. p (мм)	2,7±0,3	43,1	L / F + T	1±1,04
C. int (мм)	1,6±0,2	50,6	—	—

Примечание: прочерк означает, что данные отсутствуют.

Средние значения массы тела (26,29±2,7 г) и внутренних органов (сердце – 0,1±0,02 г, печень – 0,6±0,09 г, легкие – 0,1±0,02 г) находятся в пределах видовой нормы, что свидетельствует об отсутствии патологических отклонений в популяции (табл. 2). Однако все показатели характеризуются повышенной вариабельностью (коэффициенты вариации Cv от 33 до 81%), что указывает на значительную неоднородность по интерьерным показателям. Наибольшая изменчивость отмечена для массы легких (Cv = 81%) и сердца (Cv = 76%), что может быть связано с паразитарной нагрузкой.

Таблица 2

Масса внутренних органов *Rana temporaria*

Показатели	X±Sx	Cv (%)
Вес тела (г)	26,29±2,7	33
Сердце (г)	0,1±0,02	76
Печень (г)	0,6±0,09	44
Легкие (г)	0,1±0,02	81

В результате расчета коэффициента асимметрии билатерально симметричных признаков *Rana temporaria* средний показатель ЧАПП составил 0,28. Согласно пятибалльной шкале оценки стабильности развития популяции амфибий, значение ЧАПП < 0,50 соответствует 1 баллу и указывает на условно нормальное состояние среды и стабильность развития популяции [5].

В половой структуре популяции *Rana temporaria* соотношение полов составляет 2 ♂ : 1 ♀, данное соотношение указывает на дисбаланс в пользу

самцов, что в дальнейшем может привести к снижению репродуктивного потенциала.

Среди гельминтов, обнаруженных у *Rana temporaria*, выявлены три вида: trematoda *Haplometra cylindracea*, нематода *Oswaldocruzia filiformis* и нематода *Pleurogenes claviger* (табл. 3).

Таблица 3

**Состав гельмитофауны и зараженность гельминтами
*Rana temporaria***

Виды гельминтов	Экстенсивность инвазии, Е, %	Индекс обилия, ИО	Количество гельминтов, мин.-макс. (всего)
<i>Oswaldocruzia filiformis</i>	11	0,7	1–16 (43)
<i>Pleurogenes claviger</i>	8	0,1	1–4 (9)
<i>Haplometra cylindracea</i>	13	0,7	1–12 (45)

Наиболее распространенным оказался *H. cylindracea*: им заражены 13% особей хозяев, при этом количество паразитов у отдельных особей варьировало от 1 до 12 гельминтов на особь. Всего обнаружено 45 экземпляров этого паразита, а индекс обилия достиг 0,7.

Чуть реже встречается *O. filiformis* – экстенсивность инвазии 11%. Количество паразитов варьирует от 1 до 16 гельминтов на особь хозяина. Общее число обнаруженных паразитов – 43, индекс обилия также равен 0,7.

Наименьшую роль в паразитоценозе играет *P. claviger*: экстенсивность инвазии составляет лишь 8%, количество варьирует от 1 до 4 гельминтов на хозяина, а общее количество найденных особей – 9. Индекс обилия этого вида самый низкий – 0,1.

Таким образом, на основании комплексного анализа можно утверждать, что состояние популяции *Rana temporaria* на территории Кологривского участка заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Синицына в 2024 г. может считаться относительно стабильным, условия обитания амфибий – благоприятные.

Библиографический список

1. Лебединский А. А. Факторы стабильного состояния городской популяции травяной лягушки *Rana temporaria* L. на территории Нижнего Новгорода. DOI: 10.21685/2307-9150-2019-2-11 // Известия вузов. Поволжский регион. Естественные науки. 2019. № 2 (26). С. 105–114.
2. Ищенко В. Г. Динамический полиморфизм бурых лягушек фауны СССР. М. : Наука, 1978. 148 с.
3. Карташев Н. Н., Соколов В. Е, Шилов И. А. Практикум по зоологии позвоночных. М. : Высшая школа, 1981. 384 с.
4. Скрябин К. И. Метод полных гельминтологических вскрытий позвоночных, включая человека. М. : Изд-во МГУ, 1928. 45 с.
5. Пястолова О. А., Трубецкая Е. А. Использование бесхвостых амфибий в биоиндикации природной среды // Биоиндикация наземных экосистем / Ред. О. А. Пястолова. Свердловск : УрО АН СССР, 1990. С. 18–30.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛОГО ГОРОДСКОГО ВОДОЁМА ПО ИНДИКАТОРНЫМ ОРГАНИЗМАМ МАКРОЗООБЕНТОСА

Т. И. Кутявина

Вятский государственный университет, kutyavinati@gmail.com

В статье представлены результаты биоиндикации малого городского водоёма по макрозообентосу. Среди обнаруженных организмов встречены такие индикаторные группы, как: личинки подёнок, ручейников, стрекоз, комаров-долгоножек, комаров-звонцов, мошек, а также малощетинковые черви и моллюски живородки. В 2024 г. биотический индекс Майера был равен 12, биотический индекс Вудивисса – 7. В 2025 г. значение индекса Майера снизилось до 11, индекса Вудивисса – до 6. По результатам биоиндикационных исследований воды изучаемого водоёма можно оценить как умеренно-загрязнённые. Полученные результаты планируется использовать как исходные данные при дальнейших мониторинговых исследованиях на малом городском водоёме.

Ключевые слова: биоиндикация, школьный экологический мониторинг, макрозообентос, индекс Вудивисса, индекс Майера.

Малые водоёмы в черте г. Кирова испытывают значительную антропогенную и техногенную нагрузку, что отражается на степени их загрязнения. Согласно официальным данным за 2024 г., основными загрязняющими веществами в водных объектах Кировской области являются железо, трудноокисляемые органические вещества, определяемые по показателю химическое потребление кислорода, соединения азота, нефтепродукты и фенол [1]. Одними из первых гидробионтов, которые реагируют на загрязнение воды в водном объекте, являются организмы зообентоса. Существуют различные методы биоиндикации водоёмов с использованием зообентоса, по которым можно определить состояние водного объекта и степень его загрязнения.

В рамках работы со школьниками, проводимой на базе КОГАОУ ДО «Центр дополнительного образования одарённых школьников» в летний период 2024 и 2025 гг., проведены занятия по биоиндикационным методам исследования водоёмов. Во время занятий школьники учились отбирать пробы донных отложений и определять обнаруженных в них представителей макрозообентоса на примере одного из малых водоёмов г. Кирова.

Цель данной работы состояла в оценке степени загрязнения малого городского водоёма по результатам биоиндикации с использованием макрозообентоса.

Исследования проводили на пожарном водоёме, расположенному в Октябрьском районе г. Кирова, в период летней межени (июнь 2024 и 2025 гг.). Координаты расположения водного объекта – 58.612842 с. ш., 49.63396 в. д.

Длина водоёма составляет 142 м, ширина – 58 м. Берега водоёма с южной и западной сторон покрыты зарослями ивы, местами заболочены, с северной стороны заняты участками, покрытыми травянистыми растениями с преобладанием злаков и осок и частично зарослями ивы. Вдоль берега с восточной стороны расположены пешеходная дорожка и подъезд к водоёму, выложенный бетонными плитами. Водоём активно используется жителями близлежащего микрорайона в рекреационных целях, а также для рыбалки. В летний период на исследуемой территории встречается довольно много уток. Таким образом, объект исследования испытывает как естественную биогенную нагрузку (отмирающие растения, продукты жизнедеятельности уток), так и антропогенную нагрузку (захламление берегов водоёма, попадание мусора в водоём, неорганизованный сток ливневых сточных вод с прилегающей территории, в том числе с проезжей части).

Отбор проб зообентоса проводили гидробиологическим сачком *Naturaliste 35B* с размером ячеек 0,3 мм на 4 участках водоёма на расстоянии примерно 1–1,5 м от берега, стараясь охватить при этом различные субстраты, на которых обитают бентосные организмы. При отборе в пробы также попадали представители зоопланктона. Сразу после отбора пробы консервировали 70%-ным этиловым спиртом и доставляли в лабораторию для последующего анализа. Отбор и анализ проб зообентоса проводили в соответствии с общепринятыми методами [2] с использованием определителей [3, 4]. При анализе особое внимание уделяли представителям макрозообентоса, длина которых составляет 2 мм и более, так как таких организмов можно обнаружить невооружённым глазом и достаточно легко идентифицировать.

После разбора проб и идентификации всех обнаруженных представителей макрозообентоса отмечали те таксоны, которые относятся к индикаторным группам для расчёта биотических индексов Вудивисса [5] и Майера [2]. Данные биотические индексы отличаются простотой определения (допускается идентификация организмов до уровня отрядов и семейств), требуют сбора только качественных проб, без учёта обилия организмов. Индексы Майера и Вудивисса наиболее часто используются на практике при организации школьного экологического мониторинга водных объектов и при проведении наблюдений на водоёмах начинающими гидробиологами без специальной подготовки. Стоит отметить, что однократное определение указанных индексов само по себе малоинформативно, так как позволяет получить только приблизительные данные о степени загрязнения конкретного водоёма. Однако с помощью индексов Майера и Вудивисса можно сравнить между собой состояние и степень загрязнения схожих водоёмов, а также выявить изменения на одном и том же водоёме с течением времени.

В ходе исследований, проведённых нами в 2024 и 2025 гг. на изучаемом водоёме, были обнаружены следующие индикаторные группы макрозообентоса: личинки подёнок, ручейников, стрекоз, комаров-долгоножек, комаров-звонцов, мошек, а также малошетинковые черви и моллюски живородки. Наиболее многочисленной группой из обнаруженных были малошетинковые

черви. Они встречались во всех отобранных пробах. Личинки подёнок и ручейников, индикаторы чистоты воды, присутствовали в пробах единично. В целом можно отметить, что в изучаемом водоёме видовой состав макрозобентоса довольно бедный, что косвенно указывает на неблагоприятную экологическую обстановку.

В 2024 г. биотический индекс Майера был равен 12, что соответствует умеренно-загрязнённым водам, а индекс Вудивисса равнялся 7 и характеризовал воды изученного пожарного водоёма как чистые.

В 2025 г. при расчёте биотических индексов были получены близкие значения: индекс Майера составил 11, индекс Вудивисса – 6. Согласно шкале оценки степени загрязнения водоёма по индексу Майера значения от 11 до 18 соответствуют умеренно-загрязнённым водам, а значения менее 11 – грязным водам. Индекс Вудивисса, рассчитанный по результатам анализа макрозобентоса в 2025 г., находился почти на границе диапазонов значений, соответствующих чистым водам (6–10) и умеренно загрязнённым (4–5).

Как можно отметить, степень загрязнения изучаемого водоёма, определённая с использованием индексов Майера и Вудивисса, отличалась. В первую очередь это связано с тем, что индекс Вудивисса первоначально был разработан для рек, а индекс Майера для водных объектов любого типа, и индикаторные группы организмов для расчёта этих индексов несколько отличаются. Также в литературе приводятся данные, что индекс Вудивисса хорошо отражает уровень сильных загрязнений, но малочувствителен к слабым и средним загрязнениям [4]. Наши исследования подтвердили эти данные. Тем не менее, мы считаем, что расчёт обоих индексов при проведении биоиндикационных исследований на городских водоёмах в рамках школьного экологического мониторинга необходим, так как позволяет достаточно оперативно выявлять изменения, происходящие в водоёме, без специализированного оборудования и наличия высококвалифицированных кадров. Использование двух биотических индексов (Майера и Вудивисса) одновременно в одном исследовании позволяет дать более точную оценку состояния водоёма. При сопоставлении полученных результатов по расчёту двух индексов за 2024 и 2025 гг. было отмечено, что их значения в 2025 г. уменьшились, что позволяет предположить увеличение степени загрязнения воды изучаемого водоёма.

Полученные в ходе биоиндикационного исследования результаты позволяют провести приблизительную оценку состояния пожарного водоёма Октябрьского района г. Кирова и оценить степень его загрязнения по состоянию на 2025 г. как умеренно-загрязнённую. Водоём активно используется местными жителями и вполне вероятно, что без проведения природоохранных мероприятий степень его загрязнения со временем продолжит увеличиваться. Для того, чтобы контролировать состояние водоёма, планируется продолжить на нём биоиндикационные исследования, а результаты, полученные в 2024–2025 гг., использовать в качестве исходных данных.

Библиографический список

1. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2024 году: Региональный доклад / под ред. Т. Э. Абашева. Киров : Министерство охраны окружающей среды Кировской области, 2025. 195 с.
2. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. Л. : Гидрометеоиздат, 1983. 239 с.
3. Полевой определитель беспозвоночных / сост. А. В. Полоскин, В. М. Хайтов. М. : WWF России, 2006. 16 с.
4. 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.
5. Вудивисс Ф. Биотический индекс р. Трент. Макробес позвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л. : Гидрометеоиздат, 1977. С. 132–161.

ЖУЖЕЛИЦЫ (COLEOPTERA, CARABIDAE) КАК ОБЪЕКТЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ р. п. КРАСНООБСК)

К. Ю. Максимович^{1, 2}, А. Е. Домель², Д. С. Федоров¹, С. И. Гостева¹

¹*ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН,
kiri-maksimovi@mail.ru,*

²*МБУДО НР «Станция юных натуралистов»*

В данной работе представлены результаты исследования сообществ жужелиц (Coleoptera, Carabidae) населяющих представительные биотопы урбанизированной территории р. п. Краснообск. Исследование сообществ Carabidae выполнено посредством эколого-фаунистического и статистического анализа данных, а также расчетов параметров биологического разнообразия, видового богатства, выравненности и индекса схожести комплексов жужелиц различных биотопов. По результатам исследования установлено, что эффект влияния урбанизации, выраженный снижением численности, обеднением видового состава и нарушением структур доминирования сообществ жужелиц, значительно усиливается в центральной части поселка с высоким уровнем антропогенной нагрузки, переуплотненной почвой и обедненным растительным покровом относительно периферийных территорий с устоявшимся многолетним режимом почвенно-растительных условий.

Ключевые слова: жужелицы, Carabidae, урбанизированные биоценозы, городская фауна, антропогенное воздействие.

Процесс урбанизации, для которого характерно антропогенное преобразование биогеоценозов от естественного состояния до полностью трансформированного, с абсолютной изолированностью всех структурно-функциональных компонентов от окружающей среды, на сегодня является од-

ной из самых необратимых форм изменений естественных условий [1] и наиболее значительных причин антропогенных изменений на поверхности суши, которые оказывают воздействие на глобальные экологические процессы – от локального режима функционирования экосистем до глобального биотического регулирования окружающей среды [2–6]. Урбанизация изменяет доминирующую местную природную экосистему [7] и создаёт новые, многоуровневые и достаточно сложно организованные системы антропогенного характера, характеризующиеся изолированной и деградированной средой обитания, относительно высоким уровнем загрязнения (химическое, шумовое, световое), повышенными температурами воздуха (эффект «городского теплового острова»), переуплотненными почвами или отсутствием открытого грунта, а также присутствием многих, нехарактерных для этих мест видов животных и растений [7–12].

Глобальный характер антропогенного воздействия обуславливает необходимость биологического мониторинга антропогенно трансформированных экосистем [12–14]. В качестве биологических индикаторов особое внимание мирового сообщества удалено жужелицам (Coleoptera, Carabidae), которые населяют большинство существующих биотопов на нашей планете и в том числе составляют основу напочвенной фауны урбанизированных территорий [12, 15–19]. Данная таксономическая группа быстро реагирует на происходящие изменения в окружающей среде, а высокая численность, значительное разнообразие жизненных форм, удобство учетов и видового определения делают их достаточно удобным биоиндикационным тест-объектом для проведения собственных мониторинговых исследований.

Собственные учеты проводили на территории р. п. Краснообск (Новосибирская область, Новосибирский район) в течение летнего периода (1.06.2025 – 25.08.2025) (табл. 1).

В ходе проведения летних учетов нами зарегистрировано 30 видов жужелиц из 16 родов. Наибольшим видовым разнообразием рассмотренных сообществ характеризовались роды *Harpalus* (6), *Poecilus* (4), *Pterostichus* (3) и *Amara* (3). Наибольшее численное участие в сложении сообществ было характерно для родов *Poecilus*, *Carabus*, *Pterostichus*.

По результатам проведенных учетов максимальный показатель видового богатства был зарегистрирован в биотопе №5 (территория лесопарка имени академика И. И. Синягина) – 24 вида. Минимальный показатель видового богатства (13 видов) отмечен в биотопе №3 (центр р. п. Краснообск) – 13 видов. Биотопы №1, №2 и №4 демонстрировали относительно средние показатели видового богатства.

Значительная вариабельность динамической плотности между отдельными видами наблюдалась на различных модельных площадках учета (рис. 1). Из рисунка 1 видно, что биотоп №2 характеризуется наибольшим размахом значений и присутствием экстремальных выбросов (максимальное значение 38,67 экз./100 л.с.), что указывает на наличие доминантных видов с высокой плотностью.

Таблица 1

Координаты модельных биотопов проведения энтомологических учетов с кратким описанием

№ биотопа	Координаты	Краткое описание / уровень антропогенной нагрузки
1	54.917506 с.ш., 82.987485 в.д.	Аллея вблизи дома ученых СФНЦА РАН (разнообразие растительности с различной ярусностью, наличие подстилки на поверхности почвы, большие площади зеленых насаждений и близость полей) / низкий
2	54.919052 с.ш., 82.990894 в.д.	Аллея и палисадник (разнообразие растительности, наличие деревьев вблизи, газоны и цветы) / высокий
3	54.921802 с.ш., 82.983375 в.д.	Палисадник между домами (участок с низкой растительностью и небольшим количеством деревьев, отсутствие подстилки на поверхности почвы) / высокий
4	54.926807 с.ш., 82.975238 в.д.	Открытый участок многолетней густой растительности (естественной) и деревьев / высокий
5	54.932463 с.ш., 82.989421 в.д.	Лесопарк имени академика И. И. Синягина (разнообразие растительности с различной ярусностью, наличие подстилки на поверхности почвы, наиболее благоприятные условия для биоты за счет минимальной антропогенной нагрузки) / низкий

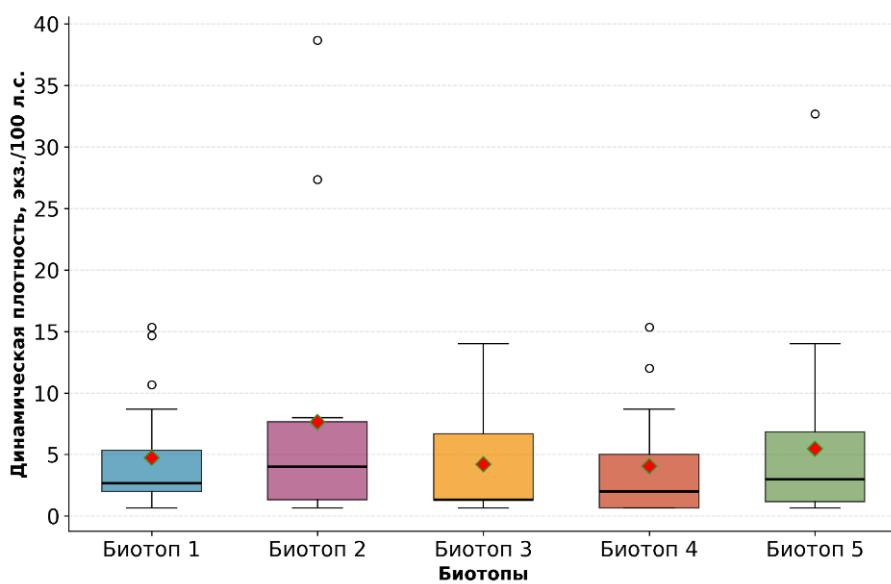


Рис. 1. Распределение динамической плотности видов Carabidae по биотопам

Биотоп 3 демонстрирует наиболее компактное распределение с минимальным разбросом данных. Высокие значения стандартного отклонения во всех биотопах свидетельствуют о значительной вариабельности показателей динамической плотности между отдельными видами в различных биотопах. Суммарная динамическая плотность сообществ Carabidae варьировала в зависимости от биотопов до 2,4 раза. Также как и в ситуации с показателями ви-

дового богатства, максимальные показатели динамической плотности наблюдали в биотопе № 5, а минимальные – биотоп № 3.

Кумулятивные кривые (рис. 2) показывают накопленную долю видов в зависимости от величины динамической плотности.

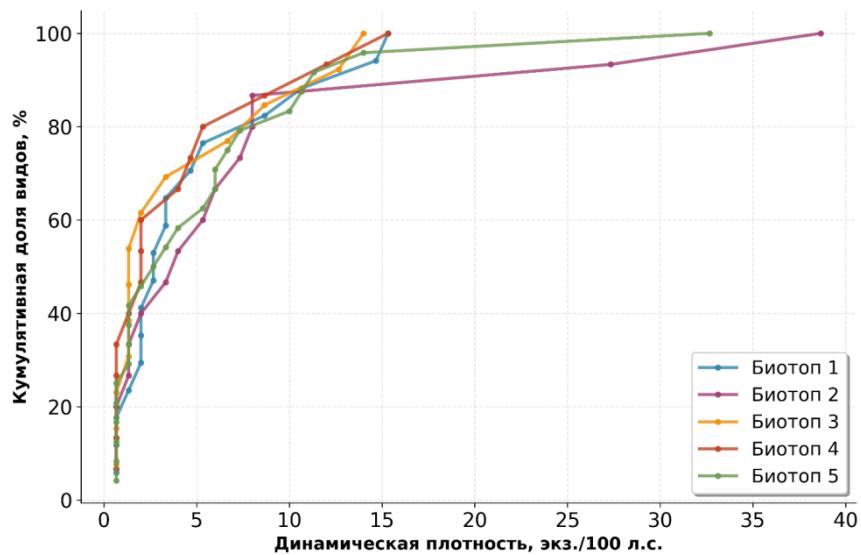


Рис. 2. Кумулятивное распределение динамической плотности видов Carabidae

Анализ рисунка 2 позволяет увидеть, что во всех рассматриваемых биотопах примерно 50–60% видов имеют динамическую плотность менее 3–5 экз./100 л.с., что характерно для бедных сообществ с выраженной доминантной структурой.

В комплекс доминантов исследуемых нами биотопов входило от 2 до 4 видов жужелиц, численная доля участия которых в сложении сообществ составляла в среднем 56,4%. *Carabus regalis* входил в состав комплекса доминантов на всех участках проведения учетов. Доля его численного участия в формировании структуры сообществ была в среднем 23,07%. *Poecilus versicolor* был доминантом в 4 из 5 представленных биотопов (субдоминант в биотопе № 3, супердоминант в биотопе № 2). Некоторая специфика отмечена в доминантном комплексе жужелиц биотопа № 1, в который входили такие виды как *Carabus convexus* и *Amara communis*. *Pterostichus niger* был многочисленнее в биотопах № 3 и № 4. В комплекс доминантов биотопа № 3 входили виды *Harpalus rufipes* и *Pterostichus melanarius*. По результатам учетов также установлено полноценное доминирование зоофагов во всех биотопах (в среднем 79,2 % численного участия). Комплексы миксофитофагов сообществ характеризовались бедным видовым составом и относительно низкой численностью.

Рассмотренные нами сообщества жужелиц из различных биотопов имели относительно низкие показатели сходства видового состава. Среднее значение индекса сходства Жаккара – 47%. Обособленнее всех выделялся биотоп № 3 из центральной части посёлка с высоким уровнем антропогенной нагрузки.

ки (0,35). Относительно низкие значения коэффициентов видового сходства (0,48) также наблюдали между биотопами № 4 (окраина поселка) и № 5 (лесопарк имени академика И. И. Синягина).

Таблица 2

**Параметры биоразнообразия населения жужелиц
в исследуемых биотопах**

Биотоп	Индекс Маргалафе (M)	Индекс Шеннона (H')	Индекс Симпсона (D)	Индекс выровненности (E)
1	3,73	2,43	0,89	0,67
2	2,98	2,04	0,81	0,51
3	3,08	2,05	0,83	0,59
4	3,50	2,21	0,85	0,61
5	4,79	2,61	0,89	0,57

Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные значения.

Максимальные значения параметров биологического разнообразия (табл. 2) установлены для биотопа № 5, а биотопы № 2, № 3 и № 4 напротив, демонстрировали минимальные значения рассчитанных параметров. Биотоп № 1 характеризовался средними показателями биологического разнообразия. Низкие значения индекса выравненности зафиксированы на всех участков наблюдения.

Резюмируя относительно низкие показатели динамической плотности, видового богатства и параметров биологического разнообразия участков с высоким уровнем антропогенной нагрузкой относительно низкой, предварительно можно сделать вывод о наличии негативного влияния факторов антропогенной природы на формирование сообществ жужелиц урбанизированных территорий р. п. Краснообск. Эффект влияния, выраженный в первую очередь снижением численности, обеднением видового состава и нарушением структуры доминирования, значительно усиливается в центральной части поселка с высоким уровнем антропогенной нагрузки, переуплотненной почвой и обедненным растительным покровом относительно периферийных территорий с устоявшимся многолетним режимом почвенно-растительных условий.

Авторы работы искренне благодарят сотрудника лаборатории филогении и фауногенеза ИСиЭЖ СО РАН, кандидата биологических наук Р. Ю. Дудко за помощь в определении энтомологического материала, а также многочисленные консультации и дополнения по фауне и экологии жужелиц.

Библиографический список

1. Ломсков М. А., Лебедев И. Г., Пименов Н. В. Взаимоотношения организмов и окружающей среды в условиях урбанизации // Товароведение, технология и экспертиза: инновационные решения и перспективы развития : материалы II национальной науч.-практ. конф. (г. Москва, 01 июня 2021 г.). М. : МВА имени К. И. Скрябина, 2021. С. 332–337.

2. Global meta-analysis of urbanization stressors on insect abundance / S. Vaz, S. Manes, G. Khattar, et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165967 // Sci. Total Environ. 2023. Vol. 903. Article No. 165967.
3. Fenoglio M. S., Rossetti M. R., Videla M. Negative effects of urbanization on terrestrial arthropod communities: a meta-analysis DOI: 10.1111/geb.13107 // Global Ecol. Biogeogr. 2020. Vol. 29. No. 8. P. 1412–1429.
4. Negative effects of urbanization on plants: a global meta-analysis / Y. Hou, J. Li, G. Li, W. Qi. DOI: 10.1002/ece3.9894 // Ecol. Evol. 2023. Vol. 13. No. 4. Article No. e9894.
5. Urban ecological systems: scientific foundations and a decade of progress / S. T. A. Pickett, M. L. Cadenasso, J. M. Grove, et al. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.08.022 // J. Environ. Manag. 2011. Vol. 92. No. 3. P. 331–362.
6. Global change and the ecology of cities / N. B. Grimm, S. H. Faeth, N. E. Golubiewski, et al. DOI: 10.1126/science.1150195 // Science. 2008. Vol. 319. No. 5864. P. 756–760.
7. Theodorou P. The effects of urbanisation on ecological interactions. DOI: 10.1016/j.cois.2022.100922 // Curr. Opin. Insect Sci. 2022. Vol. 52. Article No. 100922.
8. Urbanisation drivers and underlying mechanisms of terrestrial insect diversity loss in cities / M. S. Fenoglio, A. Calviño, E. González, et al. DOI: 10.1111/een.13041 // Ecol. Entomol. 2021. Vol. 46. No. 4. P. 757–771.
9. Urbanization decreases species richness, and increases abundance in dry climates whereas decreases in wet climates: a global meta-analysis / B. Szabó, D. Korányi, R. Gallé, et al. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160145 // Sci. Total Environ. 2023. Vol. 859. Pt. 1. Article No. 160145.
10. Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas / S. T. A. Pickett, M. L. Cadenasso, J. M. Grove, et al. DOI: 10.1007/978-0-387-73412-5_7 // Urban Ecology / Eds. J. M. Marzluff, E. Shulenberger, W. Endlicher, et al. Boston, MA : Springer, 2008. P. 99–122.
11. Diamond S. E., Bellino G., Deme G. G. Urban insect bioarks of the 21st century. DOI: 10.1016/j.cois.2023.101028 // Curr. Opin. Insect Sci. 2023. Vol. 57. Article No. 101028.
12. Короткова А. А. Системные механизмы адаптации энтомокомплекса в урбанистических условиях : спец. 05.13.01 : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Тула, 2004. 39 с.
13. Suburban areas provide refuge for carabids in cities with high climate seasonality and urban heat island effects: a global meta-analysis / B. Szábo, D. Korányi, A. Rusch, P. Batáry. DOI: 10.1111/ddi.70108 // Divers. Distrib. 2025. Vol. 31. No. 10. Article No. e70108.
14. Urbanization drives cross-taxon declines in abundance and diversity at multiple spatial scales / E. Piano, C. Souffreau, T. Merckx, et al. DOI: 10.1111/gcb.14934 // Glob. Change Biol. 2020. Vol. 26. No. 3. P. 1196–1211.
15. Бабенко А. С., Еремеева Н. И. Особенности населения жужелиц урбанизированных территорий в условиях сибирских городов // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2007. № 1. С. 5–17.
16. Алексанов В. В. Структура населения жужелиц на урбанизированной территории: на примере города Калуги : спец. 03.02.08 : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2013. 26 с.
17. Филиппов, Б. Ю. Пути адаптации и экологические закономерности освоения жужелицами (Coleoptera, Carabidae) севера Русской равнины : спец. 03.02.16 : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2008. 21 с.
18. Еремеева Н. И. Структура и экологические механизмы формирования мезофауны членистоногих урбанизированных территорий : на примере г. Кемерово : спец. 03.02.16 : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2006. 38 с.
19. Коровина Н. А. Жуки-жуслицы (Coleoptera, Carabidae) урбанизированных луговых ценозов: на примере г. Кемерово : спец. 03.02.08 : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2007. 20 с.

РЕДКИЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ЭНТОМОФАУНЫ *CHALCOPHORA MARIANA* L. НА ТЕРРИТОРИИ КОСТРОМСКОГО РАЙОНА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Э. В. Марамохин¹, В. С. Голубев²

¹ Общество физиологов растений России Российской академии наук,
maramokhin91@mail.ru,

² Волгореченское рыбное хозяйство, vladislav.golubew2016@yandex.ru

В летний полевой сезон 2025 г. в Костромском районе Костромской области, по координатам 57.532643 с. ш., 41.104325 в. д. на открытой прибрежной территории у окраины сосново-елового леса был обнаружен редкий представитель энтомофауны *Chalcophora mariana* L. из отряда Coleoptera данный вид включен в Красную книгу Костромской области под 3 категорией.

Ключевые слова: *Chalcophora mariana*, редкий вид, новая находка, Красная книга, лимитирующие факторы, Костромской район.



Рис. 1. Имаго *C. mariana*
на участке старой обрезной
доски (фото В. С. Голубева)

В июле 2025 г., при летнем полевом изучении энтомофауны Костромского района Костромской области по координатам 57.532643 с. ш., 41.104325 в. д. на открытой прибрежной территории у окраины сосново-елового леса был обнаружен *Chalcophora mariana* L. редкий представитель отряда Coleoptera (рис. 1).

В Костромской области найденный вид включен в региональную Красную книгу под 3 категорией (редкий вид) [1], помимо Костромской области, данный вид также входит в Красную книгу Ярославской области под 2 категорией (сокращающийся в численности вид) [2]. К лимитирующим

факторам, которые обуславливают сокращение численности вида, можно отнести вырубки и разложение усохших сосен, где происходит развитие личинок, обильные лесные пожары, изменение растительных формаций и обеднение фитоценоза [3, 4]. *C. mariana* – крупный жук достигающий 30 и более мм. Темно-бронзовый с медным, медно-красным или медно-зеленым блеском, с гладкими темными продольными килями на голове, переднеспинке и надкрыльях. Надкрылья с четырьмя прерванными вдавлениями медно-золотистого цвета. Жук предпочитает селиться в хвойных и сосновых лесах с преимущественно песчаной почвой. Развитие происходит, как правило, на соснах в мертвой древесине, особенно поврежденной огнем [5, 6]. Эти данные полно-

стью соотносятся с местом обнаружения данного вида. Лёт происходит с мая по июнь [7].

Историческая справка изучения вида. На территории Костромской губернии *C. mariana* был впервые отмечен И. М. Рубинским (Нерехтский и Костромской уезды) в 1921 г. [8], а также В. В. Гуссаковским в 1926 г. для Нерехтского района по экземпляру Н. К. Беляева [9]. Однако, согласно современным данным, на территории Костромской области вид встречался в Буйском и Островском районах, а также в Макарьевском районе, недалеко от поселка Первомайка. Все данные были зафиксированы и включены во второе издание Красной книги Костромской области [1].

Ранее в Костромском районе после образования Костромской области из Костромской губернии, до находки в летний сезон 2025 вид не был встречен. Однако в ходе энтомологического обследования Костромского района Костромской области по координатам 57.532643 с. ш. , 41.10432 в. д. был обнаружен один экземпляр имаго *C. mariana*. Координаты местонахождения вида приведены на рисунке 2.



Рис. 2. Точки обнаружения *C. mariana* на территории Костромской области.

Зеленые точки – известные места обнаружения,
красная точка – новое местонахождение вида (Костромской район)

Поскольку данный вид находится под охраной изъятие *C. mariana* из естественной среды обитания для энтомологической коллекции не производилось. У *C. mariana* хорошие определительные признаки, позволяющие точно определить видовую принадлежность в полевых условиях.

С целью оценки популяции и численности данного вида на территории Костромской области необходимо вести мониторинг известных мест обитания, а также осуществлять работу по актуализации ареала данного вида.

Библиографический список

1. Красная книга Костромской области / науч. ред. М. В. Сиротина, А. Л. Анциферов, А. А. Ефимова. Кострома : Костромской государственный университет, 2019. 432 с.
2. Красная книга Ярославской области. Ярославль : Академия 76, 2015. 472 с.
3. Сергеева Е. В., Столбов В. А. Фауна жуков-златок (Coleoptera, Buprestidae) Тюменской области. DOI: 10.14258/abs.v5.i3.6578 // *Acta Biologica Sibirica*. 2019. Т. 5. № 3. С. 159–166.
4. Чурилина Т. Н. К фауне семейства златки (Buprestidae) Оренбургской области // Рациональное природообустройство и развитие АПК : материалы Национальной конф. с междунар. участием. Оренбург : Оренбургский государственный аграрный университет, 2024. С. 264–268.
5. Матвеев В. А. Насекомые-ксилофаги Волго-Вятского региона. Йошкар-Ола : МарГУ, 1998. 96 с.
6. Агафонова Т. А., Силаев А. С., Антонов И. А. Пространственное распределение златок (Coleoptera, Buprestidae) хвойных пород в Байкальской Сибири и Северном Приамурье // Приоритетные научные направления: от теории к практике : сб. материалов XXXVII Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск : ООО «Центр развития научного сотрудничества», 2017. С. 12–16.
7. Рихтер А. А. Златки (Buprestidae) // Фауна СССР. Насекомые жесткокрылые. М. – Л. : Изд- во АН СССР, 1952. Т. 13. Вып. 4. Ч. 4. С. 191–193.
8. Рубинский И. М. Список Coleoptera, найденных в Нерехтском, Костромском и Кинешемском уездах Костромской губернии // Труды Костромского научного общества по изучению местного края : 3-й естеств.-ист. сб. Кострома, 1921. Вып. 27. С. 74–78.
9. Гуссаковский В. В. Список жуков (Coleoptera) окрестностей г. Костромы // Труды Костромского научного общества по изучению местного края : биол. сб. (из работ биол. станции о-ва). Кострома, 1926. Вып. 37. С. 21–75.

К МЕТОДИКЕ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПЕСТИЦИДАМИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ

М. Н. Марченко

*Всероссийский научно-исследовательский институт охраны
окружающей среды, marina.meev.111@mail.ru*

В обзоре проанализированы и систематизированы методические подходы к биоиндикации почв, загрязнённых пестицидами, с использованием дождевых червей (Lumbricidae). Проведён сравнительный анализ полевых и мезокосмных методов, оценены их преимущества, ограничения и взаимодополняемость для комплексной оценки экологического состояния почв.

Ключевые слова: дождевые черви, Lumbricidae, биоиндикация, почвенная экотоксикология, полевые исследования, мезокосмы, почвенная фауна, пестициды.

Почва представляет собой динамичную и сложно организованную систему и является ключевым компонентом биосфера. В условиях интенсивного агропромышленного производства она подвергается значительным нагруз-

кам, среди которых применение пестицидов занимает одно из ключевых мест. Использование пестицидов диктуется экономическими и биологическими факторами и обеспечивает стабильность производства в условиях монокультурного земледелия.

Среди почвенных организмов дождевые черви занимают особое положение. Они составляют значительную часть биомассы почвенных беспозвоночных [1–3], активно участвуют в процессах формирования почвенной структуры, аэрации, дренажа, деструкции органического вещества и круговорота питательных веществ [4–6]. Кроме того, дождевые черви проявляют высокую чувствительность к широкому спектру ксенобиотиков, что делает их идеальными объектами для биоиндикации состояния почв, подверженных загрязнению пестицидами.

Актуальность разработки и совершенствования методик биоиндикации почв, загрязнённых пестицидами с использованием дождевых червей обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов. Дождевые черви находятся в непосредственном и постоянном контакте с почвой – через кожные покровы и пищеварительный тракт. У дождевых червей отсутствует плотный кутикулярный покров, что делает их высокочувствительными индикаторами даже низких уровней загрязнения, включая сублетальные эффекты, не проявляющиеся в виде немедленной гибели. Известно, что стандартные химико-аналитические методы не всегда способны отразить биологически доступные для организмов концентрации пестицидов в почве и, что особенно важно, их комплексное (синергетическое или антагонистическое) воздействие. Биоиндикация с использованием дождевых червей позволяет оценить интегральную токсичность почвы, учитывая всю совокупность факторов.

Основная цель биоиндикации с использованием дождевых червей – это комплексная оценка состояния и уровня нарушенности почвенной экосистемы под воздействием пестицидов на основе реакции популяций и сообществ дождевых червей, от молекулярного до экосистемного уровня. Для достижения этой цели решается ряд задач, в числе которых: оценка структурных параметров популяций и сообществ – определение численности, биомассы, видового богатства, индексов разнообразия (например, Шеннона) и возрастной структуры популяций дождевых червей в агроценозах; выявление функциональных изменений – изучение репродуктивной функции (количество и жизнеспособность коконов, количество и выживаемость ювенильных особей); оценка роющей и пищевой активности; а также ранняя диагностика стресса с использованием чувствительных поведенческих (избегание) и биохимических биомаркеров (активность ферментов детоксикации, окислительный стресс) для выявления сублетальных эффектов на ранних стадиях, до проявления необратимых изменений на популяционном уровне [7].

Биоиндикационные исследования на дождевых червях проводят с применением полевых и мезокосмных методов.

Полевые исследования позволяют изучить воздействие пестицидов в реальных условиях с учётом всего комплекса абиотических (температура,

влажность, тип почвы) и биотических (хищники, конкуренция, доступность пищи) факторов. Эти исследования, в первую очередь, подразумевают отбор проб дождевых червей с определённой площади (объёма) почвы: вручную с послойным разбором почвенных проб, их сортировкой и извлечением червей или методом химической экстракции для извлечения червей на поверхность [2, 8, 9].

Ключевые оцениваемые параметры в полевых условиях – это численность и биомасса, видовое разнообразие и структура сообщества, а также визуальная диагностика дождевых червей.

Снижение численности и биомассы – это прямой индикатор неблагоприятных условий. Считается, что высокая численность и биомасса дождевых червей свидетельствуют об экологическом здоровье и плодородии почвы [10]. Применение пестицидов ведёт к обеднению видового состава и упрощению структуры сообществ дождевых червей. Эпигейные и анекционные виды, как правило, более чувствительны к обработкам, чем эндогейные. Исследования показывают, что постоянные пастбища и сады характеризуются большим видовым разнообразием и численностью, чем ежегодно обрабатываемые поля [11, 12].

Немаловажным этапом полевых исследований является визуальная диагностика морфологических аномалий у дождевых червей. Необходимо фиксировать видимые изменения у извлечённых особей, такие как деформация тела (укорочение, вздутие), повреждение эпителия (язвы, некрозы), изменение окраски – все это может служить индикатором токсического воздействия.

Преимущества полевых исследований – это высокая экологическая достоверность, интегральная оценка всех факторов среды, возможность оценки долгосрочных эффектов и потенциального восстановления популяций.

Полевые исследования имеют и некоторые ограничения: высокая пространственная и временная вариабельность, затрудняющая статистический анализ; сложность установления прямой причинно-следственной связи с конкретным пестицидом из-за множества сопутствующих факторов.

Для установления таких связей целесообразно дополнительно проведение мезокосмных исследований. Они представляют собой стратегический компромисс между строго контролируемыми лабораторными условиями и комплексной, но вариабельной полевой средой. Они позволяют изучать эффекты в условиях, максимально приближенных к естественным, но с большей степенью контроля и репликации. Для этого необходимо прибегнуть к наземным модельным экосистемам, которые представляют собой интактные (ненарушенные) почвенные керны, извлечённые гидравлически с полевого участка и помещённые в пластиковые или металлические колонны. В такие системы интродуцируются дождевые черви определённых видов и возрастных групп, и затем изучают их реакцию на внесённые в рекомендованных дозах пестициды. Такие системы сохраняют естественную структуру почвы и часть её биоты. Возможно использовать также метод сетчатых мешков, который предполагает помещение почвенных кернов или образцов почвы в мешки из

нейлоновой сетки, которые затем закапываются *in situ* на поле. Этот подход позволяет подвергнуть тест-организмы воздействию реальных полевых условий (климат, естественная биота), минимизируя их миграцию и обеспечивая возможность последующего извлечения всех особей для анализа [13].

В таких мезокосмах помимо стандартных параметров выживаемости, роста и размножения, оценивают сложные поведенческие и функциональные отклики: активность норообразования, потребление пищи и производство копролитов, изменение биохимических биомаркеров у организмов, подвергшихся воздействию в условиях, близких к естественным.

Как и полевые исследования, мезокосмные методы имеют ряд ограничений – это трудоёмкость установки и обслуживания, стоимость, необходимость специального оборудования, продолжительность экспериментов.

Биоиндикационные исследования с использованием дождевых червей предоставляют мощный и многогранный инструментарий для диагностики состояния почв, загрязнённых пестицидами. Ни один из методов не является универсальным, и их синергетическое применение позволяет получить наиболее полную картину. Полевые исследования незаменимы для интегральной оценки реальной экологической ситуации и долгосрочного мониторинга. Мезокосмные эксперименты служат важным связующим звеном, позволяющим верифицировать лабораторные данные, изучать механизмы воздействия в контролируемых условиях, приближенных к естественным, и оценивать влияние на экосистемные функции.

Для формирования адекватной и всесторонней оценки экологического риска необходим комплексный подход, сочетающий: методы полевой биоиндикации, мезокосмные исследования, стандартизованные лабораторные тесты (острая и хроническая токсичность, тесты на избегание), анализ биохимических и молекулярных биомаркеров (для ранней диагностики стресса).

Совершенствование и стандартизация этих методик, особенно с учётом российских почвенно-климатических условий и местных, в том числе редких и эндемичных, видов дождевых червей, является одной из важнейших задач современной почвенной экотоксикологии и биодиагностики. Развитие этого направления будет способствовать разработке научно обоснованных нормативов и регламентов применения пестицидов, обеспечивающих как продуктивность агросистем, так и сохранение почвенного биоразнообразия и экосистемных услуг.

Библиографический список

1. Гиляров М. С. Зоологический метод диагностики почв. М. : Наука, 1965. 280 с.
2. Petersen H., Luxton M. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. DOI: 10.2307/3544689 // Oikos. 1982. Vol. 39. No. 3. P. 288–388.
3. Bar-On Y. M., Phillips R., Milo R. The biomass distribution on Earth. DOI: 10.1073/pnas.1711842115 // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2018. Vol. 115. No. 25. P. 6506–6511.
4. Edwards C. A., Bohlen P. J. The effects of toxic chemicals on earthworms. DOI: 10.1007/978-1-4612-2890-5_2 // Rev. Environ. Contam. Toxicol. 1992. Vol. 125. P. 23–99.

5. Effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics at a landscape scale over decades / P. Lavelle, F. Charpentier, C. Villenave, et al. DOI: 10.1201/9781420039719.pt4 // Earthworm Ecology / Ed. C. A. Edwards. Boca Raton : CRC Press, 2004. P. 145–160.
6. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services / M. Blouin, M. E. Hodson, E. A. Delgado, et al. DOI: 10.1111/ejss.12025 // Eur. J. Soil Sci. 2013. Vol. 64. No. 2. P. 161–182.
7. Assessment of pesticide toxicity on earthworms using multiple biomarkers: a review / A. M. Yatoo, M. N. Ali, Z. Zaheen, et al. DOI: 10.1007/s10311-022-01386-0 // Environ. Chem. Lett. 2022. Vol. 20. P. 2573–2596.
8. Методы почвенно-зоологических исследований / под ред. М. С. Гилярова. М. : Наука, 1975. 279 с.
9. Short-term effects of two fungicides on enchytraeid and earthworm communities under field conditions / J. Amosse, S. Bart, A. R. R. Pery, C. Pelosi. DOI: 10.1007/s10646-018-1895-7 // Ecotoxicology. 2018. Vol. 27. No. 3. P. 300–312.
10. Paoletti M. G. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. DOI: 10.1016/S0167-8809(99)00034-1 // Agric. Ecosyst. Environ. 1999. Vol. 74. No. 1–3. P. 137–155.
11. Edwards C. A. Earthworm ecology in cultivated soils. DOI: 10.1007/978-94-009-5965-1_10 // Earthworm Ecology / Ed. by J. E. Satchell. Dordrecht : Springer, 1983. P. 123–137.
12. Булгакова М. А. Состав и численность дождевых червей как косвенный показатель физических свойств почв степных агроценозов Предуралья // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 2. [Электронный ресурс]. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=26248> (дата обращения: 28.10.2025).
13. Stanley J., Preetha G. Pesticide toxicity to earthworms: exposure, toxicity and risk assessment methodologies. DOI: 10.1007/978-94-017-7752-0_5 // Pesticide toxicity to non-target organisms. Dordrecht : Springer, 2016. P. 277–350.

ПОЛЕВОЙ СВЕРЧОК (*GRYLLUS CAMPESTRIS*) – НОВЫЙ ВИД НАСЕКОМЫХ ДЛЯ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

C. В. Пестов^{1, 2}, И. Д. Обухов³

¹ Вятский государственный университет, atylotus@mail.ru,

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,

³ Вятский государственный агротехнологический университет,
arenaria-time@mail.ru

Приводятся сведения о сверчке полевом – новом для фауны Кировской области виде насекомых. Вид впервые найден в области в начале августа 2024 г. Встречается в Вятско-Полянском и Малмыжском районах. В ряде некоторых регионов России этот вид включен в региональную Красную книгу. В Кировской области популяции вида не испытывают существенного негативного воздействия.

Ключевые слова: Gryllidae, изменение ареала, биоразнообразие.

Настоящие сверчки (Gryllidae) – это семейство насекомых из отряда прямокрылых широко распространённое по всему миру. Это средней величины насекомые с большой круглой головой и утолщенными бёдрами. Все виды

сверчки предпочитают термофильные местообитания. В Кировской области до настоящего времени было известно два вида из семейства сверчковых – это домовой сверчок (*Acheta domesticus*) и сверчок лобастый (*Modicogryllus frontalis*). Первый из них встречается по всей области. Встречается не только в старых деревянных домах с печным отоплением, но и в высотных домах современной постройки. По данным литературы, сверчок лобастый отмечен только на юге области без указания локалитета. Новых сведений об этом виде не было с 1949 г. [1]. В июле 2019 г. И. Л. Васильевым была обнаружена популяция этого вида в окрестностях д. Буйский Перевоз Уржумского района.

В начале августа 05.08.2024 года в окрестностях города Малмыжа в Малмыжском районе обнаружено первое в области местообитание полевого сверчка (*Gryllus campestris*). Одна особь этого вида были поймана на полевой дороге, проходящей через кукурузное поле. Неподалеку на всхолмлённом луговом разнотравье южной экспозиции нами найден еще один вид насекомых, недавно обнаруженных на территории Кировской области [2] – богомол обыкновенный (*Mantis religiosa*).

В конце июня 2025 г. зафиксировано формирование устойчивой популяции полевого сверчка в окрестностях села Кулыги Вятско-Полянского района на заливных лугах в пойме р. Вятки. В течение одних суток всего на 1,5 км маршрута было поймано 5 особей, и еще 7 других особей зарегистрированы по характерному звучанию.

Природный ареал полевого сверчка степная и лесостепная зона Европы. Этот вид предпочитает лугово-степные и опушечные местообитания с редкой растительностью. Живет в норах глубиной до 20 см. Питается листьями и корнями травянистых растений и беспозвоночными [3].

Ближайшие к Кировской области находки сделаны в Чувашии и Нижегородской области, Татарстане и Удмуртии [4, 5]. При этом в Нижегородской области он известен с 1970-х годов, а в Чувашии и Удмуртии этот вид впервые зарегистрирован в 2004 и 2008 гг. соответственно. В Татарстане известен в Западном и Восточном Закамье [6]. Эти факты свидетельствуют о продвижении северной границы ареала этого вида в северо-восточном направлении.

Вид включен в Красные книги Воронежской области [6], а также Тульской [7], Калужской [8] и Орловской [9] областей. Негативными экологическими факторами в этих регионах являются прекращение скашивания луговых участков и их зарастание древесно-кустарниковой растительностью. Распашка и застройка речных долин. Прерывание и изолированность местообитаний вида, антропогенно-трансформированными территориями. По нашим наблюдениям в Кировской области вид не испытывает существенного негативного воздействия.

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. Неручев В. М. К обзору фауны прямокрылых Горьковской обл. (Tettigoniidae et Gryllidae) // Уч. зап. Горьковск. гос. ун-та. 1949. Вып. 14. С. 107–112.
2. Емец В. М., Емец Н. С. Находки сверчков (Orthoptera, Gryllidae) на территории биосферного резервата «Воронежский» (Центральная Россия) // Труды Мордовского государственного природного заповедника имени П. Г. Смидовича. 2021. № 29. С. 97–102.
3. Егоров Л. В. Новые данные по фауне прямокрылых (Insecta, Orthoptera) Чувашии // Естественнонаучные исследования в Чувашии. 2015. № 2. С. 48–50.
4. Ляпунов А. Н. Новые данные о распространении обыкновенного богомола (*Mantis religiosa*) в Кировской области // Материалы V межрегиональных зоологических чтений, посвященных памяти ученого-естествоиспытателя С. В. Маракова (1929–1986) (г. Киров, 26 ноября 2021 г.). Киров : Аверс, 2022. С. 45–46.
5. Адаховский Д. А. Современные процессы расширения ареалов отдельных видов насекомых (Hexapoda: Orthoptera, Mantodea, Hymenoptera) по территории Удмуртии // Труды Ставропольского отделения Русского энтомологического общества : материалы IX Междунар. науч.-практ. интернет-конф. «Актуальные вопросы энтомологии», (г. Ставрополь, 16 мая 2016 г). Ставрополь : АГРУС, 2016 С. 10–14.
6. Кармазина И. О., Шулаев Н. В. Эколо-фаунистический обзор прямокрылых (Orthoptera) центральной части волжско-камского края (Республика Татарстан) // Энтомологическое обозрение. 2015. Т. 94. № 3. С. 532–558.
7. Красная книга Калужской области : в 2 т. Калуга : Ваш Домъ, 2017. Т. 2 : Животный мир. 409 с.
8. Красная книга Воронежской области: в 2 т. Воронеж : Центр духовного возрождения Черноземного края, 2018. Т. 2 : Животные. 448 с.
9. Красная книга Орловской области. Грибы, Растения, Животные. Орёл : Папирус, 2021. 440 с.

РАЗНООБРАЗИЕ И СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ КОЛЛЕМБОЛ (COLLEMBOLA) В ПОЧВАХ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ СТОЧНЫХ ВОД (НА ПРИМЕРЕ г. ВОРКУТЫ, РЕСПУБЛИКА КОМИ)

A. A. Таскаева¹, Т. Н. Конакова¹, Г. Л. Накул¹, А. А. Фильчагина^{1,2}

¹ Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

taskaeva@ib.komisc.ru, konakova@ib.komisc.ru, nakul@ib.komisc.ru,

² Сыктывкарский государственный университет имени П. Сорокина,

filchagina.a.a@ib.komisc.ru

Настоящее исследование посвящено изучению таксономического состава и структуры населения коллембол на техногенных субстратах в районе влияния сточных вод и вклада таких местообитаний в общее разнообразие тундровой зоны европейского Севера. Всего зарегистрировано 97 видов ногохвосток, 15 из которых отмечены только на техногенных субстратах. Статистический анализ (PERMANOVA) подтвердил значимые различия в составе сообществ коллембол, что обусловлено как обилием видов, обычных для данной территории, так и наличием в составе специфических форм.

Ключевые слова: ногохвостки, южные тундры, Европейский Север.

За последние десятилетия экосистемы во всем мире претерпели обширные, в основном негативные изменения в результате хозяйственной деятельности человека [1]. Функционирование городов как сложных гетеротрофных систем обуславливает увеличение количества отходов, обращение с которыми обостряет современные экологические проблемы.

Важным критерием выбора модельной группы, позволяющей оценить экологические закономерности функционирования экосистем, является ее значительность, определенная широким распространением и высокой встречаемостью в экосистемах различного типа. Согласно последней ревизии [2] коллемболы, широко известные как ногохвостки, являются одними из самых многочисленных, богатых биомассой и вездесущих животных на Земле. Они демонстрируют широкий спектр морфологических, физиологических и экологических приспособлений к различным местообитаниям [3]. Зависимость этой группы от свойств почвы заставляет рассматривать ее как ценный биологический индикатор, поскольку она реагирует на изменения окружающей среды таксономическими и функциональными изменениями в структуре сообщества [4]. Цель данного исследования состояла в изучении таксономического разнообразия ногохвосток в почвах, формирующихся в условиях воздействия муниципальных и промышленных сточных вод и оценке вклада таких местообитаний в общее разнообразие коллембол тундровой зоны европейского Севера.

Для решения данной проблемы было выбрано девять участков, расположенных в окр. г. Воркута (Республика Коми), три из которых – это зональные кустарниковые и кустарничковые тундры, три представлены осоково-разнотравными и злаково-разнотравными лугами, находящимся в режиме постоянного воздействия речных вод и три – это техногенные участки. Последние подвержены загрязнению органическими остатками и сформированы из смеси отходов птицефабрики, кормовых складов, городской больницы и железнодорожного депо [5]. Отбор почвенных образцов проводился в июле-августе 2015–2019, 2025 гг. На каждом участке было отобрано по пять почвенных образцов (глубиной 5×5×10 см) стандартным методом. Экстракция и идентификация коллембол проведена в лабораторных условиях.

Всего на исследуемых участках зарегистрировано 97 видов коллембол из 40 родов и 14 семейств. Фауна ногохвосток, как и в целом для европейских тундр, имеет «изотомоидный» характер. На долю семейства Isotomidae приходится около 36% видового состава. Также таксономический состав обогащен рядом семейств, относительно богатых видами: Onychiuridae (18,8%), Neanuridae (13,5%), что соответствует уровню представленности семейств ногохвосток их общему видовому богатству в Арктике.

Наибольшее число видов (71) отмечено в зональных кустарниковых и кустарничковых тундрах. В пойменных сообществах и техногенных субстратах общее число видов снижается в 1,5 раза и составляет 45 и 44 вида, соответственно, что подтверждается и данными, полученными для видовой насыщенности и индекса разнообразия Шеннона (табл.). Численность также

оказалась достоверно ниже в пойменных и техногенных участках, где она сокращается на 63–68%.

Таблица

Параметры разнообразия и численность коллембол

Параметры	Участки			
	зональные	пойменные	техногенные	F
Общее число видов	71 (35–53)	45 (12–43)	44 (15–36)	–
Видовая насыщенность, S	12,0±0,3 ^a	7,6±0,4 ^b	6,6±0,5 ^b	22,75***
Индекс Шеннона, H	1,75±0,02 ^a	1,47±0,06 ^b	1,25±0,08 ^b	16,97***
Численность, тыс. экз./м ²	87,7±6,3 ^a	28,1±4,6 ^b	33,3±4,7 ^b	5,22**

Примечание: Разные буквы указывают на достоверные различия между исследованными участками на основе теста Tukey HSD test (p-level of significance: n.s = not significant; * = < 0,05; ** = < 0,01; *** = < 0,001). В скобках указаны минимальные и максимальные значения количества видов на участок. Прочерк означает, что статистические расчеты не проводились.

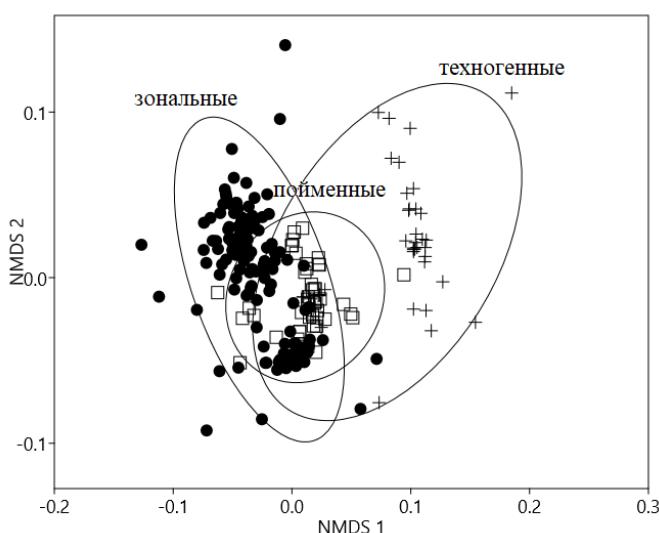


Рис. Сходство ценотических фаун коллембол исследованных биоценозов (nonmetric MDS, Bray-Curtis index)

Анализ, проведенный на основе многомерного шкалирования (NMDS), показал своеобразие населения коллембол обследованных растительных ассоциаций (рис.), что подтверждается данными PERMANOVA ($F = 26,34$; $p < 0,001$). Несмотря на то, что набор доминантов в группировках ногово-сток довольно узок и в ненарушенных экосистемах преобладает широко распространенный вид *Folsomia quadrioculata* (22,5%), подавляющее большинство видов, характерных для конкретных местообитаний являются массовыми не только в данной группировке, но и присутствуют в достаточно широком спектре разных сообществ. Например, в кустарниковых и кустарничковых тундрах высокого уровня обилия достигает *Tetracanthella wahlgreni* (15%), в пойменных лугах – *Parisotoma notabilis sensu lato*, *Desoria violacea* (по 14%). Иными словами, группировки коллембол зональных и пойменных экосистем в большей степени отличаются обилием видов, обычных для данной территории.

рии, нежели наличием в составе специфических форм. Однако на техногенных участках появляются виды, характерные для начальных стадий сукцессии – *Proisotoma minuta*, *Folsomia fimetaria* и ряд других и даже инвазийный вид *Desoria trispinata*. Отмечено увеличение числа почвенных видов из родов *Protaphorura*, *Mesaphorura*, *Oligaphorura*. Высокого уровня обилия достигают *Sphaeridia pumilis* (32%) и *Ceratophysella denticulata* (17%). Только на этих участках было обнаружено 15 видов, не встреченных в зональных и интразональных биотопах.

Таким образом, наше исследование подчёркивает существенную связь между типом растительности, разнообразием и структурой населения коллембол. Полученные данные способствуют глубокому пониманию биогеографии и экологии арктических почвенных беспозвоночных, а также служат основой для дальнейших мониторинговых и сравнительных исследований в северных экосистемах.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 25-24-00101.

Библиографический список

1. Rewilding with invertebrates and microbes to restore ecosystems: Present trends and future directions / P. Contos, J. L. Wood, N. P. Murphy, H. Gibb. DOI: 10.1002/ece3.7597 // Ecol. Evol. 2021. Vol. 11. P. 7187–7200.
2. Globally invariant metabolism but density-diversity mismatch in springtails / A. Popotov, C. Guerra, J. van den Hoogen, et al. DOI: 10.1038/s41467-023-36216-6 // Nat. Commun. 2023. Vol. 14. No. 1. Article No. 674.
3. Hopkin S. P. Biology of the Springtails – Insecta: Collembola. Oxford : Oxford University Press, 1997. 330 p.
4. Salmon S., Ponge J.-F. Species traits and habitats in springtail communities: a regional scale study. DOI: 10.1016/j.pedobi.2012.05.003 // Pedobiologia. 2012. Vol. 55. No. 6. P. 295–301.
5. Гецен М. В. Воркута – город на угле, город в Арктике. Сыктывкар : Коми республиканская типография, 2011. 512 с.

ДИНАМИКА ТАКСОЦЕНОВ КОЛЛЕМБОЛ (COLLEMBOLA) В РАЙОНЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД (НА ПРИМЕРЕ АО «СЫКТЫВКАРСКИЙ ЛПК»)

A. A. Фильчагина^{1,2}, A. A. Таскаева¹

¹Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

²Сыктывкарский государственный университет имени П. Сорокина,
filchagina.a.a@ib.komisc.ru

Приведены материалы по изучению временной организации сообществ коллембол в техногенных субстратах, пойменных и хвойных лесах. На техногенных субстратах и пойменном лугу, расположенных в зоне влияния очищенных сточных вод, формируются сильно флюктуирующие сообщества кол-

лембол, отличающиеся от стабильных по амплитуде варьирования, прежде всего, спектров доминантов и жизненных форм.

Ключевые слова: ногохвостки, коэффициент вариации, индекс стабильности, искусственный самотечный канал, таежная зона, европейский Север.

Естественные процессы и антропогенные факторы влияют на динамику сообществ растений и животных во времени [1]. Для понимания их функционирования необходимы долгосрочные экологические исследования [2]. Коллемболы — перспективный объект для развития данного направления. Они быстро реагируют на изменения среды, имеют высокое таксономическое разнообразие и быструю смену поколений [3]. Поведенные ранее исследования показали, что стабильные сообщества ногохвосток, как правило, формируются в бореальных лесах, разные варианты флюктуирующего — на лугах и урбанизмах, а в условиях хронического антропогенного воздействия встречаются квазистабильные [4]. Остается неясным, насколько широким может быть диапазон варьирования коллембол в районе влияния очищенных сточных вод с повышенной температурой, влажностью и содержанием биогенных элементов.

Для решения данной проблемы были выделены три участка в окрестностях искусственного самотечного канала АО «Сыктывкарский ЛПК». На каждом участке было отобрано по три пробы в период 2018–2020, 2024 гг. размером 25 см² и на глубину 10 см. Для сравнения были использованы данные, полученные для пойменных и еловых лесов. Для оценки динамики сообщества коллембол были выбраны следующие показатели: общая численность, количество видов, спектр доминирующих видов и жизненных форм [4]. Диапазон флюктуаций данных параметров, а также видового богатства ногохвосток оценивали, применяя коэффициент вариации ($V, \%$) и индекс стабильности (I_s). Для размаха вариабельности видовой структуры сообществ коллембол разных местообитаний использован метод многомерного шкалирования (NMDS) с использованием индекса Брея-Кертиса на основе относительного обилия всех видов в разные годы. Предварительно все данные были проверены на нормальность. Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы PAST 4.10.

Результаты наших исследований показали, что численность коллембол существенно варьирует по годам наблюдений. Так, в 2020 г. она характеризовалась наибольшими показателями (72–390 тыс. экз./м²), превышающими в три-четыре раза, чем в 2018–2019 гг. (19–294 тыс. экз./м²). В 2024 г. она оказалась самой низкой (1–42 тыс. экз./м²). Такие изменения, с одной стороны, связаны с характером паводкового режима, а с другой стороны, влиянием сброса самих сточных вод, которое регулирует предприятие. Видовое богатство изменилось не значительно. Ежегодные выборки регистрируют от 4–16 до 14–25 видов на разных участках. Основной вклад в динамику населения коллембол вносят шесть-семь видов, то есть набор доминантов из года в год очень сильно варьирует. Подобная картина (отсутствие постоянных доминан-

тов) была отмечена для сообществ коллембол свалок бытовых отходов, отвалах строительных грунтов [4]. Оценка сообществ коллембол по соотношению жизненных форм показала, что на техногенных субстратах на протяжении всего периода наблюдений наиболее велика и постоянна роль эпиэдафических видов, что является характерной чертой нарушенных территорий [4]. Численность эуэдафической формы варьирует в широких пределах.

Полученные результаты не позволяют выделить устойчивое по годам ядро доминантов и спектра жизненных форм, что позволяет говорить о нестабильности сообществ коллембол в зоне влияния очищенных сточных вод. Это подтверждается и данными, полученными методом многомерного шкалирования (рис.), которые показывают, что видовая структура сообществ коллембол на всех участках отражает сильную вариабельность.

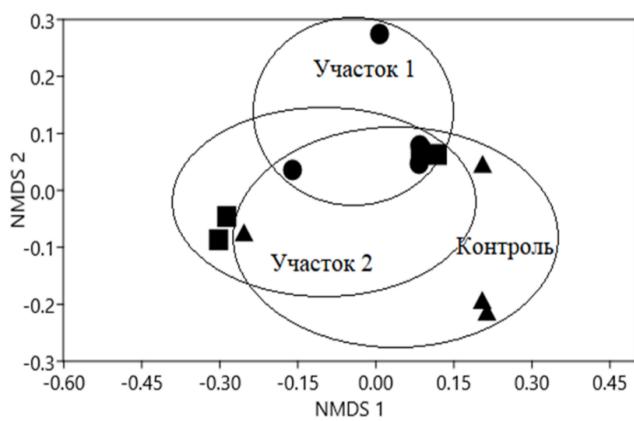


Рис. Метод многомерного шкалирования (NMDS) с использованием индекса Брея-Кертиса на основе относительного обилия всех видов в разные годы

Сравнительный анализ временной организации сообществ коллембол в техногенных субстратах, пойменных и хвойных лесах свидетельствует о том, что наиболее стабильными показателями являются видовое богатство и численность, которые на рассмотренных нами участках варьирует незначительно по годам наблюдений, на что указывают значения коэффициента вариации и индекса стабильности (табл.). Число потенциальных доминантов на участках в зоне влияния сточных вод достигает 6–7 видов по сравнению с зональными хвойными лесами, где всего 2–3 доминанта или в пойменных лесах тричетыре. Кроме того, в условиях влияния вод (сточных или речных) флуктуации доминантов очень сильные, особенно высок разброс по индексу стабильности на техногенных субстратах, что, по всей видимости, связано с влиянием повышенной температуры, которая негативно сказывается на структуре коллембол. В спектре жизненных форм также отмечены сильные колебания как по коэффициенту вариации V , так и по индексу стабильности I_s , особенно для почвенных (эуэдафических) обитателей. По всей видимости, в зоне влияния очищенных сточных вод имеет значение целый комплекс факторов: влажность, в том числе паводковый режим (несмотря на то, что ногахвостки – гигрофилы, они не переносят переувлажнение), повышенная температура,

химические и биологические факторы, которые требуют дальнейших исследований.

Таблица

Сравнительная характеристика временной организации коллембол

Показатель	Коэффициент вариации (V , %)			Индекс стабильности (I_s)		
	техноген- ные субстраты	поймен- ные леса*	хвой- ные леса**	техноген- ные субстраты	поймен- ные леса*	хвойные леса**
Базовый количественный:						
Общая численность	72–97	77–96	25–53	0,26–0,75	1,37–1,47	0,07–0,23
Видовое богатство	20–43	20–31	9–18	0,08–0,26	0,03–0,11	0,06–0,12
Структурный:						
<u>Доля доминантов</u>	<u>55–200</u>	<u>83–205</u>	<u>12–61</u>	<u>0,26–2,19</u>	<u>0,43–1,23</u>	<u>0,05–0,60</u>
число доминантов на участок	6–7	3–4	2–3	6–7	3–4	2–3
Доля жизненных форм:						
Эпизафическая	76–110	51–123	28–51	0,55–1,05	0,15–0,50	0,15–0,27
Гемиэзатическая	103–180	20–46	11–73	0,77–1,11	0,04–0,19	0,04–0,51
Эуэзатическая	79–179	30–57	4–115	0,59–1,83	0,11–0,29	0,08–0,94

Примечание: * [5]; ** [4].

Таким образом, на техногенных субстратах и пойменном лугу, расположенных в зоне влияния сточных вод, формируются сильно флюктуирующие сообщества коллембол, отличающиеся от стабильных по амплитуде варьирования, прежде всего, спектров доминантов и жизненных форм. Структуру такого населения, с одной стороны, отличает расширенный набор потенциальных доминантов, с другой – более высокая доля редких и малочисленных видов. Колебания плотности населения высокие. Вариабельность численности эуэзатических видов выражена сильнее по сравнению с гемиэзатическими и эпизафическими видами. Анализ наших материалов показывает, что тип временной организации может быть рассмотрен в качестве неспецифической реакции при оценке здоровья почвы.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 25-24-00101.

Библиографический список

1. Rzeszowski K., Sterzyńska M. Changes through time in soil Collembola communities exposed to urbanization. DOI: 10.1007/s11252-015-0478-0 // Urban ecosystems. 2015. Vol. 19. P. 143–158.
2. Koehler H., Melecis V. Long-term observations of soil mesofauna. DOI: 10.1007/978-90-481-8782-9_15 // Long-term ecological research. Between theory and application / Eds. F. Müller, C. Baessler, H. Schubert, S. Klotz. Dordrecht : Springer, 2010. P. 203–220.
3. Hopkin S. P. Biology of the Springtails – Insecta: Collembola. Oxford : Oxford University Press, 1997. 330 p.
4. Кузнецова Н. А. Организация сообществ почвообитающих коллембол. М. : Прометей, 2005. 244 с.
5. Таскаева А. А., Лаптева Е. М. Динамика сообществ коллембол (Collembola) в среднетаежных пойменных лесах // Поволжский экологический журнал. 2012. №. 4. С. 426–436.

СЕКЦИЯ 6

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И ПИЩЕВЫЕ КРАСИТЕЛИ, КОМБИНИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ СОРБЦИИ И ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИИ

С. В. Джима, В. А. Бродский, Н. Ч. Мое

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
solwegen555@gmail.com*

В данной работе исследованы кинетика и эффективность комбинированной сорбции и электрофлотации для очистки сточных вод, содержащих ионы Ni, Zn и Cu, а также пищевые красители. Были приготовлены модельные растворы сточных вод, содержащие соли NiSO_4 , ZnSO_4 , CuSO_4 в общем объеме с суммарной концентрацией ионов металлов 100 мг/л (по 33,3 мг/л) и пищевые красители (индигокармин (Е132); кармуазин (Е122); коричневый (Е155); желтый солнечный закат (Е110)) с концентрацией 100 мг/л каждый). Использовали активированный уголь БАУ-А 10 г/л и соль электролита Na_2SO_4 10 г/л. Анализировалось влияние pH и природы анионного ПАВ NaDDS (100 мг/л) и катионного ПАВ катинол (100 мг/л). Процесс сорбции продолжался в течение 30 мин, после чего проводилась электрофлотация в течение еще 15 мин. Было замечено, что максимальная эффективность выше 99% для ионов тяжелых металлов Ni и Zn и 97% для коричневого красителя (Е155) достигнута при pH 10 в присутствии катионного ПАВ катинол. Полученные результаты свидетельствуют о том, что сочетание сорбции и электрофлотации обладает потенциалом для извлечения токсичных ионов тяжелых металлов и пищевых красителей из сточных вод. Выявлено, что pH и природа ПАВ оказывают значительное влияние на процесс сорбционной и электрофлотационной очистки.

Ключевые слова: сточные воды, тяжелые металлы, пищевые красители, сорбция, электрофлотация, степень извлечения.

Присутствие в сточных водах и отработанных технологических растворах токсичных тяжелых металлов, таких как Ni, Zn, Cu и других, а также синтетических пищевых красителей, выбрасываемых различными промышленными предприятиями, по-прежнему вызывает наибольшую обеспокоенность в связи с загрязнением окружающей среды. Такие отрасли промышленности,

как: гальваническая, металлургическая, горнодобывающая, текстильная, бумажная, полиграфическая, кожевенная, пищевая и т. д., являются источниками токсичных ионов тяжелых металлов и красителей, которые генерируют значительные объемы сточных вод. Присутствие тяжелых металлов и красителей в сточных водах, даже в следовых количествах (менее 1 мг/л для большинства тяжелых металлов и 1 мг/дм³ для некоторых негативных красителей), является крайне нежелательным [1–3]. Для уменьшения загрязнения воды вышеупомянутыми загрязняющими веществами были разработаны различные методы очистки сточных вод. Однако из-за сложной природы ионов тяжелых металлов и органических пищевых красителей поиск оптимального метода очистки является главной проблемой для ученых-экологов.

Для очистки сточных вод, содержащих токсичные ионы тяжелых металлов и синтетические пищевые красители эффективными считаются сорбционные и электрофлотационные процессы очистки сточных вод [4, 5]. В настоящее время все большее внимание и признание получает технология сорбции с использованием активированного угля для очистки сточных вод. Одним из преимуществ сорбции активированным углем является его высокая пористость, экономичность, эффективность, экологичность и простота получения, в т. ч. из природных отходов [6]. Сорбционный процесс высокоэффективен и способен извлекать различные молекулы красителей даже в низких концентрациях, обеспечивая значительное снижение уровня вредных веществ, выделяемых в окружающую среду [7]. Электрофлотация – это метод, в котором для удаления растворенных загрязняющих веществ из жидкостей используются электроды, обычно зависящие от собственного потенциала, и прикладывается постоянное напряжение [2]. Использование электрофлотационной технологии считается оптимальным вариантом для одновременного удаления большого количества загрязняющих веществ различной природы [8, 9].

Цель исследования – изучение эффективности совместного процесса сорбции в реакторе с последующим извлечением сорбента методом электрофлотации для извлечения ионов тяжелых металлов Ni, Zn, Cu и синтетических пищевых красителей из сточных вод.

В исследовании использовались модельные растворы сточных вод, содержащие соли NiSO_4 , ZnSO_4 , CuSO_4 в общем объеме с суммарной концентрацией по ионам металлов 100 мг/л (33,3 мг/л каждого) и пищевые красители (индигокармин (Е132); кармуазин (Е122); коричневый (Е155); желтый солнечный закат (Е110)) с концентрацией 100 мг/л каждого. Солевой фон – Na_2SO_4 (10 г/л). Для повышения эффективности процесса использовали ПАВ анионной (NaDDS) и катионной (Катинол) природы, концентрация ПАВ 100 мг/л. Раствор пробы вносили в сорбционный реактор объемом 500 мл и перемешивали с помощью магнитной мешалки BioSanMSH-300 в течение 20 мин. В качестве адсорбента используется активированный уголь БАУ-А (ТУ 20.59.54-001-44972796-2020). Адсорбент добавляют из расчета 1г на 100 мл раствора пробы сточных вод. pH раствора устанавливали на уровне 7 и

10 и контролировали с помощью рН-метра И-160 МИ (ООО «Измерительная техника», Россия).

Процесс сорбции длился 30 мин. Затем следовал процесс электрофлотации. В процессе электрофлотации отбирали пробы с интервалом 2, 5, 10 и 15 мин для определения остаточной концентрации тяжелых металлов и пищевых красителей в исследуемом растворе. Окончательно очищенную воду фильтровали с помощью фильтровальной бумаги марки Whatman Grade 1 с размером пор 11 мкм.

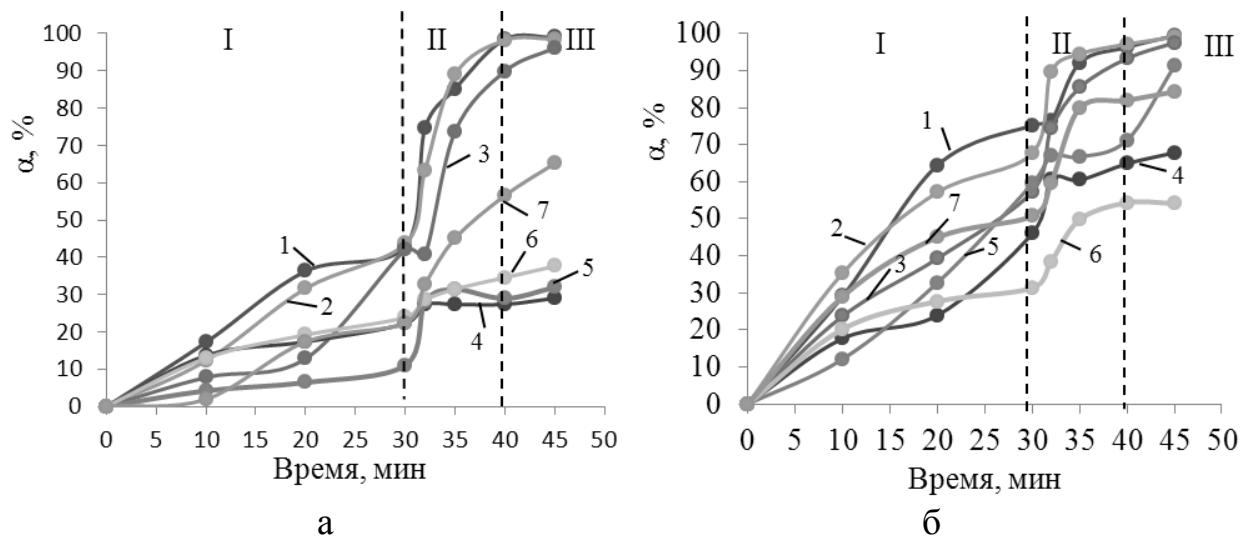
Массовую концентрацию ионов тяжелых металлов анализируют на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ-2А, пищевых красителей – методом спектрофотометрии по стандартизованной методике, спектрофотометр ПЭ-5300В. Контролируемыми параметрами технологического процесса являются остаточные концентрации примесей тяжелых металлов и пищевых красителей в очищенных растворах. Эффективность процесса очистки оценивали по степени извлечения металлов α (%) и поглощению пищевого красителя в спектрофотометрии.

Согласно экспериментальным результатам (рисунок 1а) установлено, что максимальная эффективность извлечения ионов Ni и Zn составляет 99,4% и 99,0% соответственно при pH = 10, через 45 мин после начала процесса очистки и процесса фильтрации. Эффективность извлечения иона Cu составляет 98,6% при pH = 7.

В то время как эффективность извлечения кармуазина, Е122 и желтого заката (Е110) составила 91,3% и 84,3% соответственно (рис. 1б) при pH = 10. Установлено, что повышение pH раствора улучшает сорбцию пищевых красителей за счёт изменения поверхностного заряда сорбента и собственного заряда красителя. Это свидетельствует о том, что анионные пищевые красители проявляют гидрофобность при более высоких значениях pH, что приводит к взаимодействию с пористой структурой активированного угля и последующей миграции в верхнюю часть электрофлотационной колонки за счёт образования пузырьков кислорода на аноде и катоде соответственно и, в конечном итоге, легко отфильтровываются.

В таблице представлены полученные результаты эксперимента в присутствии ПАВ различной природы в качестве флокулирующей добавки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что максимальная эффективность извлечения сорбционно-электрофлотационным методом достигается в присутствии катионного поверхностно-активного вещества катинола. Степень извлечения Ni и Zn выше – 99,8% и 99,4% соответственно при pH = 10. Отмечено, что катионное поверхностно-активное вещество может улучшить очистку сточных вод за счет повышения активности ионов металлов по отношению к пористой структуре активированного угля и удаления загрязняющих веществ посредством фракционирования пены, а также за счет улучшения миграции образованного комплекса адсорбент-загрязнитель к поверхности анода и катода, образующихся пузырьков газа в процессе электрофлотации. Степень извлечения ионов Cu относительно ниже – 98,7%.



I – сорбция, II – электрофлотация, III – фильтрация

1 – Ni; 2 – Zn; 3 – Cu; 4 – индигокармин (E132); 5 – кармуазин (E122);
6 – коричневый (E155); 7 – желтый солнечный закат (E110).

Рис. 1. Кинетика процессов сорбционной, электрофлотационной и фильтрационной очистки от ионов тяжелых металлов и пищевых красителей (индивидуально) а) pH = 7, б) pH = 10: БАУ-А = 10 г/л;
время сорбции = 30 мин; Na_2SO_4 = 10 г/л

Таблица

Эффективность комбинированной сорбционной и электрофлотационной очистки сточных вод с последующей фильтрацией в присутствии ПАВ анионной и катионной природы

Системы (загрязняющие вещества)	Степень извлечения (α , %)					
	без ПАВ		ПАВ NaDDS (а)		ПАВ Катинол (к)	
	pH = 7	pH = 10	pH = 7	pH = 10	pH = 7	pH = 10
E132/Ni/ Zn/Cu	60/46/ 45/72	29/69/ 66/74	67/98/ 97/98	29/98/ 98/97	64/99/ 98/95	90/99/ 99/98
E122/Ni/ Zn/Cu	67/86/ 83/77	31/87/ 85/82	91/99/ 99/97	31/98/ 98/96	78/97/ 95/92	47/99/ 98/97
E155/Ni/ Zn/Cu	40/79/ 78/67	37/85/ 80/72	54/94/ 94/92	37/97/ 97/96	23/98/ 98/97	97/99/ 99/98
E110/Ni/ Zn/Cu	40/82/ 79/62	25/83/ 78/64	84/99/ 98/94	65/99/ 98/97	38/98/ 98/96	55/99/ 99/98

С другой стороны, комбинированная сорбция и электрофлотационное извлечение пищевых красителей являются универсальными и зависят от природы и количества функциональных источников группы пищевых красителей. Отмечено, что максимальная эффективность извлечения пищевых красителей кармозина E122, (87,6%) и желтого солнечного заката E110, (97,5%) достигается в присутствии катинола при pH = 10. В процессе сорбции-электрофлотации сила электростатического притяжения, создаваемая катионным поверхностью-активным веществом к пористой структуре адсорбента, повышает эффективность процесса очистки. В то же время для остальных

пищевых красителей эффективность извлечения ниже, что свидетельствует о существенном влиянии природы пищевого красителя на эффективность процесса очистки.

Выводы. Установлено, что процесс сорбции-электрофлотации эффективен для удаления ионов тяжелых металлов в присутствии катионного поверхностно-активного вещества катинола. Максимальное извлечение ионов Ni выше 99,5% было зафиксировано в присутствии как NaDDS, так и катионола при pH = 10.

Отмечено, что катионное поверхностно-активное вещество улучшает гидрофобность анионных поверхностно-активных веществ кармузина и красителей «солнечный закат» желтого, изменяя структуру поверхности пищевых красителей. Максимальное извлечение пищевого красителя 97,5% было получено для «солнечного заката желтого» при pH = 10.

pH раствора существенно влияет на эффективность извлечения сорбционных и электрофлотационных процессов, изменяя электростатические характеристики адсорбентов и компонентов сточных вод. Оптимальное значение pH практически во всех случаях оказалось равным 10.

Эффективность процесса сорбционной и электрофлотационной очистки сточных вод существенно зависит от pH, природы поверхностно-активных веществ, типа пищевого красителя и характеристик ионов тяжелых металлов.

Библиографический список

1. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью сорбентов / Ю. Н. Петухова, С. И. Ильина, А. В. Фурсенко, М. А. Носырев DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.6.64.254 // Евразийский Союз Ученых. 2019. № 7 (64). С. 51–54.
2. Economic and fast electro-flootation extraction of heavy metals from wastewater / I. Ali, T. Kon'kova, T. Z. Htay, et al. // Environ. Technol. 2022. Vol. 43. No. 25. P. 4019–4028.
3. Study of the adsorption of dyes suspended employed in the food industry by activated carbon based on many residual forestry / C. Valladares, J. F. Cruz, L. Matějová, et al. DOI: 10.1088/1742-6596/1173/1/012009 // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. S. 2019. Vol. 1173. Article No. 012009.
4. Gaydukova A., Kolesnikov V., Aung H. T. Electroflotosorption method for removing organic and inorganic impurities from wastewater. DOI: 10.1016/j.seppur.2021.118682 // Sep. Purif. Technol. 2021. Vol. 267. Article No. 118682.
5. Comparative studies on adsorption of dye and heavy metal ions from effluents using eco-friendly adsorbent / A. Thanarasu, K. Periyasamy, P. Manickam Periyaraman, et al. // Mater. Today Proc. 2021. Vol. 36. P. 775–781.
6. Recent advancements in the applications of activated carbon for the heavy metals and dyes removal / A. Gul, A. Ma'amor, N. G. Khaligh, N. M. Julkapli. DOI: 10.1016/j.cherd.2022.07.051 // Chem. Eng. Res. Des. 2022. Vol. 186. P. 276–299.
7. Adsorption of heavy metal ions by various low-cost adsorbents: a review / R. Chakraborty, A. Asthana, A. K. Singh, et al. DOI: 10.1080/03067319.2020.1722811 // Int. J. Environ. Anal. Chem. 2022. Vol. 102. No. 2. P. 342–379.
8. Повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения высокодисперсного углеродного материала в присутствии поверхностно-активных веществ из жидких техногенных отходов / В. А. Колесников, А. В. Десятов, А. Д. Милютина, А. В. Колесников // Теоретические основы химической технологии. 2018. Т. 52. № 1. С. 72–78.

9. Ibrahim D. T., Hameed H. M. A. Study hybrid treatment technologies using (MBBR with Electro-flotation) for textile wastewater // J. Phys.: Conf. Ser. 2021. Vol. 2114. No. 1. Article No. 012052.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ НЕМАТОЦИДНОГО ЭФФЕКТА И ДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**Н. С. Ивашикина, П. В. Христолюбов, О. Б. Жданова,
О. В. Часовских, Н. И. Катаргина, Д. В. Рассохин**
ФБГОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический
университет», *oliabio@yandex.ru*

В статье представлены данные о антнематоцидных свойствах эпифитных лишайников и о выживаемости сифаций при спонтанном заражении лабораторных животных. Продемонстрировано значительное снижение экстенсивности и интенсивности инвазии, а также результаты патанатомических исследований. Было установлено отсутствие изменений во внутренних органах (печени и почках) при длительном их скармливании.

Ключевые слова: эпифитные лишайники, лабораторные животные, сифациоз.

Лихенофлора Волго-Вятского региона насчитывает более 200 различных видов, часть из которых занесены в Красную книгу Кировской области. Некоторые лишайники, содержащие в слоевищах биологически активные вещества, произрастающие на территории Кировской области, можно использовать с целью получения биологически активных добавок для питания людей и кормления животных. Во время экспедиций в Нижегородской и Кировской области, установлено, что наиболее часто регистрируется на данной территории роды *Lecanora*, *Parmelia*, *Cetraria*, *Cornicularia*, *Ramalina*, и др. [1, 2]. Наибольшим видовым разнообразием отличается семейство *Cladoniaeaceae*, включающее более 700 таксонов. Известно, что на Крайнем Севере развитие животноводства развивалось медленнее вследствие недостатка солнечного света и кормов, в этой связи в некоторых северных странах заготовливали лишайники для корма животных (главным образом, кладонию и цетрарию). Также поморы, обитавшие на побережье Белого моря, традиционно складировали лишайники в лесах до выпадения снега вблизи деревень и сел, и прикрывали их валежником. По мере продвижения к югу (Нижегородская область, Татарстан, юг Кировской области) постепенно уменьшается площадь наземных лишайников и появляются надземные (эпифитные) [1, 3].

Надземные лишайники – эпифиты растут на коре и ветвях деревьев, реже встречаются на брёвнах, на деревянных заборах и старых постройках. Наиболее распространёнными эпифитами являются уснея, пармелия. Из раз-

личных представителей многочисленных родов лишайников хорошо изучены свойства цетрарии и кладонии, в то время как о лечебных свойствах эпифитных лишайников имеются весьма скучные сведения [3, 4].

Учитывая вышесказанное были проведены сравнительные исследования, наземных и эпифитных лишайников в соответствии санитарными правилами СанПиН 3.3686-21 «Безопасность работы с микроорганизмами III–IV групп патогенности (опасности) и возбудителями паразитарных болезней» использовали наиболее безопасные модели нематодозов – спонтанных сифициозах [5].

Были исследованы лабораторные беспородные белые мыши. Далее отбирали инвазированных сифициозами (по 7 голов), которым скармливали лишайники в течение месяца соотношении 1:3 с основным рационом и содержались в стандартных условиях. В течение месяца контрольные животные получали рекомендованные рационы кормления, и 4 раза (каждые 7 дней исследовались методом перианальных соскобов на сифициоз), далее они подвергались эвтаназии, после чего проводили патанатомическое исследование органов брюшной и грудной полости и отбирались фрагменты печени и почек для гистоисследований.

Обнаружено, что при применении наземных лишайников, при даче цетрарии через месяц не выявляли яйца сифиций в соскобе, а при даче кладонии в конце опыта интенсивность инвазии (ИИ) снизилась на 88%, а также при даче эпифитных лишайников отмечали снижение ИИ (85%). Экстенсивность инвазии (ЭИ) составила, соответственно 0%, 25%, и 5%, что обусловлено антипаразитарными и иммуностимулирующими свойствами лишайников [4, 6].

Таблица

**Результаты применения механообработанных лишайников
при спонтанном сифициозе у белых беспородных крыс**

Показатель	Цетрария	Кладония	Эпифитные лишайники
До начала опыта			
ИИ, яиц в п.з.	13,6 \pm 0,5	12,8 \pm 1,5	13,1 \pm 0,25
ЭИ, %	100	100	100
После скармливания лишайников			
ИИ, яиц в п.з.	0	1,5 \pm 0,05	2,6 \pm 0,25
ЭИ, %	0	25	5

Примечание: ИИ – интенсивность инвазии, ЭИ – экстенсивность инвазии.

Проведенные визуальные исследования внутренних органов при вскрытии видимых изменений не выявили. Гистоисследования также показали отсутствие нефротоксичности и гепатотоксического эффекта. Таким образом, БАВ эпифитных лишайников обладают антинематодными свойствами наземных лишайников. Полученные данные указывают также на возможное влияние компонентов лишайников на иммунный ответ и активацию систем организма понижающих выживаемость паразита.

Наличие антимикробных и противопаразитарных свойств у лишайников, являющихся частью кормов диких животных, позволяет автоматически снижать их инвазированность, что также необходимо учитывать при мониторинге инфекционных и инвазионных заболеваний в дикой природе [4, 6, 7].

Данные результаты подчеркивают важность изучения противонематодных и иммуномодулирующих свойств лишайников для оптимизации методов профилактики и лечения инвазионных болезней. Вышесказанное, наравне с совершенствованием диагностики и дезинфекции, несомненно, важно для разработки мер борьбы с гельминтозами и способствует обеспечению биобезопасности окружающей среды [8–10].

Библиографический список

- Шербакова А. И., Коптина А. В., Канарский А. В. Биологически активные вещества лишайников // Известия вузов. Лесной журнал. 2013. № 3. С. 7–16
2. Определитель растений Кировской области / под ред. И. А. Шабалиной. Ч. 1. Киров, 1975. 256 с.
3. Яцына А. П. Практикум по лишайникам. Витебск, 2012. 224 с.
4. Перспективы применения препаратов из лишайников в качестве адаптогенов и иммуностимуляторов / О. Б. Жданова, О. В. Часовских, Е. Б. Дунаева и др. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2023. С. 302–305.
5. Мартусевич А. К., Жданова О. Б. Информативность исследования свободного кристаллообразования при зоонозах на модели лабораторных животных // Известия вузов. Поволжский регион. 2006 № 1 (22). С. 30–39.
6. Изучение эффективности применения иммунотропных препаратов и фитотерапии при экспериментальных и спонтанных нематодозах / О. Б. Жданова, Д. В. Рассохин, А. И. Русских и др. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Киров, 23–25 апреля 2024 года). Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 280–283.
7. Патент № 2836810 С1 РФ, МПК A61K 31/365, A23K 10/00. Растительные ветеринарные композиции против нематод : заявл. 22.11.2023 : опубл. 24.03.2025 / Жданова О. Б., Часовских О. В.
8. Особенности цефеномийоза, вызванного *Serphenomyia ulrichii*, в Кировской области и некоторые вопросы его профилактики / И. И. Окулова, О. Б. Жданова, С. П. Ашихмин и др. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 7–6. С. 1003–1006.
9. Влияние возрастающих концентраций азота на аборигенную микрофлору полевых почв / А. Р. Гайфутдинова, Л. И. Домрачева, Н. В. Дроздова и др. // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы X Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2012. С. 138–141.
10. Кузюта С. Л., Жарнова В. В., Никитин В. Ф. Мероприятия по профилактике нематодозов у человека. DOI: 10.12737/20065 // Российский паразитологический журнал. 2016. Т. 3. № 2. С. 217–222.

ПИРОЛИЗ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ПОЛИЭТИЛЕНА И ПОЛИПРОПИЛЕНА

*М. П. Красновских¹, Г. А. Никифоров¹, Е. А. Курунова¹,
Н. А. Ожегов¹, И. Г. Мокрушин^{1, 2}*

¹ *Пермский государственный национальный исследовательский университет,*

² *Российский научный центр «Прикладная химия (ГИПХ)»,
krasnovskih@yandex.ru*

Рассмотрен медленный пиролиз полиэтилена высокого давления (ПВД), полипропилена (ПП) и их смеси при температуре 550 °С и давлении до 32 атм. С выходом до 90% получены жидкие продукты пиролиза с крайне низким содержанием угля, определены их характеристики: плотность, динамическая вязкость, температуры помутнения и замерзания.

Ключевые слова: пластиковые отходы, утилизация, полиэтилен высокого давления, полипропилен, медленный пиролиз, синхронный термический анализ.

Эффективная утилизация пластиковых отходов последние десятилетия стала предметом исследований во всём мире. Основными источниками образования промышленных и бытовых полимерных отходов выступают изделия из пластмасс, изготовленные преимущественно из полиолефинов, среди которых выделяются полиэтилен и полипропилен. Распространённой проблемой, связанной с пластиковыми отходами, является сортировка различных видов пластика и загрязнение потоков отходов [1]. Пиролиз под давлением является удобным способом переработки таких смешанных отходов. Продукты пиролиза можно использовать в качестве источника различных углеводородов, топлива, добавлять к минеральному сырью в процессах нефтепереработки.

Для проведения пиролиза полиолефинов с получением жидких продуктов ранее описаны различные реакторы и условия проведения процесса. Например, в работе [2] для пиролиза различных пластиков, в частности парафиновых: полиэтилена, полипропилена и сополимеров, был использован трубчатый реактор. В работе [3] рассмотрено совместное термическое превращение синтетических полимеров и ископаемых углей, в ряде описанных случаев отмечается увеличение конверсии и повышение выхода дистиллятных продуктов. Ранее авторами [4] предложен перспективный медленный пиролиз полиэтилена под давлением, при проведении которого снижается образование легких газов, при этом повышается доля средней и тяжелой фракций, подходящих для производства синтетического топлива и нефтепродуктов. В работе исследован процесс медленного пиролиза полиолефиновых полимеров и свойства получаемых жидких продуктов.

В потоках отходов могут находиться разные полимеры. Для получения представления о том, как различные типы пластика ведут себя в процессе

термической деструкции, мы использовали эталонные товарные гранулированные образцы полиэтилена высокого давления и полипропилена. Пиролиз проводился в герметичном стальном реакторе при температуре 550 °C в течение 60 мин и давлении до 32 атм. Объем загрузки сырья 20 г, выходы жидкого продукта до 90%. Термическое поведение продуктов пиролиза определяли с помощью синхронного термического анализа на приборе Netsch STA449 F1 Jupiter. Вязкость и плотность образцов определяли на приборе Вискозиметр Штабингера Anton Paar Stabinger Viscometer SVM 3000 при 20 °C. Определение температур помутнения и застывания проводили с помощью измерителя низкотемпературных показателей нефтепродуктов ИНПН «Кристалл». Качественный состав продуктов пиролиза определяли методом хроматомасс-спектрометрии на приборе Agilent Technolog, хроматограф 7890B GS System, масс-спектрометр 5977A MSD.

После пиролиза получены жидкие продукты во всех случаях по внешнему виду и запаху напоминающие природную нефть или нефтепродукты (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид продуктов пиролиза (слева направо) полиэтилена, смеси полиэтилена/полипропилена 50/50, полипропилена

В рамках получения жидкого топлива из полиолефинов предполагается, что пиролизный продукт будет состоять из множества индивидуальных веществ, поэтому дистилляция будет происходить в широком температурном интервале аналогично дистилляции природной нефти, что подтверждается данными термического анализа. На рисунке 2 приведены термограммы продукта пиролиза полиэтилена в инертной атмосфере аргона.

Стоит отметить, что испарение полученного продукта начинается уже при комнатной температуре, что свидетельствует о наличии легких компонентов. Полностью продукт испаряется до температуры 320 °C, что соответствует температурам фракционной перегонки от бензина до керосина и дизельного топлива.

Важным фактором при оценке потенциального применения полученных продуктов является исследование потребительских и технологических свойств, данные представлены в таблице.

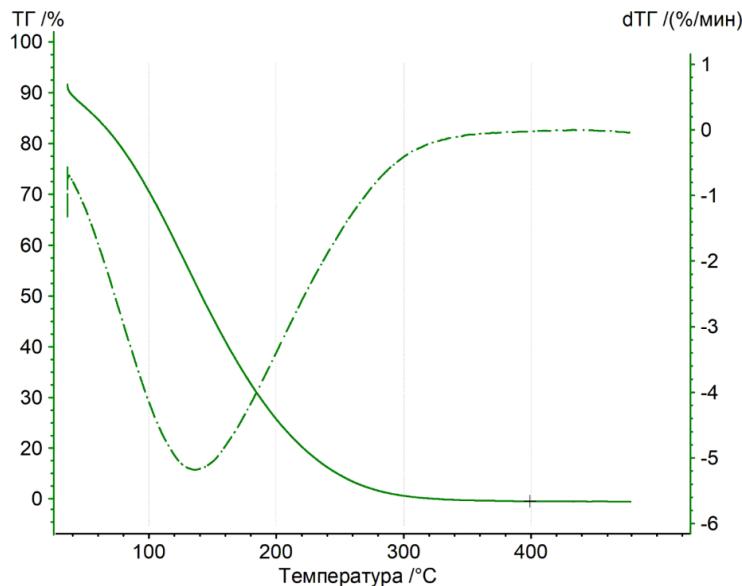


Рис. 2. Кривые ТГ и ДТГ продукта пиролиза полиэтилена

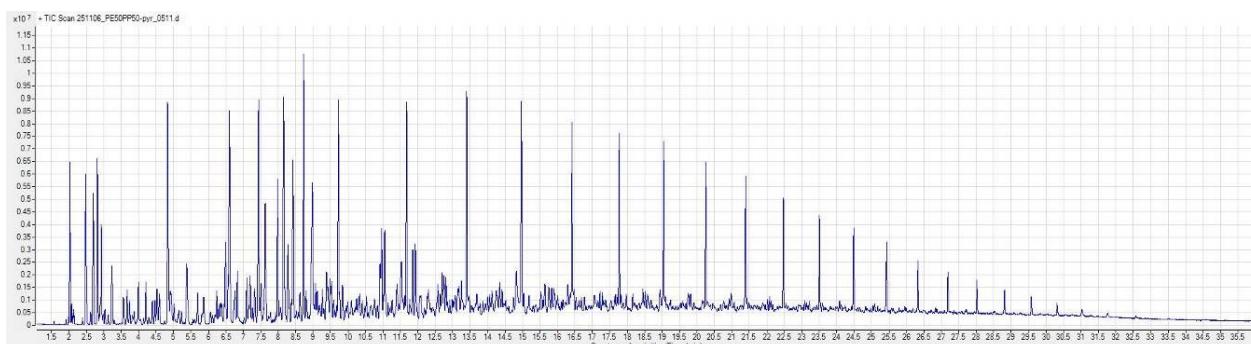


Рис. 3. Хроматограмма продукта пиролиза смеси полиэтилена/полипропилена 50/50

Таблица

Свойства продуктов пиролиза

Продукт пиролиза	Плотность, г/см ³	Динамическая вязкость, мПа*с	Температура помутнения, °C	Температуры застывания, °C
ПВД	0,79	1,15	-5	-25
Смеси ПВД/ПП 50/50	0,80	1,42	-14	-32
ПП	0,78	0,99	-47	> -60

Примечание: ПВД – полиэтилен высокого давления, ПП – полипропилен.

При сравнении свойств продуктов пиролиза полиэтилена и полипропиlena можно заключить, что, вероятно, в продуктах термодеструкции последнего ниже содержание линейных парафинов и альфа-олефинов, одновременно выше доля разветвленных парафинов, олефинов и диенов, что приводит к снижению температур помутнения и застывания.

Исследования, сравнивающие процессы термодеструкции полипропиlena и полиэтилена, указывают, что полипропилен разрушается при меньших

температурах, образуя большее количество жидких продуктов распада по сравнению с полиэтиленом [5]. На рисунке 3 приведена хроматограмма продукта, полученного при совместном пиролизе полиэтилена и полипропилена.

В отличие от продукта пиролиза полиэтилена, образец совместного пиролиза ПЭ и ПП закономерно содержит значительное количество разветвленных и более низкомолекулярных углеводородов.

Можно заключить, что полученные продукты пиролиза полиэтилена, полипропилена и их смеси обладают характеристиками, близкими к существующим промышленным нефтепродуктам, получаемым из минерального сырья. Техническое решение в виде медленного пиролиза перспективно для устранения сложностей, возникающих при совместной переработке отходов разных типов полиолефинов. Предлагаемый подход обеспечит существенное снижение экологической нагрузки путем рационального вовлечения полимерных отходов в производство новых материалов с повышенной ценностью, соответствуя современным экологическим и экономическим требованиям устойчивого развития.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант РНФ 25-24-00545, <https://rscf.ru/project/25-24-00545/>.

Библиографический список

1. Co-pyrolysis mechanism of PP and PET under steam atmosphere / K. Song, Y. Li, N. Wang, et al. DOI: 10.1016/j.jaap.2023.106033 // J. Anal. Appl. Pyrolysis. 2023. Vol. 173. Article No. 106033.
2. Lumped kinetic modeling of polypropylene and polyethylene co-pyrolysis in tubular reactors / A. E. Lechleitner, T. Schubert, W. Hofer, M. Lehner. DOI: 10.3390/pr9010034 // Processes. 2021. Vol. 9. Article No. 34.
3. Термические превращения смесей ископаемых углей и синтетических полимеров в жидкие углеводороды (обзор) / В. И. Шарыпов, Н. Г. Береговцова, Н. М. Иванченко, Б. Н. Кузнецов // Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Химия. 2014. Т. 7. № 3. С. 439–454.
4. Baseline data of low-density polyethylene continuous pyrolysis for liquid fuel manufacture / A. Ketov, V. Korotaev, N. Sliusar, et al. DOI: 10.3390/recycling7010002 // Recycling. 2022. Vol. 7. Article No. 2.
5. Пиролиз полиолефинов в высококипящих растворителях / Е. И. Андрейков, И. С. Амосова, Ю. А. Диковинкина, М. Г. Первова. DOI: 10.7868/S0023117713040026 // Химия твердого топлива. 2013. № 4. С. 19–28.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ
НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ
ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННОГО ГРИБА
*LAETIPORUS SULPHUREUS***

М. И. Летова¹, Д. В. Попыканов^{1, 2}

¹ФГБНУ Федеральный аграрный научный центр
Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, *t.mulina@list.ru*,

²ООО «Научно-исследовательский
инновационный центр Миколайн», *lfast@mail.ru*

Проведено исследование накопления биомассы изолята *Laetiporus sulphureus* NV на различных жидких питательных средах, разработанных на основе отвара стержней кукурузы с добавлением различных источников углерода и азота. Определено, что максимальный выход сухой биомассы достигается на среде с добавлением декстрозы и соевой муки. Работа демонстрирует потенциал использования растительных сельскохозяйственных отходов для снижения себестоимости культивирования биомассы гриба, что открывает перспективы для оптимизации технологий биотехнологического производства.

Ключевые слова: базидомицеты, растительные отходы, глубинное культивирование, БАД, мицелий.

В последнее время наблюдается растущий интерес к культивированию базидиальных грибов, которые служат источником белка и биологически активных веществ. Грибной белок обладает большей энергетической ценностью [1]. Трутовик серно-желтый (ТСЖ) является уникальным источником кислород-содержащих каротиноидов – ксантофиллов [2], синтез которых в других базидиальных грибах не выявлен [3].

Трутовик серно-желтый относится к классу: *Agaricomycetes*, порядку: *Polyporales*, семейству: *Fomitopsidaceae*, роду: *Laetiporus*, виду: *Laetiporus sulphureus*. По типу питания является ксилотрофом и встречается на лиственных деревьях. Образует однолетние плодовые тела ярко-желтого цвета. Имеет достаточно широкий ареал, распространен в Европе, Азии, Северной и Южной Африке [1].

Современные методы биотехнологии позволяют получать биомассу гриба и его метаболиты с помощью жидкостного (погружного) культивирования. Состав питательных сред и условия культивирования (освещенность, аэрация) значительно влияют на выход биомассы и метаболитов [4].

Согласно литературным данным, спиртовые и водные экстракти жидкого мицелия *L. sulphureus* не обладают токсическим действием. Биотестирование на простейших (*Paramecium caudatum* и *Tetrahymena pyriformis*) показало отсутствие токсического воздействия *L. sulphureus*, кроме того, экстракти

положительно влияли на рост числа инфузорий [5]. Данный факт свидетельствует о значительном потенциале использования вида в качестве источника биологически активных соединений. В настоящее время на основе *L. sulphureus* выпускается биологически активная добавка (БАД) «Летипорин». Данный БАД активно используется в Беларуси [6]. Исследования лекарственных свойств *L. sulphureus* свидетельствуют о значительном антиоксидантном потенциале вида, кроме того, гриб обладает антимикробным, антивирусным и радиопротекторным действием [7–10].

В связи с этим, оптимизация условий культивирования гриба является перспективным направлением для исследований. Анализ литературных данных свидетельствует, что наибольший выход биомассы гриба получен на питательной среде состава: капустный отвар и 2% – глюкозы. При добавлении соевой муки в среду культивирования биомасса увеличивается более, чем в 2 раза (табл. 1).

Проведено исследование накопления биомассы на четырех различных по составу жидких питательных средах. В работе использован изолят *L. sulphureus* NV из коллекции лаборатории биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого. Культура хранится в пробирках на скошенном сусло-агаре в бытовом холодильнике при температуре 4–6 °С. Пересев проводится 2 раза в год.

Изолят с пробирки высаживался на чашку Петри с сусло-агаром, культивирование проводили в термостате при температуре 26 °С в течение 10 суток. Мицелий отбирали пробочным сверлом диаметром 10 мм и инокулировали в жидкую среду.

Глубинное культивирование проводили в колбах Эrlenмейера объемом 250 мл, количество среды 100 мл в 3-х кратной аналитической повторности. Использовали 6 различных по составу сред на основе отвара стержней кукурузы, при этом добавляли:

1. Глюкозу – 1%.
2. Декстрозу – 1%.
3. Декстрозу – 2%.
4. Декстрозу – 2% и соевую муку – 4%.
5. Крахмал – 1%.
6. Дрожжевой экстракт – 1%.

Стерилизацию питательных сред проводили в течение 30 мин при давлении 1,1 атм.

Через 10 суток культивирования проводилась фильтрация, биомасса высушивалась до абсолютного сухого состояния (АСБ) (табл. 2).

В результате проведения погружного культивирования изолята *L. sulphureus* на различных жидких питательных средах было установлено, что наибольшее накопление биомассы наблюдается в среде на основе кукурузного отвара с добавлением декстрозы 2% и соевой муки 4% (2,42 г сухого мицелия в 100 мл среды).

Таблица 1

Величина биомассы трутовика серно-жёлтого в зависимости от состава питательной среды

Штамм	Состав среды	Биомасса, г/100 мл		Условия культивирования	Ссылка
		Сухая	Сырая		
<i>Laetiporus sulphureus</i>	Картофельный отвар (отвар из 200 г. картофеля) – 1 л, глюкоза – 20 г., agar – 20 г.	–	2,4	В колбах с объёмом среды 100 мл, на магнитных мешалках при скорости 148 об/мин. Температура культивирования 25 °C, в течение 10 суток	[11]
	2%-ный солодовый экстракт	–	1,3		
	Глюкоза – 2%, пептон – 0,2%, дрожжевой экстракт – 0,2%, KH_2PO_4 – 0,046%, K_2HPO_4 – 0,1%, MgSO_4 – 0,05%	–	8,26		
<i>Laetiporus sulphureus</i> var. <i>miniatus</i>	Мальтоза – 3%, соевый пептон – 0,2%, MnSO_4 – 2 мМ	–	8,1	–	[12]
<i>Laetiporus sulphureus</i> BKMF-1188	Соевая мука – 4,5%, NH_4NO_3 – 1,52%	3,47	–	На качалках со скоростью 250 об/мин, в течение 4 суток. Температура культивирования 25 °C	[13]
<i>Laetiporus sulphureus</i> BKM F-1286	Глюкоза – 20 г/л, соевая мука – 10 г/л, KH_2PO_4 – 2,5 г/л, MgSO_4 – 0,2 л, вода – 1 л	0,41	–	–	[14]
<i>Laetiporus sulphureus</i> BKM-F-4276D	Капустный отвар, 2% – глюкоза	1,34	–	В термостате при температуре 30 °C, в течение 20–22 суток	[15]
	Капустный отвар – 1 л, глюкоза – 2%, молочная сыворотка – 1%, Na_2SeO_3 – 15 мг/л	1,30	–		
	Капустный отвар – 1 л, глюкоза – 2%, молочная сыворотка – 2%, Na_2SeO_3 – 20 мг/л	1,29	–		
	Капустный отвар – 1 л, глюкоза – 2%, молочная сыворотка – 5%, Na_2SeO_3 – 25 мг/л	1,24	–		

Примечание: «–» – информация отсутствует.

Таблица 2

Биомасса сухого мицелия изолята *L. sulphureus* на различных жидких питательных средах объёмом 100 мл на 10 сутки

Состав среды на основе отвара стержней кукурузы	Условия культивирования	Повторность			Среднее значение, г	Стандартное отклонение
		1	2	3		
Глюкоза 1%	В течение 10 суток на лабораторной шейкере при скорости 150 об/мин при температуре 25 °С. Без аэрации	0,20	0,22	0,24	0,22	0,02
Декстроза 1%		0,22	0,19	0,20	0,20	0,02
Декстроза 2%		0,44	0,37	0,44	0,42	0,04
Декстроза 2% и соевая мука 4%		2,37	2,47	2,41	2,42	0,05
Крахмал 1%		0,36	0,46	0,46	0,43	0,06
Дрожжевой экстракт 1%		0,38	0,38	0,30	0,35	0,05

В ходе проведения работы установлено, что отвар стержней кукурузы является недостаточно сбалансированным субстратом для активного роста *L. sulphureus*. Добавление в среду соевой муки значительно увеличило выход сухой биомассы гриба (в 7 раз). Данные соответствуют опубликованным исследованиям на других штаммах *L. sulphureus* (табл. 1). Оптимизация питательной среды для культивирования включает также сведения по режимам аэрации и освещенности, так как в природе гриб произрастает в аэробных условиях, а освещенность стимулирует выработку каротиноидов.

Разработка питательной среды на основе растительных сельскохозяйственных отходов позволит снизить производственные затраты на культивирование, обеспечив выход биологически активной биомассы *L. sulphureus* с низкой себестоимостью.

Библиографический список

1. Дудка И. А. Грибы. Рипол Классик. Киев : Наукова Думка, 1987. С. 364–377.
2. *Laetiporus sulphureus* – chemical composition and medicinal value / K. Sułkowska-Ziaja, B. Muszyńska, A. Gawalska, K. Sałaciak. DOI: 10.24326/asphc.2018.1.8 // Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus. 2018. Vol. 17. No. 1. P. 89–98.
3. Глубинное культивирование серно-желтого трутовика с целью получения белковой биомассы / О. В. Киселева, П. В. Миронов, Ю. А. Литовка, С. В. Терентий // Химия растительного сырья. 2011. № 4. С. 337–338.
4. Попыканов Д. В. Перспективы культивирования базидиального гриба *Laetiporus sulphureus* в целях получения лекарственных препаратов // Современное состояние, проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса : сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной году науки и технологий Российской Федерации, 100-летию Республики Коми, Дню работников сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности, неделе агропромышленного комплекса. Киров : Изд-во МЦИТО, 2021. С. 108–112.
5. Исследование токсических свойств штамма LS 1–06 *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill. и оценка перспектив его использования / Т. И. Громовых, И. Е. Иванова, А. В. Шнырева и др. // Проблемы медицинской микологии. 2013. Т. 15. № 4. С. 63–69.

6. Бабицкая В. Г., Щерба В. В., Гвоздикова Т. С. Новые биологически активные добавки на основе глубинного мицелия базидиальных грибов // Успехи медицинской микологии. 2006. Т. 7. С. 178–180.
7. Пат. 2 475 530. РФ, МПК C12N 1/14 (2006.01), A61K 36/06 (2006.01). Ингибитор репродукции вируса гриппа А на основе экстракта базидиального гриба *Laetiporus sulphureus* : № 2011110826/10 : заявл. 22.03.2011 : опубл. 20.02.2013 / Теплякова Т. В., Косогова Т. А., Мазуркова Н. А., Шишкина Л. Н., Кабанов А. С., Пучкова Л. И., Сергеев А. Н., 10 с.
8. Противовирусная активность экстрактов мицелия базидиального гриба *Laetiporus sulphureus* / З. Б. Квачева, А. Н. Капич, В. И. Вотяков и др. // Успехи медицинской микологии. 2005. Т. 5. С. 271–273.
9. Антимикробные свойства представителей вида *Laetiporus sulphureus* (fr.) bond et Sing / О. В. Тихонова, Е. Ю. Ершова, Л. М. Лурье и др. // Успехи медицинской микологии. 2003. Т. 1. С. 313–314.
10. Антиоксидантные, радиопротекторные и противовирусные свойства экстрактов мицелия гриба *Laetiporus sulphureus* / А. Н. Капич, Т. С. Гвоздкова, З. Б. Квачева и др. // Успехи медицинской микологии. 2004. Т. 3. С. 146–147.
11. *In vitro* cultivation of *Laetiporus sulphureus* and evaluation of its antimicrobial properties / G. Fidler, G. Popa, A. Butu, et al. // Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies. 2013. Vol. 17. P. 11–15.
12. Production of extracellular polysaccharides by submerged mycelial culture of *Laetiporus sulphureus* var. *miniatus* and their insulinotropic properties / H. S. Hwang, S. H. Lee, Y. M. Baek, et al. DOI: 10.1007/s00253-007-1329-6 // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2008. Vol. 78. P. 419–429.
13. Пат. 2 584 602. РФ, МПК C12N 1/14 (2006.01); C12P 7/40 (2006.01); A61K 36/06 (2006.01); C12R 1/645 (2006.01). Штамм гриба *Laetiporus sulphureus* – продуцент биологически активных веществ : № 2014110872/10 : заявл. 21.03.2014 : опубл. 20.05.2016 / Войно Л. И., Молчанова Е. Л., Билялова А. С., Шипарева Д. Г. 6 с.
14. Пат. 2 656 143. РФ, МПК C12N 1/14 (2006.01); C12R 1/645 (2006.01). Штамм базидиомицета *Laetiporus sulphureus* ВКПМ F-1286 – продуцент липидов : № 2016151254 : заявл. 26.12.2016 : опубл. 31.05.2018 / Винокуров В. А., Барков А. В., Кожевникова Е. Ю., Котелев М. С., Спицына Е. А., Шарипова Д. А., Лысенко С. В., Кардашев С. В. 7 с.
15. Пат. 2 473 679. РФ, МПК C12N 1/14 (2006.01); A61K 36/07 (2006.01). Способ получения селенсодержащего препарата биомассы *Laetiporus sulphureus* MZ-22 : № 2011115880/10 : заявл. 22.04.2011 : опубл. 27.01.2013 / Громовых Т. И., Салохина О. Э., Жаринов А. И., Иванова И. Е., Сидаков Т. А. 16 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИЦЕЛИЯ ГРИБА *LENTINULA EDODES* (ШИИТАКЕ)

***A. С. Мягкова, Г. В. Песцов, А. В. Третьякова, О. В. Прокудина,
В. С. Воронцов***

***ФГБОУ ВО Тульский государственный педагогический университет
имени Л. Н. Толстого, info@tolstovsky.ru***

В статье рассматривается использование целлюлозосодержащих отходов в качестве питательных субстратов для культивирования мицелия гриба *Lentinula edodes* (шиитаке). Для этого подбирали состав субстратов из раз-

личных отходов сельского хозяйства. Вместо стеклянной посуды использовали термостойкие полиэтиленовые пакеты (рукава). В результате было установлено, что для культивирования мицелия гриба шиитаке наилучшим является субстрат на основе соломы с добавлением зерновой пивной дробины. На данном субстрате отмечали наиболее активный рост и развитие мицелия.

Ключевые слова: целлюлозосодержащие отходы, культивирование, мицелий, *Lentinula edodes*, шиитаке.

Выращивание грибов на искусственных субстратах в контролируемых условиях обладает рядом преимуществ, включая возможность получения и сбора урожая в любое время года. Развитию этого направления способствует простота выбора и использования производственных пустующих помещений и высокая интенсивность культивирования. Технологии, связанные с выращиванием грибов на искусственных субстратах, уже описаны, однако вопрос улучшения методов промышленного выращивания грибов с использованием органических добавок и биопрепаратов остается недостаточно исследованным [1].

Гриб *Lentinula edodes* (шиитаке), разрушающий древесину, является одним из наиболее перспективных объектов для исследований и дальнейшего использования благодаря своей высокой пищевой ценности и отличным вкусовым качествам плодовых тел. Кроме того, он содержит уникальный набор биологически активных веществ, которые могут быть использованы для разработки медицинских препаратов. Изучение скорости роста вегетативного мицелия и особенностей плодоношения необходимо для определения различий между штаммами *L. edodes*, а также для выявления новых высокопродуктивных штаммов. Это особенно актуально для промышленного культивирования шиитаке в России [2].

Направление интенсивного выращивания шиитаке с использованием стерильной технологии приготовления субстрата активно развивается. Качество и состав субстрата, применяемого для выращивания плодовых тел гриба, является ключевым фактором, поскольку оно на 80% влияет на урожайность шиитаке и экономическую эффективность получаемого продукта [3].

Для выращивания шиитаке используют субстраты различного состава. В большинстве случаев в качестве основного субстрата применяют лигноцеллюлозные отходы, например дубовые опилки, ячменную солому, кукурузные початки, кукурузные стебли, рисовые отруби, прицветники ананаса, кофейную шелуху, жмых и листья сахарного тростника. Ежегодное производство данных отходов в мире составляет около 600 миллионов тонн, что открывает значительные возможности для культивирования мицелия и получения плодовых тел гриба шиитаке [4].

Исследование проводили в микробиологической лаборатории Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого. Культивирование мицелия гриба *Lentinula edodes* проводили на субстратах раз-

личного состава в термостойких пластиковых пакетах (рукавах). В качестве основы для субстратов использовали дубовые опилки, солому злаковых культур, створки гречихи. В качестве питательной добавки к субстратам также использовали зерновую пивную дробину и пшеничные отруби. Предварительно основы для субстратов вымачивали в воде в течение суток, затем добавляли питательные добавки и смешивали: створки гречихи и зерновую пивную дробину (СГ+Др), солому злаковых культур и зерновую пивную дробину (С+Др), дубовые опилки и зерновую пивную дробину (Оп+Др), дубовые опилки и отруби (Оп+От). Полученные субстраты помещали в термостойкие пластиковые пакеты (рукава) и стерилизовали в автоклаве ВК-75-1 при 1,2 атм в течение 90 мин. После стерилизации рукава с субстратами переносили в ламинарный бокс БАВнп-01-«Ламинар-С» и инокулировали их чистой культурой гриба *Lentinula edodes*. Культивирование проводили в течение 80-ти суток при постоянной температуре 24°C. Степень роста и развития мицелия оценивали визуально в баллах, где 1 балл – малая степень колонизации, мицелий стелющийся, паутинистый, 2 балла – небольшая, мицелий паутинистый, не плотный, 3 балла – средняя, мицелий приподнятый, воздушный, 4 балла – высокая, мицелий слегка приподнятый, стелющийся, плотный, 5 баллов – полная колонизация, мицелий плотный, покрывает всю поверхность субстрата. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Изучение роста мицелия гриба *L. edodes* на субстратах в пакетах

Субстрат	Качество мицелия, балл	Время полного зараживания субстрата, сутки	Образование примордиев, сут
СГ+Др*	3	38	66
С+Др	4	30	61
Оп+Др	3	41	70
Оп+От	4	44	72

Примечание: обозначения субстратов см. в тексте.

Анализируя данные, представленные в таблице 1, можно сделать вывод, что для культивирования мицелия гриба *Lentinula edodes* лучшим субстратом является солома злаковых культур с добавлением зерновой пивной дробины. На данном субстрате мицелий шиитаке развивался активно и его качество было высоким, образование примордиев началось раньше, чем на остальных субстратах. Несколько хуже мицелий гриба *L. edodes* развивался на створках гречихи с добавлением дробины, а качество мицелия было средним (мицелий был стелющийся и приподнятый). Медленнее всего мицелий шиитаке развивался на дубовых опилках с разными добавками. При этом мицелий был плотным и воздушным.

Таким образом, использование целлюлозосодержащих отходов с добавками для культивирования мицелия гриба *L. edodes* в термостойких пластиковых пакетах (рукавах) является перспективным. Дальнейшие исследования могут быть направлены на подбор других целлюлозосодержащих отходов, а также питательных добавок.

Библиографический список

1. Курбанова В. В., Козлова Г. Г. Выращивание плодовых тел лентинулы съедобной *Lentinula edodes* Berk и вешенки обыкновенной *Pleurotus ostreatus* с использованием биопрепаратов // Инновационная наука. 2023. № 11–1. С. 19–22.
2. Ветчинкина Е. П., Никитина В. Е. Морфологические особенности роста мицелия и плодоношения некоторых штаммов съедобного ксилотрофного базидиомицета *Lentinus edodes* // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2007. Т. 9. № 4. С. 1085–1090.
3. Инновационные технологии и технические средства для промышленного производства культивируемых грибов : практ. пособие / Н. Л. Девочкина, С. В. Мукиенко, В. Г. Селиванов, А. А. Рубцов. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 80 с.
4. Cultivation of shiitake mushroom, *Lentinula edodes*, in several lignocellulosic materials originating from the subtropic / D. Salmones, G. Mata, L. Ma. Ramos, K. N. Waliszewski // Agronomie. 1999. Vol. 19. P. 13–19.

ВЛИЯНИЕ НЕКОНДИЦИОННОГО КОРМА ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ НА РАДИАЛЬНЫЙ РОСТ МИЦЕЛИЯ ГРИБА *HERICIUM ERINACEUS*

O. В. Прокудина, Г. В. Песцов, А. В. Третьякова, А. С. Мягкова
ФГБОУ ВО Тульский государственный педагогический университет
имени Л. Н. Толстого, info@tolstovsky.ru

В работе изучали возможность использования некондиционного рыбного корма в качестве питательной добавки к субстратам для выращивания мицелия гриба *Hericium erinaceus*. В результате проведенных экспериментов удалось установить, что наилучший рост мицелия гриба *H. erinaceus* был достигнут при добавлении в субстрат из створок гречихи некондиционного корма в количестве 50%.

Ключевые слова: ежовик гребенчатый, рыбный корм, субстраты, утилизация, *Hericium erinaceus*.

Рост количества предприятий, которые занимаются разведением аквакультуры, привел к росту спроса на корма для рыбы, которые играют ключевую роль в рентабельности таких предприятий, так как от качества корма напрямую зависит количество и жизнеспособность рыбы. Однако со временем значительная часть кормов становится некондиционной и подлежит утилизации. Это связано с нарушениями при транспортировке и хранении кормов [1].

Одной из наиболее распространенных причин порчи кормов является их контаминация насекомыми и микроорганизмами. Это связано с нарушениями условий хранения (несоблюдением необходимой температуры и влажности). Патогенные микроорганизмы и насекомые, которые в результате неправильного хранения попали в корма, активно растут, развиваются и выделяют метаболиты, которые могут негативно повлиять на жизнеспособность рыбы. Последствиями употребления рыбой таких кормов могут стать снижение

привеса и конверсии корма, нарушение работы иммунной и репродуктивной системы, а также повышенная смертность рыбы. Поэтому такие корма являются некондиционными и подлежат утилизации [2, 3].

Основными компонентами, входящими в состав корма для аквакультуры, являются рыбная мука и рыбий жир. Также для замены рыбной муки могут использоваться продукты переработки наземных сельскохозяйственных растений (шроты масличных культур, белковые концентраты, отходы пищевой промышленности и др.), а для замены рыбьего жира могут использоваться растительные масла (пальмовое, рапсовое, подсолнечное и др.) [4]. Благодаря такому составу рыбные корма являются перспективной добавкой для выращивания съедобного гриба *Hericium erinaceus* (ежовик гребенчатый).

Hericium erinaceus (ежовик гребенчатый) – съедобный гриб, относится к семейству *Hericiaceae*, порядку *Russulales*, классу *Agaricomycete* и типу *Basidiomycota*. Широко распространен в странах Восточной Азии, включая Японию и Китай. *H. erinaceus* используется в традиционной медицине в странах Восточной Азии, так как его плодовые тела содержат различные биологически активные вещества, обладающие антиоксидантными и противомикробными свойствами. Также наблюдается интерес к нейропротекторным и нейрорегенеративным свойствам *H. erinaceus*. Это связано с наличием полисахаридов, фенольных кислот, гериценонов, эринацинов в мицелии и плодовых телах *H. erinaceus* [5, 6].

Для выращивания ежовика чаще всего используют солому злаковых культур, а также кукурузную, соевую и рапсовую солому. Также возможно использование опилок лиственных пород деревьев. В качестве питательной добавки к субстратам обычно используют пшеничные отруби [7]. В статье предлагается использовать некондиционный рыбный корм для форели 41/24 фракции 6 мм в качестве добавки для выращивания мицелия гриба *H. erinaceus*. Его состав характеризуется наличием муки рыбной, жира рыбьего, масла растительного, муки пшеничной, глютена кукурузного, глютена пшеничного, изолята соевого белка, гемоглобина, витаминно-минерального премикса для форели, астаксантина.

Работа проводилась в микробиологической лаборатории и на кафедре биологии и технологий живых систем Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого. В качестве субстратов использовали створки гречихи, к ним добавляли 25%, 50%, 75% некондиционного корма для аквакультуры. В качестве контроля использовали створки гречихи без добавления корма. Створки гречихи и гранулы рыбного корма предварительно замачивали в воде на сутки. После этого гранулы перетирали в ступке до пастообразной структуры и смешивали со створками гречихи. Полученные смеси в соответствии с выбранными концентрациями распределяли по чашкам Петри и стерилизовали в автоклаве при 1,3 атм в течение 120 мин. Затем чашки Петри инокулировали мицелием гриба *H. erinaceus* и культивировали в термостате при температуре 24 °С. Замеры радиального роста проводили на 10-е,

15-е и 20-е сутки. Повторность опыта пятикратная. Полученные результаты математически обрабатывали по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}},$$

где: S – среднее квадратичное отклонение; X_i – значение признака; \bar{X} – среднее арифметическое; n – количество значений в выборке.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1. По результатам проведенной научно-исследовательской работы удалось установить, что наиболее подходящей концентрацией рыбного корма в субстрате из створок гречихи для культивирования мицелия гриба *H. erinaceus* является 50%. Средний линейный рост мицелия на 20-е сутки составил 77,2 мм, что на 87% превышало этот показатель в контроле. При этом мицелий был плотным, слегка приподнятым, что свидетельствует о его хорошем качестве. Хуже всего мицелий гриба ежовика развивался на субстрате с добавлением 75% рыбного корма, линейный рост в среднем достигал 28,6 мм, что уступает результатам в контроле на 31%. Также стоит отметить, что мицелий был воздушным, но густым. Скорее всего это связано с недостатком кислорода в субстрате из-за слишком большого количества пастообразного рыбного корма, что отрицательно сказалось на колонизации субстрата мицелием.

Таблица 1

Радиальный рост мицелия *H. erinaceus*, мм, на субстратах из створок гречихи с добавлением рыбного корма

Субстрат	Радиальный рост мицелия, мм			% к контролю
	10 сутки	15 сутки	20 сутки	
Створки гречихи (контроль)	17,0±1,58	23,8±2,28	41,2±3,83	100
Створки гречихи + 25% корма	26,0±2,24	38,0±3,24	51,6±4,22	125
Створки гречихи + 50% корма	37,2±3,27	59,2±4,92	77,2±6,18	187
Створки гречихи + 75% корма	13,0±1,22	20,6±1,95	28,6±2,30	69

Таким образом, некондиционный корм для аквакультуры может быть использован для культивирования мицелия гриба *H. erinaceus*, однако необходимо подбирать наиболее подходящую его концентрацию под каждую целлюлозосодержащую основу субстрата.

Библиографический список

1. Ganesh G., Rajanna N. Storage and handling techniques for fish and prawn feed // Just agriculture. 2024. Vol. 4. No. 5. Article No. 53.
2. Contamination of fish feed with pathogenic organisms: implications on fish diseases in aquaculture systems / R. L. Diyie, M. Y. Osei-Atweneboana, E. Armah, et al. DOI: 10.47881/283.967x // Ghana Journal of Science, Technology and Development. 2024. Vol. 9. No. 2. P. 77–94.
3. Marijani E., Kigadye E., Okoth, S. Occurrence of fungi and mycotoxins in fish feeds and their impact on fish health. DOI: 10.1155/2019/6743065 // Int. J. Microbiol. 2019. Vol. 2019. Article No. 6743065.

4. Состояние и перспективы использования растительного сырья в кормах для аквакультуры (обзор) / В. И. Пахомов, В. Ф. Хлыстунов, С. В. Брагинец, О. Н. Бахчевников. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.281-294 // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 (3). С. 281–294.

5. Docherty S., Doughty F. L., Smith E. F. The acute and chronic effects of lion's mane mushroom supplementation on cognitive function, stress and mood in young adults: a double-blind, parallel groups, pilot study. DOI: 10.3390/nu15224842 // Nutrients. 2023. Vol. 15. No. 22. Article No. 4842.

6. Optimal conditions for mycelial growth of medicinal mushrooms belonging to the genus *Hericium* / D. Gonkhom, T. Luangharn, K. D. Hyde, et al. DOI: 10.1007/s11557-022-01829-6 // Mycol. Progress. 2022. Vol. 21. Article No. 82.

7. The agronomic traits differences in *Hericium erinaceus* cultivated with different straw formulations by replacing wood with straw / Z. Lu, Y. Yang, S. Hu, et al. // Horticulturae. 2025. Vol. 11. No. 10. Article No. 1220.

ВЫРАЩИВАНИЕ МИЦЕЛИЯ СЪЕДОБНЫХ ГРИБОВ НА СУБСТРАТАХ С ДОБАВЛЕНИЕМ КОРМА ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ

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

При работе с аквакультурой, одним из отходов является некондиционный корм. В статье изучали возможность использования некондиционного рыбного корма для выращивания мицелия различных съедобных грибов. Для этого использовали мицелий грибов видов *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная), *Flammulina velutipes* (эноки, зимний опенок), *Lentinula edodes* (шиитаке), *Hericium erinaceus* (ежовик гребенчатый). Отмечали наличие или отсутствие роста мицелия на субстратах.

Ключевые слова: съедобные грибы, эноки, субстраты, шиитаке, корм для аквакультуры, вешенка обыкновенная, ежовик гребенчатый.

На предприятиях по выращиванию аквакультуры одним из источников образования отходов является некондиционный рыбный корм. Качество кормов для аквакультуры напрямую влияет на жизнеспособность и качество рыбы [1]. В процессе изготовления кормов производители должны обращать внимание на рецептуру корма, размер гранул, а также на методики процесса гранулирования кормов. Однако немаловажным фактором являются и способы хранения готовых кормов [2]. Некондиционные, в том числе и просроченные, рыбные корма являются непригодными для кормления аквакультуры. Чаще всего это связано с повреждением гранул, развитием патогенных микроорганизмов на кормах, окислением органических соединений, входящих в состав кормов. Такие нарушения приводят к ухудшению вкусовых качеств и отрицательному влиянию на жизнеспособность аквакультуры при использовании данных кормов в пищу рыбе [3].

Существуют способы переработки некондиционных кормов, например, получение биогаза. Для этого гранулы корма помещают в биогазовую установку вместе с навозом или другими органическими отходами [4]. Также для утилизации непригодных для кормления рыбы кормов можно использовать методы сжигания и складирования, однако, они неэкологичны, поэтому необходимо разрабатывать иные способы утилизации [5]. Одним из таких способов может быть выращивание мицелия съедобных грибов на субстратах с некондиционными кормами.

Мицелий съедобных грибов выращивают на различных питательных субстратах, которые обладают всеми необходимыми биологически активными веществами, необходимыми для его активного роста и развития. Чаще всего используют лузгу подсолнечника, створки гречихи, опилки различных пород деревьев, размолотые стержни початков кукурузы и др. В качестве питательных добавок вносят отруби, зерновую пивную дробину, зерно [6].

В работе предлагается использовать некондиционные корма для аквакультуры в качестве добавки к субстратам для выращивания мицелия съедобных грибов.

Исследование проводили в микробиологической лаборатории и на кафедре биологии и технологий живых систем Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого. Использовали мицелий съедобных грибов *Pleurotus ostreatus*, *Flammulina velutipes*, *Lentinula edodes*, *Hericium erinaceus*. В качестве субстрата применяли створки гречихи с добавлением некондиционного рыбного корма для форели 41/24 фракции 6 мм. Состав данного корма включает муку рыбную, жир рыбий, масло растительное, муку пшеничную, глютен кукурузный, глютен пшеничный, изолят соевого белка, гемоглобин, витаминно-минеральный премикс для форели, астаксантин.

Для подготовки субстрата использовали три способа. В первом способе (1) смешивали сухие компоненты субстрата (створки гречихи, гранулы корма) в соотношении 3:1 и увлажняли. Второй способ (2) включал отдельное замачивание створок гречихи и гранул корма в воде в течение суток и последующее их смешивание в соотношении 3:1. Третий способ (3) заключался в том, что каждый компонент субстрата замачивали отдельно в течение суток, после этого замоченные гранулы рыбного корма измельчали в ступке до пастообразной структуры и смешивали с замоченными створками гречихи в соотношении 1:3. Полученные субстраты раскладывали в чашки Петри и стерилизовали в автоклаве при 1,2 атм в течение 90 мин. Стерильные чашки Петри инокулировали мицелием изучаемых видов грибов и культивировали в термостате при температуре 24 °С. На 10 сутки отмечали наличие или отсутствие роста мицелия съедобных грибов.

В результате научно-исследовательской работы удалось установить, что для выращивания видов съедобных грибов *P. ostreatus* и *L. edodes*, *F. velutipes* некондиционный рыбный корм не подходит, так как на 10 сутки при любом методе подготовки субстрата мицелий не образовывался. Развитие мицелия

отмечали только у гриба *H. erinaceus*. Мицелий образовывался при использовании способов подготовки 1 и 2. При этом стоит отметить качество мицелия. При выращивании на субстрате, где створки и гранулы корма замачивали в течение суток, а затем смешивали (2), мицелий был паутинистым, редким, скорее всего это связано с тем, что гранулы корма для аквакультуры слишком плотные для переработки их мицелием. Вариант 3, где гранулы корма после замачивания подвергали перетиранию в ступке и смешиванию со створками гречихи, является наиболее подходящим для культивирования мицелия гриба *H. erinaceus*, мицелий был плотным, стелющимся, что говорит о хорошем его качестве.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование некондиционного корма для аквакультуры в качестве добавки к субстратам для выращивания съедобных грибов имеет практическое значение, однако необходимо проводить дополнительные исследования для определения наиболее подходящего метода подготовки такого субстрата для культивирования различных видов съедобных грибов.

Библиографический список

1. Bioconversion and performance of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) in the recovery of nutrients from expired fish feeds / D. P. Rodrigues, R. Calado, M. Pinho, et al. DOI: 10.1016/j.wasman.2022.01.035 // Waste Manag. 2022. Vol. 141. P. 183–193.
2. Оборудование для производства кормов для рыб [Электронный ресурс]. – URL : <https://agroserver.ru/articles/7699.htm> (дата обращения: 20.10.2025).
3. Karatarakis N. J. Common problems with aquafeeds and feeding in marine farms in Greece // Mediterranean fish nutrition / Eds. D. Montero, B. Basurco, M. Alexis, M. Izquierdo Zaragoza : CIHEAM, 2005. P. 155–158.
4. Anaerobic digestion of agricultural waste for biogas production and sustainable bioenergy recovery: a review / A. Alengebawy, Y. Ran, A. I. Osman, et al. DOI: 10.1007/s10311-024-01789-1 // Environ. Chem. Lett. 2024. Vol. 22. P. 2641–2668.
5. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» // СПС КонсультантПлюс
6. Гарibova L. Выращивание грибов. М. : Вече, 2005. 96 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА КАЛЬЦИЕВОЙ СЕЛИТРЫ ДЛЯ РАСКИСЛЕНИЯ ВЕРХОВОГО ТОРФА

H. B. Сырчина¹, С. А. Кропачева²

¹ Вятский государственный университет, pvms1956@mail.ru,

² МБОУ СОШ № 14 города Кирова, kropacheva.maria@gmail.com

В статье приведены экспериментальные данные, свидетельствующие о возможности и целесообразности использования побочных продуктов производства кальциевой селитры, содержащих карбонат кальция, в качестве реагентов для раскисления верхового торфа.

Ключевые слова: побочные продукты производства, кек, удобрения, кальциевая селитра, карбонат кальция, верховой торф, раскисление торфа, питательные грунты.

Торф входит в число важнейших полезных ископаемых Кировской области. По имеющимся оценкам, балансовые запасы торфа категорий А+В+С₁, сосредоточенные на 627 месторождениях площадью более 10 га каждое, достигают 382,655 млн т. Промышленной разработке подлежат 463 месторождения [1]. На протяжении многих лет основную долю добываемого в области торфа использовали в качестве местного энергетического сырья (топлива) для производства тепла и электроэнергии. В последние десятилетия спрос на торфяное топливо существенно сократился, что привело к падению объемов его добычи [2]. Для сохранения торфяной промышленности в области необходимы поиск и освоение новых направлений переработки торфа в востребованные на рынке продукты. Одним из таких направлений может стать производство органоминеральных удобрений и питательных грунтов для растений [3, 4]. Согласно имеющимся оценкам, верховой торф низкой степени разложения (ВТ) остается незаменимым субстратом в системах современного беспочвенного растениеводства. Альтернативных торфу субстратов, с точки зрения качества, доступности, универсальности и экологической безопасности, не существует [5]. Торф отличается уникальным сочетанием свойств, позволяющих ему удерживать значительное количество воды, воздуха и включаемых в состав субстратов макро- и микроэлементов. Низкий уровень рН и бедный минеральный состав натурального торфа облегчают разработку специализированных питательных сред для широкого спектра растений [6].

Поскольку для нормального развития большинства плодово-ягодных, овощных и декоративных культур требуется слабокислый или нейтральный субстрат, кислый верховой торф подвергают раскислению (химической нейтрализации избыточной кислотности). В качестве раскислителей используют щелочные материалы (гашеную и негашеную известь, известняковую и доломитовую муку, золу растений). Соответствующие материалы могут иметь натуральное происхождение или образовываться в качестве побочных продуктов (ПП) некоторых производств, в частности, производства удобрений. Включение ПП в дальнейшую переработку с целью получения товарных продуктов, имеет большое экономическое и природоохранное значение [7, 8].

Цель настоящей работы – изучить возможность и целесообразность использования побочных продуктов производства кальциевой селитры, основным компонентом которых является карбонат кальция, для раскисления верхового торфа, предназначенного для производства растительных субстратов.

В качестве объектов исследования применяли кислый верховой торф, предоставленный крупнейшим в РФ торфодобывающим предприятием – АО «ВяткаТорф» и ПП производства кальциевой селитры (первичный кек), предоставленный одним из крупнейших в России производителей минераль-

ных удобрений – Филиалом «КЧХК» АО «ОХК «Уралхим» в городе Кирово-Чепецке.

В таблицах 1 и 2 приведены основные характеристики образцов ВТ и первичного кека (ПК), используемых для проведения исследований. Согласно результатам анализа, свойства образца ВТ, используемого для проведения дальнейших исследований, полностью соответствовали требованиям ГОСТ Р 51213-98.

Таблица 1

Свойства верхового торфа

Показатель	Метод испытания	Определенное значение	Требования ГОСТ Р 51213-98
Цвет	Органолептический	Светло-коричневый	Светло-коричневый
Запах		Без запаха плесени	Без запаха плесени
Массовая доля влаги, %	ГОСТ 11305	49,0±0,5	45–60
Зольность, %, не более	ГОСТ 11306	5,3±0,2	10
pH солевой суспензии (pH _{KCl})	ГОСТ 11623	2,8±0,1	2,5–3,5
pH водной суспензии (pH _{H₂O})		3,8±0,1	3,0–4,1
Удельная электропроводность, мСм/см, не более	ГОСТ 27894.9	0,12±0,02	0,18
Засоренность древесными включениями (куски размером свыше 25 мм), %, не более	ГОСТ 11130	0	1
Плотность насыпная (на сухое вещество), кг/м ³ , не более	ГОСТ 24701	120±10	150
Влагоемкость (на сухое вещество), кг/кг, не менее	ГОСТ 24160-2014	7,5±0,5	6
Водопоглащаемость, %	ГОСТ 24160-2014	2,8±0,2	Не регламентируется
Фракционный состав (содержание частиц размером менее 3 мм), %, не более	ГОСТ Р 51213-98	15,6±3,8	30

Таблица 2

Свойства первичного кека

Показатель	Метод определения	Значение показателя
Влажность, %	Гравиметрический (высушивание навески при 102±2 °C)	19,4±1,2
pH водной суспензии 1:5	Ионометрический	6,8±0,1
CO ₂ , % (на сухое вещество)	Гравиметрический по ГОСТ 34467-2018	34±2
CaCO ₃ , % (на сухое вещество)		78±4
P ₂ O ₅ валовый, %	ГОСТ 26261-84	3,4±0,4

Первичный кек вносили в торф в виде водной суспензии, компоненты тщательно перемешивали и оставляли в лабораторном помещении при температуре 23±1 °C. Анализ раскисленного торфа выполняли через 7 суток после

внесения ПК. Эксперимент проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов выполняли стандартными методами.

Варианты эксперимента: 1) торф без добавок (контроль); 2) торф + ПК 10 г/кг; 3) торф + ПК 20 г/кг; 4) торф + ПК 30 г/кг (дозировка ПК приведена на естественную влажность).

В таблице 3 приведены результаты эксперимента, характеризующие влияние ПК на свойства верхового торфа. Ионный состав водных вытяжек определяли методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер» (НПК Аквилон, Россия) согласно ФР.1.31.2005.01724 и ФР.1.31.2008.01738. Вытяжку готовили по ГОСТ 27894.9.

Таблица 3

Влияние первичного кека на свойства верхового торфа

Показатель	Значение показателя, вариант			
	1 (контроль)	2	3	4
pH солевой суспензии (pH _{KCl})	2,7±0,1	4,6±0,1	5,3±0,1	6,2±0,1
pH водной суспензии (pH _{H2O})	4,0±0,1	4,8±0,1	5,3±0,1	6,1±0,1
Удельная электропроводность, $\mu\text{См}/\text{см}$	118±4	504±10	733±8	860±14
Цвет фильтрованной водной вытяжки	Светло-коричневый	Светло-желтый		
Ионный состав водной вытяжки*				
F ⁻ , мг/дм ³	0,1±0,0	1,7±0,2	1,7±0,2	1,3±0,1
Cl ⁻ , мг/дм ³	7,6±0,8	5,8±0,4	9,1±1,0	3,3±0,4
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	1,3±0,1	242±25*	262±18	385±31
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	6,7±0,6	2,6±0,2	1,8±0,2	3,1±0,4
Na ⁺ , мг/дм ³	2,4±0,4	1,8±0,1	2,2±0,2	1,7±0,2
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	4,5±0,4	8,1±0,9	7,2±0,5	9,5±0,9
K ⁺ , мг/дм ³	3,0±0,4	3,1±0,3	3,3±0,2	2,9±0,2
Mg ²⁺ , мг/дм ³	4,1±0,4	6,4±0,7	7,2±0,8	6,0±0,5
Ca ²⁺ , мг/дм ³	15±1,4	71±6,2	113±12	138±14
Sr ²⁺ , мг/дм ³	ниже ПО**	ниже ПО	ниже ПО	3,0±0,4

Примечание: *полужирным шрифтом выделены варианты, достоверно ($P > 0,95$) отличающиеся от контроля; ** ПО – предел обнаружения метода.

Результаты экспериментальных исследований показали, что обработка торфа водной суспензией ПК приводит к существенному снижению кислотности (повышению pH) и увеличению удельной электропроводности соответствующего материала. Снижение кислотности обусловлено нейтрализацией гумусовых кислот карбонатом кальция; повышение электропроводности – увеличением концентрации ионов (NO₃⁻, Ca²⁺) в растворе; изменение цвета водной вытяжки – переводом гуминовых кислот, придающих раствору коричневый цвет, в нерастворимые формы за счет образования малорастворимых гуматов, в частности гумата кальция. Растворимые фульватные комплексы остаются в растворе и придают водной вытяжке светло-желтый цвет. Увеличение содержания Ca²⁺ и NO₃⁻ в экспериментальных вариантах обусловле-

но неполным удалением целевого продукта – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ из кека. Примесь $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ может служить дополнительным источником питания растений.

Оценку возможной фитотоксичности ПК проводили методом биотестирования по ГОСТ Р ИСО 22030-2009 на примере горчицы белой (*Sinapis alba*), сорт *Белоснежка* и ржи озимой (*Secale cereale*), сорт *Дымка*. В процессе биотестирования признаки фитотоксичности у ПК выявлены не были.

Выводы. Побочные продукты производства кальциевой селитры (в частности первичный кек), основным компонентом которых является CaCO_3 могут найти применение в качестве раскислителей верхового торфа. Наилучший эффект раскисления в условиях эксперимента (7 суток) был получен при обработке торфа кеком в норме 24 кг ПК на 1 дм³ (в расчете на сухое вещество). Поскольку процесс раскисления происходит медленно и занимает от нескольких недель до нескольких месяцев, реальная норма внесения ПК в торф может быть снижена в несколько раз.

Первичный кек образуется в технологическом цикле в форме концентрированной водной пасты, что значительно облегчает приготовление на его основе водной суспензии для обработки торфа. Более низкая, по сравнению с известняком и известью, стоимость ПК позволяет повысить рентабельность производства раскисленного верхового торфа и конкурентоспособность соответствующего продукта на рынке.

Вовлечение побочных продуктов производства в дальнейшую переработку имеет большое экономическое и природоохранное значение, поскольку повышает коэффициент использования сырья, снижает количество отходов и увеличивает эффективность производственного процесса.

Библиографический список

1. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2024 году: Региональный доклад / под ред. Т. Э. Абашева. Киров : Министерство охраны окружающей среды Кировской области, 2025. 195 с.
2. Десятков И. А., Сырчина Н. В. Торфа Кировской области и перспективы их применения в сельском хозяйстве // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2020. С. 43–48.
3. Сырчина Н. В., Пугач В. Н., Ашихмина Т. Я. Производство удобрений для органического земледелия на основе полезных ископаемых Кировской области // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 258–263.
4. Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Новые подходы к проектированию составов удобрений // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : материалы междунар. науч. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2019. С. 214–218.
5. Michel J. C. The physical properties of peat: a key factor for modern growing media // Mires and Peat. 2010. Vol. 6. Article No. 2.
6. Physical, chemical and botanical characteristics of peats used in the horticultural industry / Y. Amha, H. Bohne, G. Schmilewski, et al. DOI: 10.1079/ejhs.2010/1725679 // European Journal of Horticultural Science. 2010. Vol. 75. No. 4. P. 177–183.

7. Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Колеватых Е. П. Оценка безопасности восстановленной подстилки, полученной на фильтрационно-сушильной установке. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.1.45.51 // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 1 (33). С. 45–51.

8. Комплексная переработка природных фосфоритов с использованием щелочных отходов нефтехимического синтеза и газовой серы / Р. Х. Хузиахметов, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Иванова. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-102-108 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 102–108.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

БИОДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

Материалы

XXIII Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием
17–19 ноября 2025 г.

Компьютерная верстка: Е. М. Кардакова
Дизайн обложки: А. А. Лямина

Вятский государственный университет,
610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

Подписано к печати 29.12.2025. Формат 60 x 84/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 18,22. Тираж 30 экз. Заказ № 93.

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