



**XXII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием**  
**БИОДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ**



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

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Федеральный экологический оператор»

Информационный центр по атомной энергии Кирова

Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук

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

Материалы  
XXII Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием

г. Киров, 18–19 ноября 2024 г.

Киров 2024

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, **Е. А. Домнина**, доцент, канд. биол. наук, **Г. Я. Кантор**, с. н. с., канд. техн. наук, **Е. А. Клековкина**, доцент, канд. геогр. наук, **В. А. Козвонин**, с. н. с., канд. мед. наук, **Т. И. Кутявина**, с. н. с., канд. биол. наук, **С. В. Пестов**, доцент, канд. биол. наук, **В. В. Рутман**, м. н. с., **В. М. Рябов**, старший преподаватель, **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 XXII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. (г. Киров, 18–19 ноября 2024 г.). – Киров : Вятский государственный университет, 2024. – 346 с.

ISBN 978-598228-285-9

В книгу вошли материалы XXII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем». Освещены вопросы экологического мониторинга природных и техногенных систем. Представлены результаты исследований химии и экологии почв. Рассмотрены особенности экологии микроорганизмов, растений и животных. Особое внимание уделено применению методов биоиндикации и биотестирования в оценке качества окружающей среды.

Материалы конференции предназначены для научных работников, преподавателей, специалистов природоохранных служб и ведомств, аспирантов, студентов высших 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 978-598228-285-9

© Вятский государственный университет  
(ВятГУ), 2024

# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

<b>Кургузкин П. М.</b> Вариант структуры данных для системного анализа результатов экологического мониторинга .....	9
<b>Сафонов А. И.</b> Стратегии CSR в экологической биодиагностике, экономике предприятий и политике государств .....	12
<b>Ложкина Р. А., Томилина И. И.</b> Оценка качества воды и донных отложений Рыбинского водохранилища (за период 2006–2023 гг.) .....	18
<b>Жданов К. В., Загребина И. А., Коркишко К. А., Ажогина Т. Н.</b> Наличие веществ, вызывающих окислительный стресс в донных отложениях соленых озер Крыма .....	22
<b>Соловьёва Е. С., Пименов А. Ю.</b> Оценка показателей качества водопроводной воды населенных пунктов Кировской области .....	24
<b>Баранникова Н. Н., Морозова М. А., Федоров Ю. А., Гринченко А. А., Брусняк К. В.</b> Санитарно-экологическая оценка гидроэкосистемы озера Большое Турали .....	28
<b>Чабина Е. А., Андрианова М. Ю.</b> Флуориметрический мониторинг загрязнений речной воды .....	32
<b>Карпов М. В., Мошненко К. И., Артына Н. К., Григорьев Ю. С.</b> Показатели замедленной флуоресценции и оптической плотности в оценке чувствительности водоросли <i>Chorella vulgaris</i> к ионам меди и бихромату калия .....	36
<b>Мышко В. Э., Макарова В. Н.</b> Воздействие на водные биологические ресурсы разработки месторождения россыпного золота реки Приточной Красноармейского района Приморского края .....	41
<b>Лановая О. Д., Полиниченко А. Е., Карчавя Ш. Х., Климова М. В., Сазыкин И. С.</b> Биодиагностика токсичности тканей рыб с использованием метода цельноклеточных биосенсоров .....	44
<b>Маковская С. А.</b> Применение микроядерного анализа с целью исследования загрязнения рек в пределах Центральносибирского заповедника .....	49
<b>Мельникова А. В.</b> Оценка состояния качества вод Куйбышевского водохранилища по показателям зообентоса .....	52
<b>Гвоздарева М. А.</b> Изменение количественных и качественных характеристик зоопланктона в период строительства Волжского моста (Самарская область) .....	57
<b>Гинатуллина Е. Н.</b> Оценка экологического состояния озер Восточный Арнасай и Тузкан с помощью зоопланктонных сообществ .....	62



<b>Дрозденко Т. В.</b> Индикаторная роль фитопланктона в оценке экологического состояния дельты реки Великой (Псковская область).....	66
<b>Ольшанская Л. Н., Валиев Р. Ш., Арефьева О. А., Голов Д. А.</b> Экологическая оценка изменения электрических свойств растений ряски при воздействии ионов меди и физических полей в процессе фиторемедиации воды .....	69
<b>Сафонов Р. А.</b> Физико-географические и геометрические закономерности в палиноиндикации городской среды .....	76
<b>Шеромов А. М., Олькова А. С., Товстик Е. В.</b> Автоматизация фитотестирования по морфометрическим параметрам растений .....	81
<b>Кононова О. Е., Олькова А. С., Тупицына М. А.</b> Биоиндикация состояния городской среды по асимметрии листьев <i>Betula pendula</i> Roth и <i>Populus tremula</i> L. ....	83
<b>Лукина Н. В., Чукина Н. В., Глазырина М. А., Филимонова Е. И., Замостьянин Н. А.</b> Анатомо-морфологические и биохимические особенности хвои <i>Pinus sylvestris</i> L. на рекультивированном участке золоотвала № 2 Рефтинской ГРЭС .....	88
<b>Кузнецов М. А.</b> Запасы фитомассы и углерода растений живого почвенного покрова среднетаежных ельников полигона «Ляльский» (Республика Коми) .....	92
<b>Юркова А. А., Макарова В. Н.</b> Мониторинг причин возникновения и количества пожаров на территории Приморского края .....	95
<b>Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я., Вахрамеева А. В.</b> Роль животноводства в образовании парниковых газов .....	98
<b>Хето М. Х.</b> Основные аспекты программы экологического мониторинга атмосферного воздуха городской среды .....	102
<b>Хето М. Х., Рутман В. В.</b> Содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Кирова .....	105
<b>Рутман В. В., Хето М. Х.</b> Динамика состояния атмосферного воздуха на территории г. Кирова .....	108

## СЕКЦИЯ 2 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

<b>Шамрикова Е. В., Ванчикова Е. В., Лаптева Е. М., Кондратёнок Б. М., Кострова С. Н.</b> Гармонизация методов исследования как необходимый элемент экомониторинга природных и природно-техногенных систем.....	114
<b>Лодыгин Е. Д.</b> Почвенно-экологические исследования на Европейском Северо-Востоке России с использованием ГИС-технологий (на примере Республики Коми).....	117
<b>Прокашев А. М., Матушкин А. С.</b> К вопросу о природе текстурной дифференциации дерново-подзолистых почв с бинарным гумусовым профилем Вятского Прикамья .....	122

<b>Скребенков Е. А., Холопов Ю. В., Денева С. В., Рудь А. А., Лантева Е. М.</b> Разнообразие почв на двучленных отложениях (на примере заказника «Ляльский», Республика Коми) .....	125
<b>Дабах Е. В., Сырчина Н. В., Домнина Е. А.</b> Состояние почв и растительности вокруг систем накопления и обезвреживания жидкой фракции навозных стоков .....	130
<b>Индоиту Д. Д.</b> Разложение хлорорганических пестицидов в почве с помощью наночастиц магнетита .....	136
<b>Загребина И. А., Жданов К. В., Коркишко К. А., Ажогина Т. Н.</b> Генотоксичность почв г. Ростова-на-Дону .....	139
<b>Герцен М. М., Мецзякова В. А., Гусейнова А. А., Каледин Ю. В., Переломов Л. В.</b> Оценка токсического действия органоглины на основе кокоиминодипропионата натрия на кресс-салат .....	141
<b>Герцен М. М., Гусейнова А. А., Мецзякова В. А., Каледин Ю. В., Переломов Л. В.</b> Оценка токсического действия органоглины на основе лаураминооксида на редис .....	145
<b>Сакаева Э. Х., Юдина Д. Р., Шабалина М. П.</b> Оценка биологической активности нефтезагрязненных дерново-подзолистых почв .....	148
<b>Дорохова М. Ф., Шайдурова А. Д., Якушев А. В.</b> Диагностика состояния песчаных пустынных почв на территории нефтегазового месторождения Северный Уртабулак (Узбекистан) .....	151

### СЕКЦИЯ 3

#### ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<b>Кувичкина Т. Н., Ячкула А. А., Вайнштейн М. Б., Решетилов А. Н.</b> Амперометрическое исследование хемолитотрофных ацидофильных бактерий <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> ВКМ В-3655 .....	156
<b>Домрачева Л. И., Фокина А. И., Киреева А. Р., Козачок С. С., Ковина А. Л., Трефилова Л. В.</b> Эпифитная микробиота листьев интродуцируемых хвойных и лиственных растений .....	158
<b>Широких И. Г., Широких А. А., Кондакова Л. В., Ашихмина Т. Я.</b> Распространение актиномицетов на территории Береснятского ботанико-геологического комплекса .....	163
<b>Боков Н. А.</b> Скрининг хитинолитической активности у перспективных штаммов стрептомицетов .....	167
<b>Бакулина А. В., Бессолицына Е. А., Широких И. Г.</b> Применение метода фингерпринтинга BOX-PCR для выявления геномных различий у стрептомицетов с антифунгальной активностью .....	171
<b>Мокрушина С. Э., Широких И. Г.</b> Влияние бактеризации на коэффициент размножения картофеля <i>in vitro</i> и урожай клубней <i>ex vitro</i> .....	176
<b>Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Колеватых Е. П.</b> Бактерии рода <i>Clostridium</i> в навозных стоках свинокомплексов .....	180

<b>Макарова Е. М.</b> Бактериопланктон в оценке состояния притоков Онежского озера .....	184
<b>Расова Е. Е., Белых Е. С., Майстренко Т. А., Вележанинов И. О., Тавлеева М. М., Рыбак А. В.</b> Бактериальные сообщества почв радиоактивно загрязненной территории .....	187
<b>Гаевский Е. Е., Зацарынная Е. А.</b> Структура сообществ почвенных водорослей луговых фитоценозов.....	189
<b>Куликов Я. К.</b> Структурно-функциональная организация микрофлоры торфяной почвы в условиях ее окультуривания .....	191
<b>Куликов Я. К., Гаевский Е. Е.</b> Структурно-функциональная организация микрофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы в условиях ее окультуривания.....	194
<b>Кондакова Л. В., Сырчина Н. В.</b> Влияние мелиорантов и удобрений на основе элементарной серы на почвенные диатомовые водоросли.....	198
<b>Стариков П. А.</b> Изучение антагонистического действия <i>Trichoderma</i> spp. в отношении наиболее вредоносных фитопатогенов Кировской области .....	202
<b>Стариков П. А., Быстрякова Д. А., Степанов П. Д., Ахмедов Г. Р., Кинчин И. А., Ордина А. Р., Абазов В. Р., Полякова В. А.</b> Влияние инокуляции семян микромицетом <i>Trichoderma</i> и азотфиксаторами на всхожесть и морфометрические показатели проростков .....	209
<b>Миндубаев А. З., Бабынин Э. В., Тутучкина В. В.</b> Биодegradация нефти при помощи штамма <i>Aspergillus niger</i> F-4815D .....	215
<b>Исламова Н. А., Бухарина И. Л.</b> Изучение влияния меди и хрома на рост эндофитных грибов <i>Fusarium equiseti</i> и <i>Cylindrocarpon magnusianum</i> .....	217
<b>Галенчик А. Л., Ажогина Т. Н., Сазыкина М. А.</b> Способность бактерий к образованию биопленок на разных поверхностях.....	222
<b>Бычкова А. Н., Хапкина А. В.</b> Мониторинг распространения вирусов гриппа и ОРВИ среди условно здорового населения города Тулы и Тульской области .....	225

#### СЕКЦИЯ 4

#### ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<b>Канев В. А.</b> Современное состояние фиторазнообразия лесного заказника «Ляльский» (подзона средней тайги Республики Коми) .....	228
<b>Канев В. А.</b> Материалы к флоре высших сосудистых растений среднего течения реки Б. Паток (национальный парк «Югыд Ва», Приполярный Урал Республики Коми).....	232
<b>Егоров А. И., Ильина В. Н., Бондарь А. А.</b> Экологическая характеристика флоры озер-стариц волжской поймы в границах г. Самары.....	237

<b>Кузнецов М. А.</b> Характеристика подлеска на еловой вырубке в подзоне средней тайги.....	240
<b>Широких А. А., Попыванов Д. В.</b> Краснокнижные виды грибов на территории города Кирова.....	242
<b>Ступакова О. М., Черкай А. С., Щеренко Д. А.</b> Состояние хвойных древесных видов в г. Красноярске .....	245
<b>Калинина А. В.</b> Адвентивный компонент придорожных фитоценозов Донецко-Макеевской агломерации.....	248
<b>Калинина Ю. С.</b> Особенности цветочного оформления придорожных участков Донецко-Макеевской агломерации .....	251
<b>Мирненко Н. С.</b> Мониторинг пыльцевых спектров воздушной среды г. Донецка .....	255
<b>Плюснина Н. О., Адамович Т. А.</b> Содержание макро- и микроэлементов в листьях и плодах земляники лесной.....	258
<b>Хохрякова Л. В., Адамович Т. А.</b> Отходы древесной зелени ели обыкновенной как источник полезных веществ .....	260
<b>Юферева А. К., Сазанова М. Л.</b> Синтез гидролата из хвои пихты сибирской и анализ суммарного содержания антиоксидантов и полифенолов.....	263
<b>Щеклеина Л. М.</b> Агрэкологические аспекты развития грибных болезней на посевах озимой ржи в Кировской области .....	268
<b>Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М.</b> Образцы яровой мягкой пшеницы из генетической коллекции Всероссийского института растениеводства имени Н. И. Вавилова, перспективные в селекции фузариозоустойчивых сортов.....	272
<b>Товстик Е. В., Шуплецова О. Н., Окулова В. В., Романова А. С.</b> Содержание фенольных соединений в зерновке овса посевного и его фракциях.....	276
<b>Попыванов Д. В., Агеева А. Е., Мулина М. И.</b> Влияние культуральной жидкости базидиальных грибов на морфометрические параметры пшеницы при токсическом действии алюминия .....	279
<b>Кислицына А. П., Софронова А. Ю.</b> Влияние инокуляции и биоорганического комплекса «Милефунг <sup>TM</sup> Бор+Молибден» на содержание пигментов в листьях люпина узколистного.....	283
<b>Чуракова С. А.</b> Устойчивость фотосинтетического аппарата яровой пшеницы к стрессу.....	287
<b>Колкова А. А., Капарова Э. А., Петренко Д. Б.</b> Оценка воздействия мышьяксодержащих отходов производства серной кислоты на всхожесть и содержание хлорофиллов в листьях пшеницы .....	292
<b>Товстик Е. В., Шуплецова О. Н., Злобина Ю. А., Окулова В. В., Романова А. С.</b> Влияние кадмия на содержание и фракционирование фенольных соединений в проростках ячменя .....	296

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

<b>Бедова П. В., Чернова И. В.</b> Оценка экологического состояния малых рек бассейна реки Ветлуга по макрозообентосу .....	301
<b>Богданов Г. А., Бедова П. В.</b> Мониторинг редких охраняемых видов беспозвоночных животных в некоторых районах Республики Марий Эл .....	304
<b>Вихарева О. С., Мурадова Л. М.</b> Оценка состояния батрахофауны на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Синицына .....	308
<b>Куватов А. К., Соатова Ф. Б., Шербутаева М. Т.</b> Краткое описание некоторых редких и находящихся под угрозой исчезновения видов рыб Республики Узбекистан .....	314
<b>Малышева Д. Д., Мурадова Л. В.</b> Паразитофауна рыб в реке Сехе и реке Понге на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Синицына .....	317
<b>Масленникова В. В., Масленникова О. В.</b> Регулирование численности волка в Кировской области .....	324
<b>Митькиных Н. Д., Масленникова О. В.</b> Биоразнообразие ихтиофауны среднего течения реки Вятки .....	328
<b>Русских А. И., Жданова О. Б., Часовских О. В., Редькин Д. И.</b> К вопросу диагностики <i>Trichinella pseudospiralis</i> у млекопитающих и птиц .....	332
<b>Намозов С. М., Собиров Ж. Ж., Дехконова Д. Р.</b> Показатели возраста и роста судака Айдар-Арнасайской системы озёр .....	335
<b>Сенникова М. А., Масленникова О. В.</b> Биоразнообразие микромаммалий г. Кирова и селитебных территорий .....	338
<b>Туйчиев К. С., Гинатуллина Е. Н., Номонов Ж. Н., Атабаева Н. К., Хужамов Ш. А.</b> Показатели кормления и роста толстолобика ( <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> ) спирулиной ( <i>Spirulina platensis</i> ) .....	341

# СЕКЦИЯ 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

## ВАРИАНТ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*П. М. Кургузкин*

*Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашиникова, 18kpm@mail.ru*

Отмечено, что достоверная оценка и надежный прогноз экологического состояния территории связаны с анализом комплексных данных экологического мониторинга, включающих результаты определения загрязнения компонентов окружающей среды и результаты мониторинга растительного и животного мира. Предложен вариант структуры данных для хранения значений параметров техногенных объектов и данных мониторинга за определенные периоды времени. Подобная структура является основой и начальным этапом формирования системы хранения и оперативного анализа результатов экологического мониторинга.

Ключевые слова: экологический мониторинг, оценка и прогноз экологической ситуации; системный анализ данных мониторинга; параметры системы мониторинга; ER-модель экологического мониторинга.

Повышение внимания к вопросам экологической безопасности населения и территорий стимулирует развитие систем наблюдения за состоянием окружающей среды (систем экологического мониторинга), как информационной основы для оценки этого состояния. Количественная оценка степени опасности экологической ситуации, в свою очередь, является отправным пунктом при формировании территориальных программ в сфере охраны окружающей среды. Таким образом, можно утверждать, что эффективность реализации указанных программ в значительной степени зависит от уровня информативности и достоверности результатов мониторинговой деятельности.

Функционал системы экологического мониторинга (СЭМ) в соответствии с современными представлениями и формулировками нормативных и правовых документов можно представить в виде триады: «наблюдение – оценка – прогноз». При этом отдельные функции можно рассматривать также

как последовательные этапы осуществления мониторинговой деятельности. А этапы «оценка» и «прогноз» являются также «внутренними» целями системы экологического мониторинга.

Анализ научно-методического и программно-аппаратного обеспечения СЭМ показывает, что основное внимание уделяется наиболее трудоемкому этапу мониторинга – организации наблюдений и получению количественных показателей, например, концентраций загрязнителей в компонентах окружающей природной среды. Дальнейшая оценка экологического состояния в контексте уровня загрязнения компонентов природной среды производится, как правило, путем сравнения текущих значений концентраций поллютантов с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК).

Оценка экологического состояния на основе ПДК, имеющих для большей части веществ-загрязнителей санитарно-гигиеническое происхождение, в действительности, и в первую очередь, определяет степень экологической опасности проживания населения на исследуемой территории. Подобная оценка, безусловно, важна как оперативный показатель текущего уровня экологической опасности. Вместе с тем, вследствие наличия большого числа «внешних» и «внутренних» факторов, влияющих на изменение концентраций загрязняющих веществ, попавших в окружающую среду в виде выбросов или сбросов, использование «покомпонентной» оценки на основе ПДК для определения уровня собственно экологического неблагополучия территории малоинформативно. По этим же причинам использование абсолютных или относительных (в долях ПДК) концентраций загрязнителей в природных средах и их временных изменений, как основы для построения прогностических моделей изначально не эффективно.

Объективную оценку текущего экологического состояния природной среды можно получить на основе использования показателей благополучия растительного и животного мира, включая показатели состояния отдельных видов растений и животных, выбранных в качестве биоиндикаторов. В совокупности с уровнем загрязнения природных сред результаты биомониторинга позволяют получить более полную и объективную оценку экологического состояния территории, как с точки зрения состояния природной среды, так и с точки зрения экологического благополучия населения.

Прогноз изменения экологического состояния связан с выявлением основных факторов, определяющих это состояние, построением на их основе интегральных показателей окружающей среды, включая биотическую и абиотическую составляющие, и последующим анализом временных трендов указанных показателей.

Таким образом, надежная оценка и прогноз экологического состояния требуют анализа всей совокупности результатов комплексного мониторинга [1]. Учитывая, что эти результаты для различных природных сред характеризуются разнообразием структуры и количества показателей, различной размерностью этих показателей, а также разряженностью матриц массивов данных, актуальной задачей является разработка способов хранения, актуали-

зации и системного анализа информационных массивов экологического мониторинга.

Для решения задач системного анализа результатов экологического мониторинга необходимо сформировать структуру данных для хранения значений параметров техногенных объектов и результатов мониторинга за определенные периоды времени. При информационно-логическом проектировании данной структуры в качестве первого этапа используется подход с применением ER-модели [2]. Пример ER-модели экологического мониторинга для локальной природно-технической системы (ПТС) [3, 4] показан на рисунке.

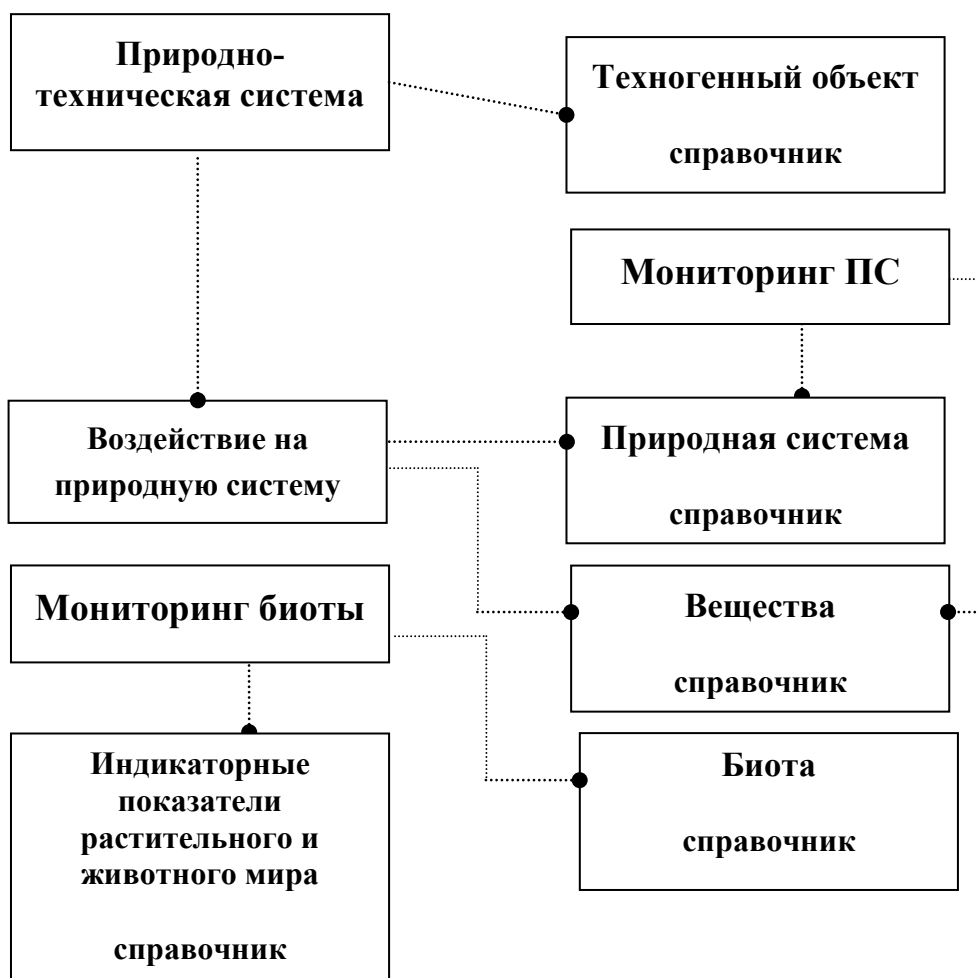


Рис. ER-модель экологического мониторинга ПТС

Как следует из рисунка, ER-модель включает в себя следующие «сущности» (Entity) и связи между ними: «Техногенный объект» (источник негативного воздействия на окружающую среду); сущность «Вещества» (вредные примеси, содержащиеся в выбросах и сбросах техногенного объекта, воздействующие на природные системы); сущность «Природная система» (совокупность исследуемых абиотических компонентов природной среды); «Мониторинг ПС» (мониторинг загрязнения абиотической составляющей природной среды); сущность «Биота» (совокупность наземных и водных экосистем – объектов биомониторинга); «Мониторинг биоты» (оценка состояния экоси-



стем, испытывающих негативное воздействие со стороны техногенных объектов по показателям биоиндикаторов).

Таким образом, предложен вариант подготовки и структурирования данных для реализации системного анализа, объектом которого является система экологического мониторинга, а предметом – оценка последствий негативного воздействия техногенного объекта на окружающую среду. Выявление и формализация основных параметров СЭМ является начальным этапом формирования системы хранения и оперативного анализа данных экологического мониторинга.

#### **Библиографический список**

1. Ашихмина Т. Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия : монография. Киров : Вятка, 2002. 544 с.
2. Chen P. P.-S. The entity-relationship model – toward a unified view of data // ACM Transactions on Database Systems. 1976. Vol. 1. No. 1. P. 9–36.
3. Экологическая энциклопедия : В 6 т. / В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев, И. В. Чеснокова и др. Т. 5. П.-С. М. : ООО «Изд-во «Энциклопедия», 2011. 448 с.
4. Суздалева А. Л. Создание управляемых природно-технических систем. М. : ИД Энергия, 2016. 160 с.

## **СТРАТЕГИИ CSR В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БИОДИАГНОСТИКЕ, ЭКОНОМИКЕ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПОЛИТИКЕ ГОСУДАРСТВ**

***А. И. Сафонов***

*Донецкий государственный университет, andrey\_safonov@mail.ru*

Высказано предложение рассматривать принцип распределения ресурсного потенциала и способы его реализации в едином геометрическом пространстве треугольников Грайма-Раменского как фундаментальной закономерности обеспечения балансовых систем и выживания на примере отдельных видов растений, работы предприятий и межгосударственных отношений.

Ключевые слова: стратегии выживания, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, ресурсный потенциал, популяционная экология.

Экологические программы по установлению закономерностей развития жизни и существования материи содержат обобщающие характеристики, модель которых сводится к балансовым процессам распределения вещества, энергии и информации. Причем все эти составляющие рассматриваются как ресурс, представляющий интерес для любого компонента системы, а значит используемый в конкурентной борьбе за базовое выживание и желаемое благосостояние. В обобщении законов социума на разных уровнях его организации проведена параллель до программирования государственной политики на основании экологических императивов [1]. В биолого-системных работах по визуализации ресурсного поля стратегий выживания видов обращают на себя

внимание трёхвекторные модели Дж. Грайма [2] в аналогии с работами отечественной школы Л. Г. Раменского [3].

Цель работы – на примере отдельных сценариев реализации программы выживания растений в условиях антропогенной трансформации рассмотреть аналогии с особенностями функционирования ресурсоёмкого производства и/или корпоративных взаимоотношений на уровне отдельного предприятия, государства, общности и специфики межгосударственных взаимоотношений.

На сегодняшний день природные и природно-антропогенные системы Донбасса представляют собой глубоко трансформированный природно-территориальный комплекс, подвергающийся мощному влиянию стрессовых факторов. Это обстоятельство, по-видимому, является испытанием на выносливость и интенсифицирует эволюционные преобразования в реализуемых программах жизнеобеспечения [4]. В таких условиях нарушаются устоявшиеся ранее связи в коммуницируемых системах (...клетках, тканях, органах, особях, популяциях, биомах...), – путём разнонаправленных сценариев адаптации наблюдаются попытки стабилизировать возмущение, при этом возникающие новые преобразования не всегда имеют перспективу своего сохранения. Показатель конвариантной репродукции (передача свойств существующей организации живой материи следующим поколениям с требуемыми для выживания изменениями) является ключевым, индикаторным (диагностическим).

Методика проведения CSR-калькуляции является унифицированной и апробирована на глобальном уровне [5]. Подобный анализ осуществляется в ценопопуляционных, геоботанических, климатических, физиолого-ресурсных и историко-ретроспективных исследованиях [6–9].

Доказано, что в результате реализованного метода активного мониторинга в первом поколении после смены биотопа *Diplotaxis muralis* (L.) DC. и *Echium vulgare* L. (рис. 1 и 2) меняют структурно-функциональную организацию в зависимости от категории механической трансформации и(или) фактора загрязнения разного происхождения и генеза.

Для тест-вида *Diplotaxis muralis* (рис. 1) проанализированы стадии нормальной сезонной вегетации и образцы в период осенней ревитализации, что имеет свои закономерные отклики в срабатывании адаптационных механизмов: степень эксплеренции в естественном онтогенезе тяготеет в диапазон R, а повторная вегетация в том же году стабилизируется в CCS-ёмкость; образцы растений в зоне непосредственного полемостресса (импакта военных событий) разбросаны на крайних позициях RSS-линии и S-стратегии. Факторы комплексного техногенеза (на примере металлургического комплекса) в обоих случаях смещают область реализации вида по диагонали в CSS-пациентную зону с выработкой признаков многочисленного тератогенеза и пайноморфности. Модельный вид *D. muralis* оценён по листовому аппарату розеточной прикорневой фракции. Процесс виолентизации не отмечен.

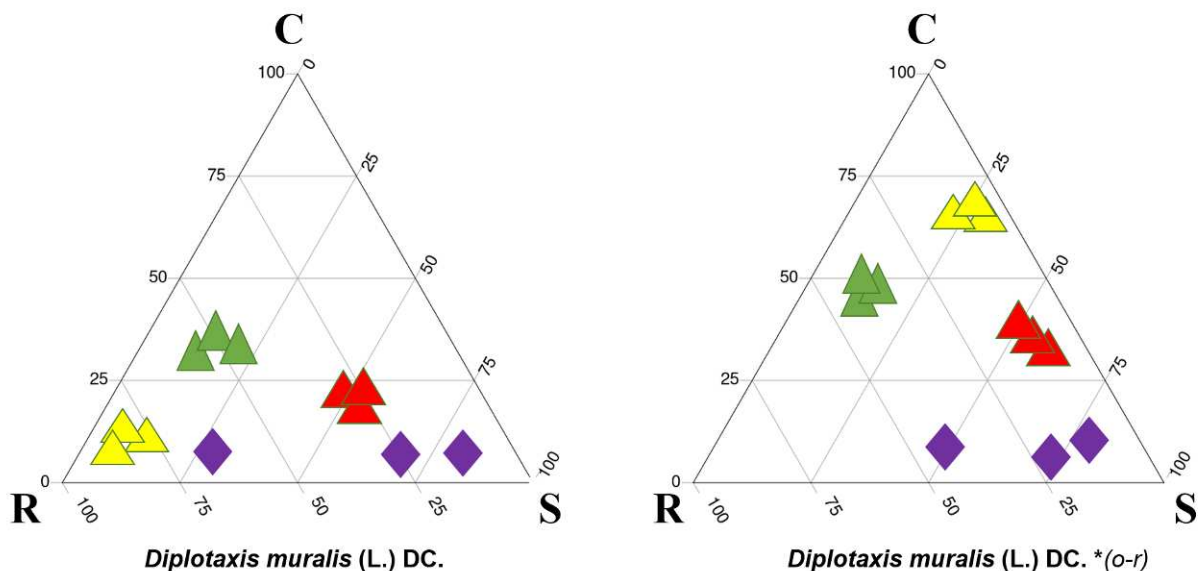


Рис. 1. Трансформация жизненных стратегий *Diplotaxis muralis* (L.) DC. от характерных (в норме) – ▲ до смещенных в результате техногенеза – ▲, рудерализации – ▲ и милитаризации – ◆ экотопов в Донбассе; \*o-r – анализ особей осенней ревитализации

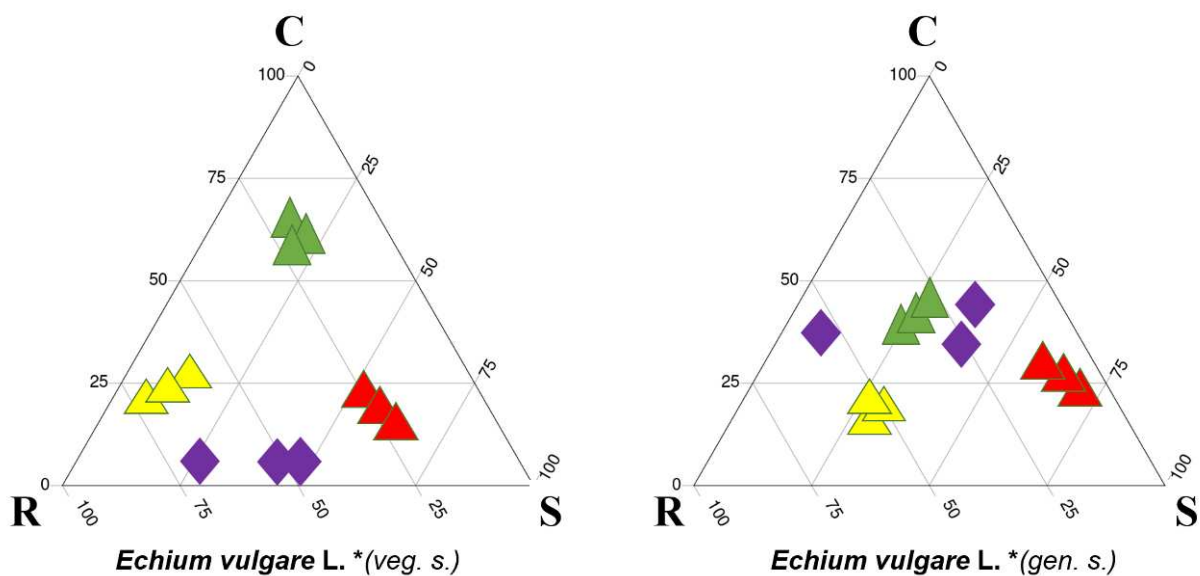


Рис. 2. Сравнение сценариев трансформации жизненной стратегии *Echium vulgare* L. по данным листового аппарата (veg. s.) и репродуктивных структур (gen. s.); обозначения см. рисунке 1

Для вида *Echium vulgare* (рис. 2) анализу подвержены признаки вегетативных структур и генеративной системы по качеству семенного материала и соотношению потенциального репродуктивного усилия к успеху. Имея изначально центростремительную стратегию в общей геометрической ёмкости, экспериментальные особи *E. vulgare* адекватно реагируют на систему нарушений и стресс-напряжений, имеют плотный контур в диапазонах варьирования, хотя генеративная модель достоверно консервативнее по размаху (ди-

станции) в установленной динамике преобразований при первой генерации в результате смены геолокалитета из однородной совокупности элементов диссеминации. Реакции на факторы полемостресса характеризуются как чрезвычайно гетерогенные в сторону линии RRS по листовому аппарату и в несовпадающих C-R- и C-S-тенденциях при использовании в пространственном анализе признаков генеративного аппарата. Фактор нарушения ландшафта в результате военных событий не определяется единым эволюционным вектором, что обусловлено существенной гетерогенностью физико-геохимических импактов.

Все указанные закономерности имеют диагностическое значение и интерпретируются как структурно-функциональные тенденции организации растений с широкой экологической амплитудой и морфологической пластичностью в нестабильных условиях антропогенной трансформации среды. Жизненное пространство не только по-разному используется живой материей, но и является причиной ограничивать эту материю в рамках резко меняющейся доступности (в т. ч. как недостатка, так и избытка) ресурсов для сохранения признаков вида и дальнейшего их воспроизведения. Подобные аналогии описаны для социальных сред и корпоративных взаимоотношений [10], способов выстраивания экономической, финансовой успешности работы предприятий на уровне государства [11, 12], в том числе в условиях меняющихся макроклиматических вызовов [13]. В широкой экстраполяции [14] установлено, что финансовая стабильность предприятий разных форм собственности [15] и разных государств [15–18] является также зависимой величиной при распределении ресурсного потенциала в тех же геометрических эквивалентах треугольников Грайма-Раменского. Актуальных публикаций в этом аспекте по социальным и финансовым направлениям научной деятельности чрезвычайно много.

В обсуждаемой проблеме деградтивных ландшафтно-экологических преобразований Донбасса наиболее актуальным является вопрос разработки оптимальных технологий восстановления (рекультивации, ремедиации) нарушенных и разрушенных природно-территориальных комплексов. В качестве аналогов военных событий по специфике изучения фитоценозов в местах ракетных падений и взрывов рассматривается опыт ученых на территории Казахстана [19]. Стратегическое распределение инвестиций в рамках CSR-пространства также имеет подобие в поиске оптимальных способов капиталовложений для формирования прибыльной экономики, в том числе на международном уровне взаимоотношений [20].

Таким образом, треугольники CSR во многом являются фундаментальным принципом анализа имеющихся сведений о функционировании системы разного уровня организации, а также понимания возможных механизмов управления системой с целью её балансовой стабильности. Важно понимать, что жёсткая конкуренция в природе и в обществе в период социально-политических конфликтов на основе ресурсных войн имеет не только свои закономерности, но и диапазон выносливости. Поэтому при запредельном

воздействию даже на самую эволюционно оправданную (в границах своей геологической эпохи) систему, определён риск радикального разрушения не только целостности, но и принципов, её скрепляющих на всем протяжении существования. В гибридных войнах всё большее значение в качестве ресурса и интереса приобретает информация, при заведомом искажении которой могут быть разрушены вековые устои. При любых обстоятельствах для человека (как биологического вида) основным критерием благополучия является демографический, имеющий важные качественные и количественные показатели. И в условиях принятия решений на уровне выносливости отдельного перенесенного в другие условия растения, отдельной общности, ресурсоемкого процесса, технологии и/или предприятия, отдельного государства, этноса, группы государств и глобальных надстроек важно принимать во внимание разнонаправленные потенции живой системы в реализации своего способа выживания, создавать многополярную структуру мира в целях сохранения разных компонентов функционирующего механизма взаимоотношений ради возможности обеспечения будущего в планетарном масштабе и грамотного сосуществования человеческой общности в условиях новых глобальных вызовов и потрясений.

*Работа подготовлена в рамках научной темы в ДонГУ: «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса». № ПТНИ 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12; № госучета 124051400023-4.*

#### **Библиографический список**

1. Yes! There are resilient generalizations (or “laws”) in ecology / S. Linquist, T. R. Gregory, T. A. Elliott et al. DOI: 10.1086/686809 // Quarterly Review of Biology. 2016. Vol. 91. No. 2. P. 119–131.
2. Measuring plant functional specialization in urban environments with Grime’s CSR strategies / M. Di Giulio, Z. Lososová, M. Carboni, C. Ricotta. DOI: 10.1111/avsc.12803 // Applied Vegetation Science. 2024. Vol. 27. No. 3. Article No. e12803.
3. Димеева Л. А. О дополнительных критериях оценки состояния и восстановления антропогенных экосистем // Аридные экосистемы. 2004. Т. 10. № 22–23. С. 112–120.
4. Сафонов А. И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. Донецк : ДонГУ, 2024. 288 с.
5. A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide / S. Pierce, A. Luzzaro, D. Negreiros et al. DOI: 10.1111/1365-2435.12722 // Functional Ecology. 2017. Vol. 31. No. 2. P. 444–457.
6. Turner S. C., Schweitzer J. A. Plant neighbors differentially alter a focal species’ biotic interactions through changes to resource allocation. DOI: 10.1002/ecy.4395 // Ecology. 2024. Vol. 105. No. 11. Article No. e4395.
7. Climate and genome size shape the intraspecific variation in ecological adaptive strategies of a cosmopolitan grass species / W. Y. Guo, Ja. Čuda, H. Skálová et al. DOI: 10.1111/1365-2435.14613 // Functional Ecology. 2024. Vol. 38. P. 2054–2066.
8. Waheed M., Arshad F. Adaptive convergence and divergence underpin the diversity of Asteraceae in a semi-arid lowland region. DOI: 10.1016/j.flora.2024.152554 // Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 2024. Vol. 317. Article No. 152554.

9. Temporal dynamics of Grime's CSR strategies in plant communities during 60 years of succession / Y. S. Zhang, S. J. Meiners, Y. Meng et al. DOI: 10.1111/ele.14446 // *Ecology Letters*. 2024. Vol. 27. No. 6. Article No. e14446.
10. Bouzguenda M., Jarboui A. The role of the psychological and behavioral profile of the CEO in assessing the dimensions of the corporate social responsibility. DOI: 10.1007/s43546-024-00712-8 // *SN Business & Economics*. 2024. Vol. 4. No. 10. Article No. 117.
11. Ghoul S., Guedhami O., Kim Y. Country-level institutions, firm value, and the role of corporate social responsibility initiatives. DOI: 10.1057/jibs.2016.4 // *Journal of International Business Studies*. 2017. Vol. 48. No. 3. P. 360–385.
12. Khamisu M. S., Paluri R. A., Sonwaney V. Stakeholders' perspectives on critical success factors for environmental social and governance (ESG) implementation. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.121583 // *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 365. Article No. 121583.
13. Huang H. H., Kerstein J., Wang C. The impact of climate risk on firm performance and financing choices: An international comparison. DOI: 10.1057/s41267-017-0125-5 // *Journal of International Business Studies*. 2018. Vol. 49. No. 5. P. 633–656.
14. How global is international CSR research? Insights and recommendations from a systematic review / N. Pisani, A. Kourula, A. Kolk, R. Meijer. DOI: 10.1016/j.jwb.2017.05.003 // *Journal of World Business*. 2017. Vol. 52. No. 5. P. 591–614.
15. The moderating role of country governance in the link between ESG and financial performance: a study of listed companies in 58 countries / Z. Luo, Y. Li, L. T. Nguyen et al. DOI: 10.3390/su16135410 // *Sustainability*. 2024. Vol. 16. No. 13. Article No. 5410.
16. Wan Q., Miao X., Afshan S. Dynamic effects of natural resource abundance, green financing, and government environmental concerns toward the sustainable environment in China. DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.102954 // *Resources Policy*. 2022. Vol. 79. Article No. 102954.
17. Jegede O., Muchie M. Introduction to the Special Issue: Leveraging Global Value Chains for innovation and industrialization in Africa. DOI: 10.1080/20421338.2024.2361952 // *African Journal of Science, Technology, Innovation*. 2024. Vol. 16. No. 4. P. 451–458.
18. Mondal S., Sahu T. N. Unveiling the moderating role of governance mechanism on the nexus between CSR and firm performance in India: A GMM-based dynamic panel approach. DOI: 10.1002/csr.2975 // *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. 2024. P. 1–16.
19. State of desert phytocenoses in the Republic of Kazakhstan at crash sites of launch vehicles / S. A. Lednev, I. N. Semenov, T. V. Koroleva, A. V. Sharapova. DOI: 10.1134/S2079096120030038 // *Arid Ecosystems*. 2020. Vol. 10. No. 3. P. 244–250.
20. Overseas investment, corporate social responsibility and market value: Based on the host country heterogeneity perspective / K. Yang, L. Song, X. X. Zhao, Y. W. Wang. DOI: 10.1080/1540496x.2023.2226323 // *Emerging Markets, Finance & Trade*. 2024. Vol. 60. No. 3. P. 436–455.

# ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (за период 2006–2023 гг.)

*Р. А. Ложкина, И. И. Томилина*

*Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН,  
lozhkina.roza@yandex.ru*

Проведен анализ многолетних данных (2006–2023 гг.) оценки качества воды и донных отложений Рыбинского водохранилища методами биотестирования с использованием ветвистоусого рачка *Ceriodaphnia dubia* и личинок комара-звонца *Chironomus riparius*. Токсичность воды и донных отложений по акватории Рыбинского водохранилища неравномерна. Согласно многолетним данным биотестирования выявлена тенденция к незначительному улучшению качества воды и стабильному уровню токсичности донных отложений водохранилища.

Ключевые слова: биотестирование, вода, донные отложения, Рыбинское водохранилище.

Рыбинское водохранилище – один из крупнейших пресноводных искусственных водоемов России, образованный в Молого-Шекснинской низине после строительства гидроузла выше г. Рыбинска на реках Шексна и Волга [1]. По морфологическим особенностям ложа, распределению глубин и градаций окрашенности воды в водоеме выделено четыре плеса: Волжский, Моложский, Шекснинский и Центральный [2, 3].

Рыбинское водохранилище относится к крупным источникам хозяйственно-питьевого водоснабжения и находится под мощным влиянием промышленных, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных сточных вод. В водохранилище в настоящее время сбрасывают сточные воды более 100 предприятий. Наиболее крупными водопользователями являются МУП «Водоканал» и предприятия Череповецкого промышленного узла: ПАО «Северсталь», ОАО «Северсталь-метиз», ОАО «ФосАгро-Череповец» (создано в результате слияния ОАО «Аммофос» и ОАО «Череповецкий «Азот»). Сточные воды данных предприятий, а также сельскохозяйственные стоки поступают в водохранилище с водами рек Кошта, Шексна, Ягорба и др. [4] и оказывают заметное техногенное влияние на экологическую систему водохранилища, в особенности на экосистему Шекснинского плеса.

Цель настоящей работы – оценить многолетние изменения качества воды и донных отложений Рыбинского водохранилища с использованием методов биотестирования.

Отбор проб воды и донных отложений (ДО) проводили с 2006 по 2023 гг. в ходе комплексных экспедиций на судне «Академик Топчиев» ИБВВ имени И. Д. Папанина РАН. Станции наблюдений были приурочены к

затопленному руслу р. Волги, Мологи и Шексны, устьям рек, впадающих в водохранилище и участкам с различным содержанием загрязняющих веществ.

Интегральные пробы воды (443 пробы) отбирали с каждого метрового слоя батометром системы Элгморка. Воду пропускали через обеззоленные фильтры (белая лента). Для отбора проб ДО (545 проб) использовали модифицированный дночерпатель Экмана-Берджа (ДАК-250) с площадью захвата  $1/40 \text{ м}^2$ . Поверхностный слой ДО отбирали в трех повторностях.

Оценку интегральной токсичности воды и ДО проводили с использованием тест-организмов: ветвистоусого рачка *C. dubia* Richard, 1894 и комара-звонца *Ch. riparius* Meigen, 1804. Биотестирование воды выполняли в соответствии со стандартными методиками [5, 6], донных отложений согласно [7]. В качестве контроля использовали отстоянную водопроводную воду и ДО устья р. Сутка (Ярославская область).

Для получения сопоставимых результатов биотестирования рассчитывали индекс токсичности (ИТ) воды и ДО. Расчеты проведены согласно [8].

Данные представлены в виде средних значений и их ошибок ( $x \pm SE$ ).

Токсичность воды Рыбинского водохранилища за период наблюдения с 2008 по 2023 гг. характеризовалась неоднородностью. Для большинства исследованных проб воды острая токсичность (гибель рачков при экспозиции 48 часов не превышала 50%) не выявлена. Исключение отмечено в 2019 г. для станции Весьегонск и устья р. Себлы, где гибель рачков составила 50 и 60% соответственно. Отсутствие острой токсичности проб и невысокая смертность рачков за период экспозиции 7–10 суток дают основание утверждать, что большинство проб воды безопасны по показателю выживаемости за весь период наблюдений. Однако, в целом информативность биотестов по гибели организмов достаточно низка.

Средняя по плесам плодовитость, выраженная в процентах от контрольных значений, в большинстве случаев их не достигала, т.е. было отмечено подавление репродуктивных показателей рачков (рис. 1).

В 2008, 2010 и 2021 гг. плодовитость рачков во всех плесах водохранилища была значимо ниже контрольных значений. В то время как в 2009, 2011, 2015, 2016 и 2020 гг. для некоторых плесов водохранилища наблюдали значимое увеличение плодовитости рачков.

По результатам биотестирования ДО в период с 2006 по 2023 гг. ежегодно 100% гибель личинок хирономид наблюдали для ДО, отобранных в устье р. Серовки. Линейные размеры личинок *Ch. riparius* при биотестировании ДО варьировали по годам (рис. 2). Для всех плесов водохранилища значимые различия данного показателя по сравнению с контрольными значениями наблюдали в 2008, 2009, 2011, 2017, 2021 и 2023 гг. В то время как в 2010, 2012, 2013, 2015, 2016, 2020 и 2022 гг. наблюдали значимые различия линейных размеров личинок лишь для некоторых плесов водохранилища.



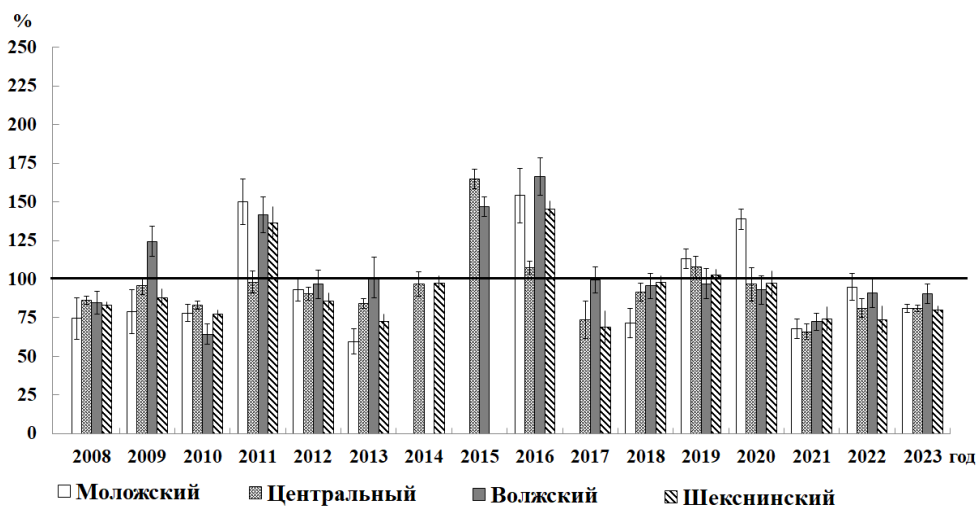


Рис. 1. Средняя плодовитость *Ceriodaphnia dubia* (% от контроля) в опытах по биотестированию поверхностных вод Рыбинского водохранилища

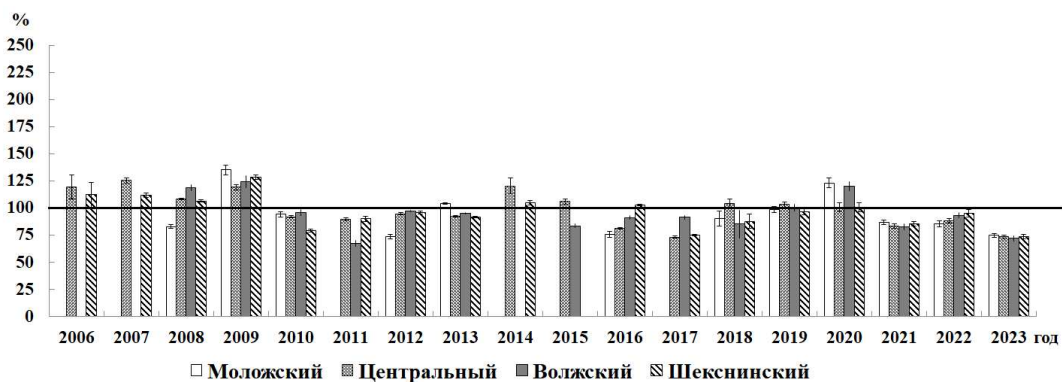


Рис. 2. Средняя длина личинок *Chironomus riparius* (% от контроля) в опытах по биотестированию донных отложений Рыбинского водохранилища

Временная динамика усредненных значений ИТ указывает на увеличение плодовитости рачков при биотестировании, что свидетельствует о снижении токсичности воды Рыбинского водохранилища (рис. 3).

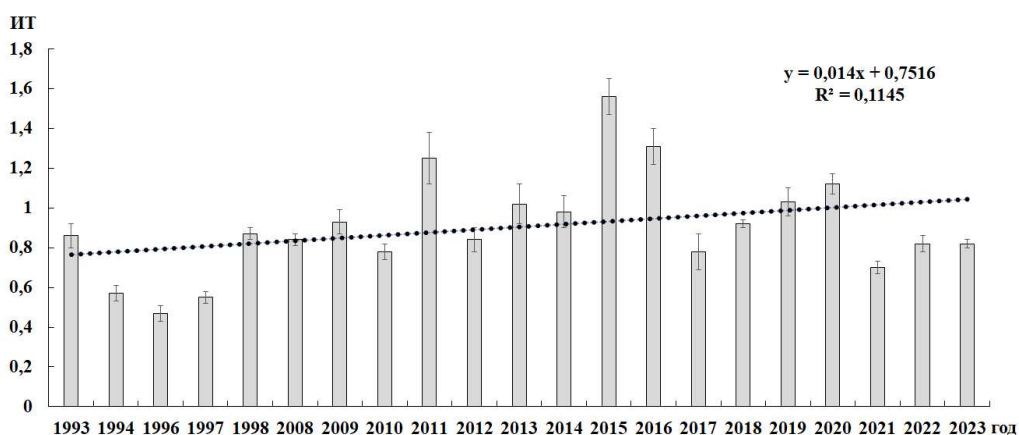


Рис. 3. Линия тренда индекса токсичности воды Рыбинского водохранилища

Незначительное снижение линии тренда ИТ в исследованный период свидетельствует о стабильном загрязнении ДО Рыбинского водохранилища (рис. 4).

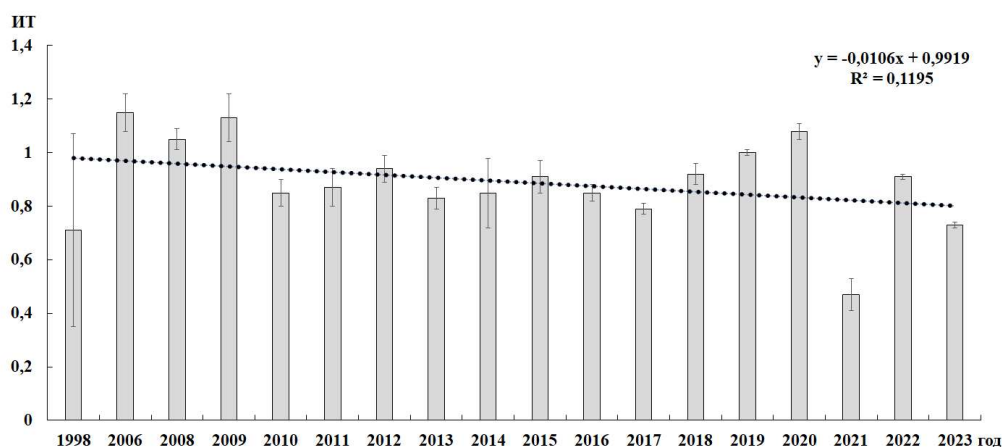


Рис. 4. Линия тренда индекса токсичности донных отложений Рыбинского водохранилища

Таким образом, токсичность воды и ДО по акватории Рыбинского водохранилища неравномерна. Согласно многолетним данным биотестирования выявлена тенденция к незначительному улучшению качества воды и стабильному уровню токсичности ДО. Шекснинский плес водохранилища по-прежнему остается наиболее загрязненным участком, несмотря на существенное снижение антропогенной нагрузки со стороны Череповецкого промышленного комплекса.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Роль абиотических и биотических факторов в формировании физиолого-биохимических и иммунологических показателей гидробионтов» (№124032500015-7).*

#### Библиографический список

1. Буторин Н. В., Зиминова Н. А., Курдин В. П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л. : Наука, 1975. 160 с.
2. Рыбинское водохранилище и его жизнь. Л. : Наука, 1972. 364 с.
3. Фортунатов М. А. Цветность и прозрачность воды Рыбинского водохранилища как показатели его режима // Труды Института биологии водохранилищ АН СССР. 1959. № 2 (5). С. 246–352.
4. Тихановская Г. А., Машихина Ю. В. Оценка экологического состояния водотоков Рыбинского водохранилища // Вестник ВолГУ. Серия 11. Естественные науки. 2016. № 1 (15). С. 33–40.
5. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности изменению плодовитости цериодафний. Федеральный реестр ФР 1.39.2007.03221. М. : Акварос, 2007. 56 с.
6. Mount D. I., Norberg T. J. A seven-day life-cycle cladoceran toxicity test. DOI: 10.1002/etc.5620030307 // Environmental Toxicology and Chemistry. 1984. Vol. 3. No. 3. P. 425–434.

7. Ingersoll C. G., Nelson M. K. Testing sediment toxicity with *Hyaella azteca* (Amphipoda) and *Chironomus riparius* (Diptera) // Aquatic Toxicology and Risk Assessment. Vol. 13. Philadelphia : ASTM, 1990. P. 93–109.

8. Ложкина Р. А., Томилина И. И., Гапеева М. В. Долговременные изменения качества воды Рыбинского водохранилища по данным биотестирования. DOI: 10.23859/estr-200323 // Трансформация экосистем. 2020. № 3 (9). С. 125–138.

## **НАЛИЧИЕ ВЕЩЕСТВ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СОЛЕННЫХ ОЗЕР КРЫМА**

*К. В. Жданов, И. А. Загребина, К. А. Коркишко, Т. Н. Ажогина*  
*Южный федеральный университет, kzhdanov@sfn.edu.ru*

В статье представлен опыт применения биотестирования для оценки наличия веществ, вызывающих окислительный стресс в донных отложениях водных объектов с использованием цельноклеточных бактериальных индуцируемых lux-биосенсоров. Определены озера, пробы из которых показали наличие веществ, вызывающих окислительный стресс.

Ключевые слова: донные отложения, биотестирование, окислительный стресс, соленые озера, активные формы кислорода.

Донные отложения являются важным элементом водных экосистем, а за счет способности аккумулировать химические соединения могут служить важным показателем при оценке загрязнения, в том числе техногенного, водных объектов [1]. Донные отложения соленых озер Крыма иногда могут использоваться в грязелечении (Джарылгач, Ярылгач и др.), за счет чего их состояние является важным показателем.

Живые организмы в среднем достаточно устойчивы к окислительному стрессу, имея антиоксидантную систему, однако при длительном нахождении или сильном воздействии активных форм кислорода антиоксидантная система может не справляться, а это в свою очередь приводит к состоянию окислительного стресса [2]. При оценке состояния экосистем важна также оценка наличия веществ, вызывающих окислительный стресс. Присутствие этих веществ, в том числе может быть связано как с промышленной, так и с сельскохозяйственной деятельностью человека, например, применением пестицидов и гербицидов [3, 4].

Окислительный стресс, вызываемый активными формами кислорода (АФК), является причиной не только повреждения белков, липидов, ДНК, но и может являться причиной, ускоряющей эволюцию ферментов, адаптирующей к условиям окружающей среды, хотя баланс между этими следствиями присутствия АФК является крайне неизученной проблемой [5].

В связи с вышесказанным, целью данной работы стало выявление наличие веществ, вызывающих окислительный стресс в донных отложениях соле-

ных озер Крыма. Для исследования использовали донные отложения соленых озер Крыма, отобранные летом 2023 года.

Для оценки содержания веществ, индуцирующих в клетке окислительный стресс, использовали биосенсоры *Escherichia coli* MG1655 (pKatG-lux) и *E. coli* MG1655 (pSoxS-lux).

Для оценки токсичности служил фактор индукции (I), рассчитываемый как отношение биолюминисценции опытной пробы к биолюминисценции контрольной пробы. При статистически значимом ( $p < 0,05$ ) отличии опыта от контроля  $I < 2$ , обнаруженный токсический эффект оценивали как слабый, при  $2 \leq I \leq 10$  – как средний и при  $I > 10$  – как сильный.

По результатам биотестирования с помощью биосенсора *E. coli* MG1655 (pSoxS-lux) средняя степень токсичности зарегистрирована в шести образцах, что составляет 30% от всех проб. Наибольший фактор индукции был зарегистрирован в донных отложениях озера Ярылгач ( $2,46 \pm 0,20$ ). В 70% исследованных образцов зарегистрирована допустимая степень токсичности.

Результаты биотестирования с помощью биосенсора *E. coli* MG1655 (pKatG-lux), выявляющего наличие веществ, вызывающих окислительный стресс, показали, что все исследуемые озера имели слабый токсический эффект, максимальный фактор индукции составил  $1,85 \pm 0,06$  в донных отложениях озера Ярылгач.

Таким образом, средняя степень токсичности зарегистрирована в шести образцах, это пробы донных отложений, отобранные в озерах Малое Ялы-Майнакское, Ойбурское, Ярылгач, Бакальское, Айгульское и Акшашское. Наибольший фактор индукции был зарегистрирован в донных отложениях озера Ярылгач, с помощью биосенсора *E. coli* MG1655 (pSoxS-lux) ( $2,46 \pm 0,20$ ). В 70% исследованных образцов была зарегистрирована допустимая степень токсичности.

*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. Коломийцев Н. В., Ильина Т. А. Интегральные критерии для оценки экологического состояния донных отложений водных объектов // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 5. С. 39–42.
2. Борисова Г. Г., Чукина Н. В. Исследование химического состава гидрофитов при разных уровнях воздействия на водные экосистемы // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2008. № 2. С. 68–82.
3. Наумова Е. А., Сазыкина М. А. Определение токсичности глифосата при помощи биосенсоров // Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки : материалы Междунар. молод. науч. школы. Ростов н/Д. – Таганрог : Южный федеральный университет, 2022. С. 433–436.
4. Влияние гербицида параквата на рост, содержание пероксида водорода и активность каталазы в корнях проростков гороха при инокуляции клубеньковыми бактериями / А. А. Ищенко, Г. Г. Васильева, Н. В. Миронова, А. К. Глянько // Агрехимия. 2006. № 8. С. 47–51.

5. Окислительный стресс у прокариот – жёсткий механизм адаптации к новым органическим субстратам / И. С. Сазыкин, Л. Е. Хмелевцова, Т. Н. Ажогина, М. А. Сазыкина // Генетика – фундаментальная основа инноваций в медицине и селекции : материалы VIII науч.-практ. конф. с междунар. участием. Ростов н/Д. – Таганрог : Изд-во Южного федерального университета, 2019. С. 136–138.

## **ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Е. С. Соловьёва, А. Ю. Пименов*

*Вятский государственный университет, usrl1865@vyatsu.ru*

В работе представлены данные о показателях качества воды из источников питьевого водоснабжения города Кирова, микрорайонов Радужный и Лянгасово, поселка Ленинская Искра. Проведено сравнение характеристик воды по 12 нормируемым показателям. Более высокие показатели качества установлены для проб водопроводной воды микрорайона Радужный.

Ключевые слова: питьевая вода, нормируемые показатели качества водопроводной воды, загрязнение.

Питьевая вода является одним из главных факторов окружающей среды, который может оказывать значительное влияние на здоровье человека. Питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Качество водопроводной воды определяется качеством исходной воды источников, эффективностью очистки и обеззараживания, а также степенью износа водопроводных сетей.

Целью данной работы являлась сравнительная оценка качества питьевой воды по нормируемым показателям в различных населенных пунктах Кировской области.

Для проведения анализа были отобраны пробы воды. В микрорайоне Радужный пробы воды были взяты из центрального водопровода и из частной скважины. В посёлке Ленинская Искра Кировской области пробы воды были взяты из водопровода и из колодца, расположенного в частном доме. В микрорайоне Лянгасово города Кирова пробы воды были взяты из водопровода. В городе Кирове пробы были взяты из водопровода и из цистерны с питьевой водой «Ключ здоровья». Централизованное водоснабжение населенных пунктов отличалось своими источниками: Киров – река Вятка, Лянгасово – река Быстрица, Радужный и Ленинская Искра – артезианские источники.

Анализ воды производился по 12 основным нормируемым показателям [1]. К этим показателям относятся привкус, запах, мутность, цветность, водородный показатель (рН), общая жесткость, железо общее, фосфаты, марганец, аммиак, нитриты, нефтепродукты.

В работе использовались потенциометрические, титриметрические, фотокolorиметрические методы анализа, а также атомно-абсорбционная спектрометрия.

Все образцы питьевой воды были исследованы по органолептическим свойствам, таким как привкус и запах, а также была проведена оценка мутности [2]. Мутность всех образцов воды соответствовала нормам. Результаты по другим органолептическим показателям представлены в таблице. По привкусу и запаху пробы водопроводной воды из Кирова и Лянгасово, а также колодезная вода из п. Ленинская Искра превышали показатели нормы (до двух баллов).

Таблица

**Результаты исследования органолептических свойств воды**

Наименование участка	Привкус, балл	Запах, балл	Мутность, ЕМФ
Радужный (водопровод)	0	0	< 0,58
Радужный (скважина)	0	0	< 0,58
Киров (водопровод)	4	3	< 0,58
Бутилированная вода «Ключ Здоровья»	0	0	< 0,58
Ленинская Искра (водопровод)	1	0	< 0,58
Ленинская Искра (колодец)	4	3	< 0,58
Лянгасово	3	3	< 0,58

Было выявлено превышение нормы по показателю цветности в пробах колодезной воды из посёлка Ленинская Искра (рис. 1). Самый низкий показатель цветности был установлен для водопроводной воды из микрорайона Радужный, он составил всего 3,6 градуса, что меньше ПДК более чем в 5 раз. Пробы воды из остальных источников соответствовали норме.

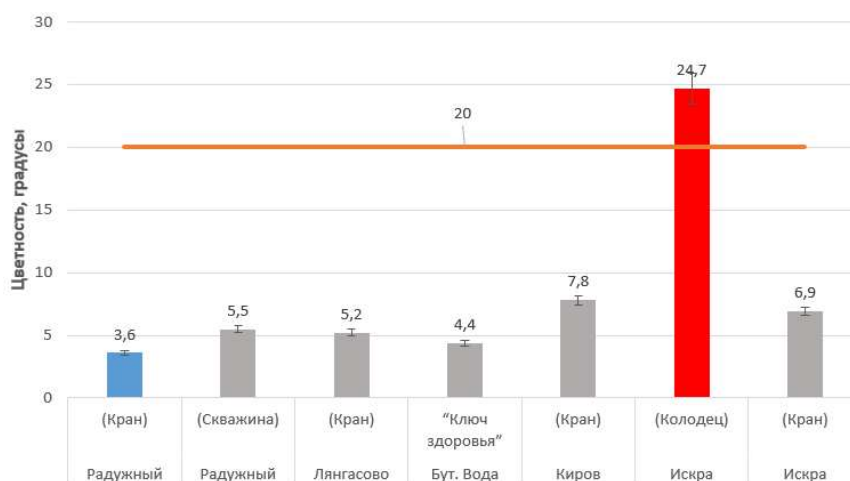


Рис. 1. Показатель цветности в образцах воды, градусы. Цветом обозначены максимальный и минимальный показатели, линией – значение ПДК по данному показателю для воды

В результате исследования жёсткости воды было установлено, что данный показатель не превышает нормы СанПин во всех исследованных пробах

воды. Самый высокий показатель жесткости был отмечен у водопроводной воды в микрорайоне Радужный, он составил  $5,28 \text{ мг-экв/дм}^3$ , а самый низкий показатель выявлен у колодезной воды в посёлке Ленинская Искра, он составил  $0,74 \text{ мг-экв/дм}^3$ .

Наиболее низкие показатели общей кислотности были отмечены для образцов колодезной воды в поселке Ленинская Искра (рис. 2). Самое высокое значение pH оказалось у водопроводной воды в микрорайоне Радужный, но оно не превышало установленных норм.

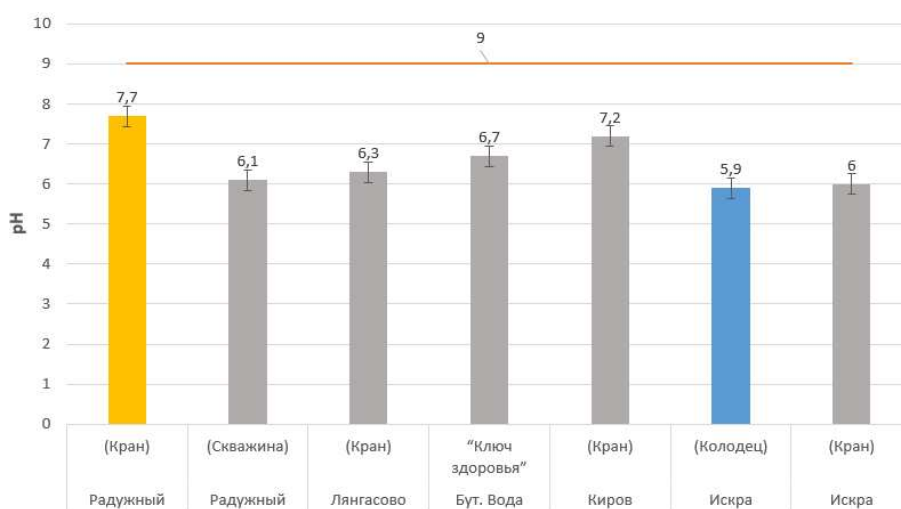


Рис. 2. Значения кислотности (pH) образцов воды, абс. ед. Цветом обозначены максимальный и минимальный показатели, линией – значение нормы по данному показателю для воды

При анализе водопроводной воды из посёлка Ленинская Искра было установлено превышение ПДК по показателям содержания железа и марганца в 3 раза (рис. 3, 4).

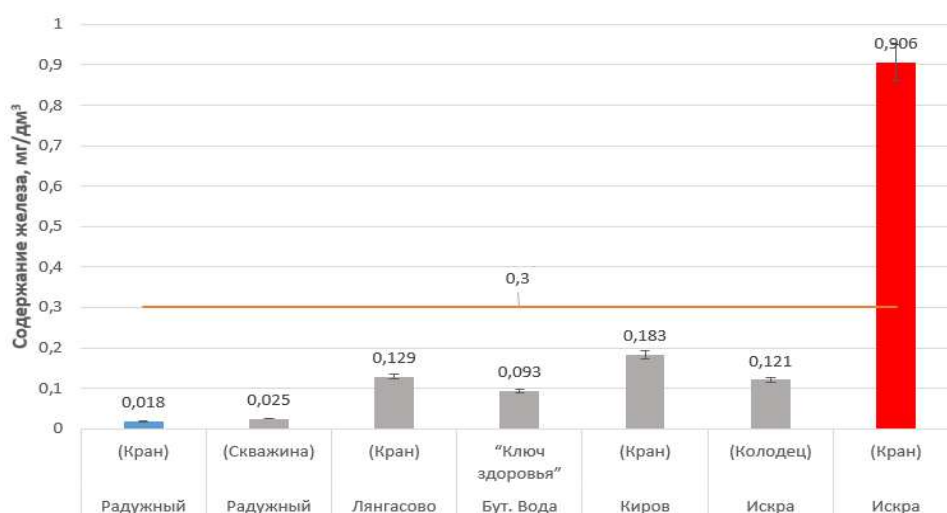


Рис. 3. Содержание железа в образцах воды,  $\text{мг/дм}^3$ . Цветом обозначены максимальный и минимальный показатели, линией – значение ПДК по данному показателю для воды



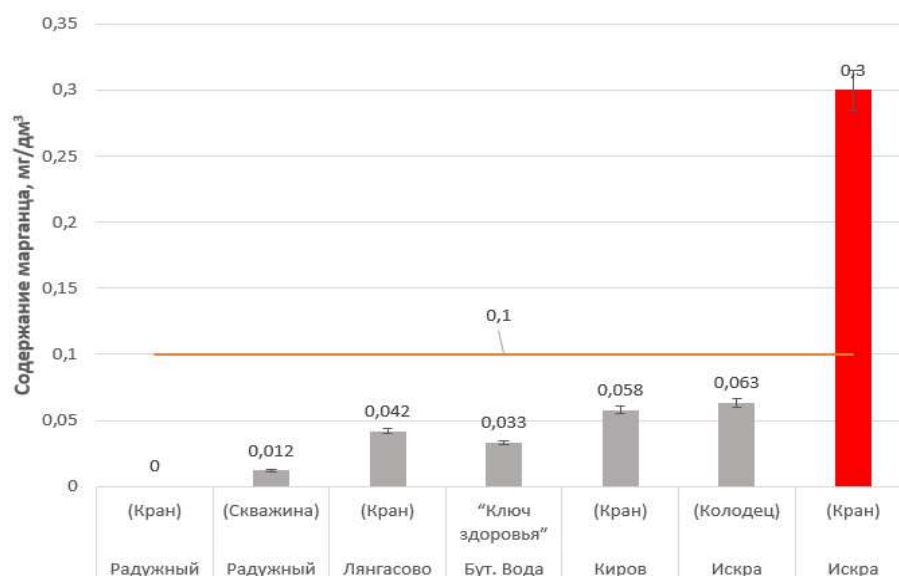


Рис. 4. Содержание марганца в образцах воды, мг/дм<sup>3</sup>.  
 Цветом обозначены максимальный и минимальный показатели,  
 линией – значение ПДК по данному показателю для воды

Остальные образцы воды соответствовали нормам ПДК. Самым низким содержанием железа и марганца из проанализированных источников характеризовался образец водопроводной воды из микрорайона Радужный (рис. 3, 4).

По показателю содержания нефтепродуктов все образцы соответствовали нормам СанПиН. Значения данного показателя во всех образцах воды оказались значительно меньше ПДК.

Все исследованные пробы питьевой воды не превышали норму ПДК и соответствовали стандартам СанПиН по таким показателям, как содержание нитрит-, фосфат-ионов и ионов аммония.

Таким образом, в ходе проведенного исследования было установлено, что наиболее качественной по исследуемым показателям является вода из микрорайона Радужный города Кирова. Это связано как с природными факторами (водоснабжение микрорайона осуществляется из артезианских скважин), так и с небольшим износом водопроводных сетей.

#### Библиографический список

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества (взамен СанПиН 2.1.4.559-96) [Электронный ресурс]. – URL: [https:// eng-eco.ru](https://eng-eco.ru) (дата обращения: 13.04.24).
2. ГОСТ Р 57164-2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности : действ. с 16.10.2016. М., 2019. [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru> (дата обращения: 22.06.2023).



## САНИТАРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГИДРОЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА БОЛЬШОЕ ТУРАЛИ

*Н. Н. Баранникова<sup>1</sup>, М. А. Морозова<sup>2</sup>, Ю. А. Федоров<sup>1</sup>,  
А. А. Гринченко<sup>1</sup>, К. В. Брусняк<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Институт наук о Земле Южного федерального университета,*

*nnbarannikova@srfedu.ru,*

<sup>2</sup> *ФБУН РостовНИИ микробиологии и паразитологии Роспотребнадзора*

В статье представлены результаты гидрохимических и микробиологических исследований воды и донных отложений северо-западной части озера Большое Турали в летние периоды 2021 и 2023 гг. По химическому составу воды озера отнесены к классу хлоридных вод, группе натриевых вод, типу второму согласно классификации О. А. Алекина. Минерализация воды составила 19,46 г/дм<sup>3</sup> в 2021 г. и повысилась до 37,98 г/дм<sup>3</sup> в 2023 г. Донные отложения были представлены глинистыми илами, для которых характерна слабощелочная среда. Гидроэкологическое состояние озера в настоящее время приблизилось к естественному за счет отсутствия искусственного обводнения. Основным источником водоснабжения являются атмосферные осадки, но также имеется определенное влияние антропогенных факторов, связанных с поступлением загрязняющих веществ с поверхностными ливневыми стоками. Подтверждением фекального загрязнения водоема является превышение нормативов по содержанию энтерококков в воде и титра клостридий в донных отложениях.

Ключевые слова: озеро Большое Турали, вода, донные отложения, санитарно-показательные микроорганизмы, загрязнение.

На территории Северо-Кавказского федерального округа общий объем озерной воды, включая соленые и рассолы, составляет 0,47 км<sup>3</sup> объема, из которых на Республику Дагестан приходится 0,3 км<sup>3</sup> озерных ресурсов [1]. Запасы озерной воды в силу их медленной возобновляемости оказываются более чувствительными к нарушениям естественного гидрологического цикла, вызванным усилением антропогенной деятельности. По сравнению с водотоками, озера более уязвимы к воздействию поступающих в них химических и биологических веществ. Это обусловлено тем, что одним из важных факторов, способствующих самоочищению водных объектов, является их проточность. При этом, мелководные озера отличаются неустойчивостью своих экосистем к природным и антропогенным воздействиям, а также длительным периодом восстановления. Особенно мелководные озера, превращаются практически в накопители органических веществ и поллютантов, поступающих не только с сельскохозяйственными и бытовыми стоками, но и с водосбора.

Особую ценность в лечебно-оздоровительной деятельности представляют высокоминерализованные сульфидные илистые донные отложения озер юга России. Однако различные виды рекреации наносят ущерб экосистемам этих водоемов, в частности бесконтрольное ресурсо- и средопотребление, включая изъятие минеральных вод и пеллоидов для лечебных целей, озерный туризм. Озеро Большое Турали имеет все указанные характеристики: мелководность, непосредственную близость от селитебных территорий, основным фактором загрязнения является сельскохозяйственный сектор, а озерные ресурсы ранее использовались в соледобычи, товарном рыбоземледелии при искусственном обводнении коллекторной водой, а в настоящее время в грязелечении местными жителями.

Анализ истории освоения Туралинских озер показал, что первоначальное их естественное состояние наиболее устойчивое в виде сухих и слабо увлажненных морских лагун, из которых они возникают.

Озеро Большое Турали характеризуется пространственно-временной изменчивостью гидролого-гидрохимических характеристик и с использованием озерных ресурсов в различных отраслях. В настоящее время гидроэкологическое состояние приблизилось к естественному в силу отсутствия искусственного обводнения. По данным ряда авторов, подпитка подземными водами при современном уровне Каспийского моря исключается. В связи с этим резко сократилась площадь поверхностного водосбора озера Большое Турали с 19,8 до 10,5 км<sup>2</sup> вместе с площадью самих озер (расчеты С. Т. Кудяковой) [2]. Формирование химического состава вод озера связано как с естественными процессами растворения солей, содержащихся в подстилающих ложе озер породах, ионно-обменными процессами и концентрирования солей при испарении вод, так и антропогенным влиянием [3]. Согласно оценке [4], озеро Большое Турали имеет высокую антропогенную нагрузку и уровень загрязнения, связанные с близостью к крупным городам Махачкала, Каспийск. Наиболее негативное влияние оказывают застройка водосбора, обуславливающая поступление хозяйственно-бытовых сточных вод, и замусоренность различными бытовыми отходами прибрежной зоны. Как следствие, в отложениях водоема фиксируется повышенная численность сульфитредуцирующих клостридий – показателя фекального загрязнения, что представляет опасность для местного населения, использующего их в качестве лечебных грязей [5]. Важным фактором загрязнения озера является также непосредственная близость сельскохозяйственного сектора, откуда поступают биогенные вещества и удобрения, что обуславливает высокое содержание аммонийного азота в водах [6]. Несмотря на близость к городам, водно-болотное угодье Туралинские озера является одним из ключевых мест миграционных остановок и зимовки водоплавающих и околоводных птиц, в том числе и многих редких видов.

Целью исследования была оценка качества воды и донных отложений озера Большое Турали по ряду микробиологических показателей и гидрохимических параметров.

Экспедиционные исследования Туралинских озер были проведены в летние периоды 2021 и 2023 гг., поскольку, согласно данным ряда авторов [7, 8], именно в это время года интенсифицируются химические и биологические процессы, в результате которых численность микроорганизмов достигает пиковых значений.

Отбор проб воды и донных отложений выполняли около берега и в центре озера. Донные отложения отбирали специально изготовленной из пластика трубкой с поршнем для выдавливания керна. Физико-химический анализ лечебной грязи, а также грязевого раствора, выполнялся по стандартной методике. В пробах воды определяли сухой остаток, рН и температуру. Концентрации главных ионов и сухой остаток изучены по общепринятым в системе Росгидромета стандартным методикам [9].

Отбор проб воды для бактериологического исследования осуществлялся согласно требованиям ГОСТ 31942–2012 «Вода. Отбор проб для микробиологического анализа».

Санитарно-бактериологический анализ воды включал определение нормируемых показателей: обобщенные колиформные бактерии, *Escherichia coli*, энтерококки, патогенные бактерии рода *Salmonella*. В донных отложениях анализировалось содержание сульфитредуцирующих клостридий.

Идентификацию микроорганизмов проводили на основе времяпролетной масс-спектрометрии (MALDI-TOF-MS) и по общепринятой методике с учетом морфотинкториальных, культуральных и биохимических свойств.

Количество сульфитредуцирующих клостридий (СРК) в донных отложениях определяли максимальным разведением суспензии грунта с последующим посевом в среду Вильсон-Блер. Результаты анализа выражали числом КОЕ/г (колониеобразующие единицы в 1 г) донных отложений для каждого горизонта. На основании полученных данных определяли титр клостридий в соответствии с Методическими указаниями по санитарно-микробиологическому анализу лечебных грязей МУК №143-9/526-17 (от 11.09.1989 г.)

Температура воды в период отбора проб (июль-август) в исследуемом районе составляла в 2021 г. от 26 до 30 °С, в 2023 г. – от 28 до 29 °С с минимальными значениями на более удаленных от берега точках наблюдения. В июле 2021 г. наблюдения показали преимущественно облачную погоду (до 88%) с температурой воздуха до +28 °С, влажностью 64–65%. В августе 2023 г. была переменная облачность, температура воздуха составляла до +29 °С, влажность 76%.

Согласно проведенным расчетам, в 2023 г. значения рН и минерализации воды в точках наблюдения увеличились по сравнению с данными за 2021 г. В 2023 г. водородный показатель составил 8,22, в 2021 году рН колебался от 7,90 до 7,95. Существенно возрос уровень минерализации: если в 2021 г. он составлял от 19,3 до 19,5 г/дм<sup>3</sup>, то в 2023 г. достиг 37,98 г/дм<sup>3</sup> сухого остатка (соленые воды).

Донные отложения (до 20 см) были представлены глинистыми илами, для которых характерна слабощелочная среда. Влажность донных отложений

в 2021 г. варьировала в пределах 11–24,2%, в 2023 г. – 17,2–25%; плотность – 1,808–2,302 г/мл в 2021 г. и 7,51–7,63 г/мл в 2023 г. В отложениях озера в 2021 г. наблюдались восстановительные условия, в то время как в 2023 г. во многих горизонтах была окислительная обстановка, которая визуальнo проявлялась в бурой окраске илов. В большинстве отобранных проб донных отложений суммарное содержание сульфидной серы (далее суммарного сероводорода –  $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ ) были близкими к пределу обнаружения (0,005 мг/г) или ниже его. И только в верхних горизонтах отложений определены концентрации  $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ , достигающие значений 0,821 (2021 г.) и 0,597 мг/г (2023 г.).

За период исследований содержание санитарно-показательных микроорганизмов (обобщенные колиформные бактерии, *E. coli*) в воде было в пределах нормативных значений для водоемов, предназначенных для рекреационных целей. Эпидемиологическая безопасность воды подтверждена отсутствием сальмонелл. В 2021 г. кишечные палочки и энтерококки, указывающие на свежее фекальное загрязнение водоема, не были обнаружены. Однако в 2023 г. содержание энтерококков превысило предельно допустимое значение в 24 раза (не более 10 КОЕ/100 для мест рекреации).

Анализ донных отложений на наличие сульфитредуцирующих кластридий показал годовые различия в их концентрации для верхнего горизонта. В 2021 г. титр кластридий во всех исследованных горизонтах (0–5; 5–10; 10–15 см) соответствовал установленному нормативу, однако в 2023 г. в донных отложениях верхнего горизонта (0–5 см) прибрежной части озера регистрировали превышение данного показателя в 10 раз.

Ретроспективный анализ и материалы собственных исследований свидетельствуют, что даже незначительное изменение природных и антропогенных факторов оказывает влияние на санитарно-экологическое состояние гидрoэкоcистемы озера Большое Турали. Возможно, что основными источниками фекального загрязнения озера могут быть поверхностные ливневые стоки, перелетные птицы и выпас скота в его окрестностях, так и в самом водоеме.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00038, <https://rscf.ru/project/24-17-00038/> в Южном федеральном университете.*

#### **Библиографический список**

1. Измайлова А. В. Озерные водные ресурсы европейской части Российской Федерации // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 2. С. 122–133.
2. Шапоренко С. И., Десинов С. Л. Исследование водного питания оз. Большое Турали с применением космических снимков // Исследование Земли из космоса. 2021. № 2. С. 77–86.
3. Грязевые озёра Республики Дагестан: прошлое и настоящее / Ю. А. Федоров, Н. Н. Баранникова, И. В. Доценко, Н. И. Лулудов. Ростов н/Д : Донской издательский дом, 2019. 107 с.
4. Морфометрия и морфология грязевых озер Ростовской, Волгоградской и Астраханской областей, республик Калмыкия и Дагестан: антропогенная нагрузка на них /

Д. Н. Гарькуша, Ю. А. Фёдоров, Е. Г. Потапов, В. А. Крамаренко // Курортная медицина. 2021. № 1. С. 24–36.

5. Sulfite-reducing Clostridia and their participation in methane and hydrogen sulfide formation in the bottom sediments of water objects and streams of the ETR South / Y. A. Fedorov, D. N. Gar'kusha, R. G. Trubnik, M. A. Morozova. DOI: 10.1134/S009780781907008X // Water Resources. 2019. Vol. 46. No. 1. P. S85–S93.

6. Влияние антропогенного фактора на химический состав озер засушливых районов Дагестана (на примере Большое и Малое Турали) / А. Р. Юсупов, А. С. Курбанисмаилова, К. Г. Алхулаев и др. DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-118-122 // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27, № 4 (89). С. 118–122.

7. Многолетние изменения в состоянии микрофлоры и оценка трофического статуса Северного Каспия / А. Ф. Сокольский, В. Н. Винникова, Е. В. Петровичева и др. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 7. С. 46–49.

8. Бактериальные сообщества пелагиали и донных отложений Северного Каспия в 2015–2016 гг. / О. В. Колотова И. В. Соколова, И. В. Владимцева и др. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-4-120-137 // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12, № 4. С. 120–137.

9. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. Л. В. Боевой. Ростов н/Д. : НОК, 2009. Ч. 1. 1037 с.

## **ФЛУОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЙ РЕЧНОЙ ВОДЫ**

*Е. А. Чабина, М. Ю. Андрианова*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
andrianova\_myu@spbstu.ru*

Проведен химический и флуоресцентный анализ воды реки Охты, выполнен статистический анализ полученных данных. По результатам работы для выявления загрязнения сточными водами предложено использовать комбинацию экспресс-методов с использованием следующих показателей: электропроводность, интенсивность флуоресценции  $I_{230,350}$  (или  $I_{270,350}$ ), оптическая плотность  $OD_{254}$ .

Ключевые слова: флуоресценция, растворенные органические примеси, поверхностные воды, сточные воды, контроль качества воды, геоэкологический мониторинг.

Для многих рек Северо-запада России характерно присутствие природных органических соединений – гуминовых веществ, концентрации которых в воде могут достигать десятков мг/л [1]. Это затрудняет обнаружение загрязнения бытовыми сточными водами по показателям, связанным с органическими веществами: ХПК, общий органический углерод (ООУ), цветность и др.

Для поверхностных и сточных вод спектры оптической плотности в целом сходны и не всегда позволяют выявить загрязнение. В то же время спектры флуоресценции имеют ярко выраженные качественные отличия по интенсивности флуоресценции в областях белкового типа (300–360 нм) и гуми-

нового типа (400–460 нм). Это дает основу для мониторинга загрязнения воды экспрессными методами с помощью флуоресцентных датчиков [2, 3].

Цель работы состояла в поиске связи между химическими показателями качества воды и флуоресцентными (ненормируемыми) показателями для водотока Северо-запада России. Ранее такое исследование проводилось для воды реки Невы [4]. Для данного исследования выбран самый крупный правобережный приток Невы – река Охта.

Река Охта имеет длину 93 км, начинается в болотах западнее поселка Лемболово и принимает в себя несколько притоков. Вблизи от берегов Охты на территории Ленинградской области расположены населенные пункты и садоводства, в черте Санкт-Петербурга находятся последние 17,5 км реки. По данным гидрохимического мониторинга (на трех постах ФГБУ СЗУГМС в черте Санкт-Петербурга) Охта является самым загрязненным притоком Невы [5].

Для данной работы было отобрано 50 проб (три серии из разных пунктов от истока до устья реки по 10–17 проб в каждой). На следующий день после отбора в отстоянных пробах определяли концентрации общего углерода (ОУ), общего неорганического углерода (ОНУ), ООУ и общего азота (ОА) на анализаторах ТОС-Lvpr и TNM-L (Shimadzu, Япония). Электропроводность воды (ЭП) определяли кондуктометром HI 8713 (HANNA Instruments). Концентрации главных катионов и анионов в воде определяли методом капиллярного электрофореза на приборе Капель 103Р (Люмэкс, Россия). Погрешности измерений составляли до  $\pm 15\%$ .

Оптическая плотность воды при 254 нм ( $OD_{254}$ ) определяли в 1 см кварцевой кювете на спектрофотометре СФ-56 (ОКБ Спектр, Россия) для 10-кратно разведенных проб воды. Спектры флуоресценции (220–650 нм) получали для 10-кратно разведенных проб воды на спектрофлуориметре RF5301PC (Shimadzu, Япония) при длинах волн возбуждения 230 и 270 нм (без расчета коррекции на внутренние фильтры). Для характеристик флуоресценции выбраны интенсивности  $I$  при длинах волн флуоресценции: для белкового типа 300, 320, 350 нм, для гуминового типа – 420 нм. Погрешности измерений не превышали  $\pm 7\%$ .

Статистический анализ данных выполнен в программе Statistica ver. 8.0 (StatSoft, Inc., 2007). Определена описательная статистика (табл. 1) и проведен анализ методом главных компонент (с предварительным центрированием и нормализацией данных) (табл. 2).

*Таблица 1*

**Описательная статистика для показателей воды реки Охта**

Показатель	Среднее арифметическое	Min	Max	Стандартное отклонение
1	2	3	4	5
$C(K^+)$ , мг/л	2,6	0,6	6,4	1,2
$C(Na^+)$ , мг/л	14,6	2,9	57,8	9,6
$C(Mg^{2+})$ , мг/л	3,5	1,2	8,1	1,3
$C(Ca^{2+})$ , мг/л	17,7	3,4	47,6	8,2
$C(Cl^-)$ , мг/л	27,4	2,1	142,2	23,6

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
C(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), мг/л	20,6	0,9	66,3	12,2
ЭП, мкСм/см	205	40	725	120
ОНУ, мг/л	14,4	2,7	37,8	7,3
ОУ, мг/л	39,7	18,5	80,5	10,4
ООУ, мг/л	25,4	9,7	42,7	8,3
ОА, мг/л	2,4	0,3	7,4	1,5
OD <sub>254</sub>	0,087	0,041	0,287	0,047
I <sub>230,300</sub>	11,0	5,8	23,9	4,1
I <sub>230,320</sub>	16,8	9,1	38,1	6,5
I <sub>230,350</sub>	34,8	14,2	106,1	20,6
I <sub>230,420</sub>	60,9	26,3	195,1	23,5
I <sub>270,320</sub>	5,4	1,0	13,3	2,3
I <sub>270,350</sub>	9,1	2,8	21,4	3,4
I <sub>270,420</sub>	29,7	12,7	48,5	6,7

Результаты по описательной статистике приведены в таблице 1, из них видно существенное варьирование значений. Например, минимальная ЭП воды меньше максимальной в 18 раз, для концентраций ОА это различие составляет 22 раза, для ионов натрия – 20 раз, хлоридов – 69 раз, сульфатов – 77 раз. Изменение значений может быть вызвано несколькими факторами: сезонной вариабельностью природного фона, пространственной природной вариабельностью, сбросами сточных вод. Следует отметить, что варьирование расхода Охты в течение года (а, следовательно, и разбавление солей за счет дождя и снега) может быть довольно значительным – до 20 раз [6]. Однако зарегистрированная вариабельность показателей доходит до более высоких чисел, что объясняется сбросами сточных вод в Охту.

Анализ методом главных компонент позволяет выявить факторы (главные компоненты (ГК)), формирующие основную часть дисперсии исследуемых переменных (значений показателей). Анализ выявил шесть ГК. Первые четыре из них (ГК1, ГК2, ГК3 и ГК4) имеют собственные значения выше единицы (12,4; 2,26; 1,84 и 1,32, соответственно) и объясняют 94% общей вариабельности данных. Нагрузка переменной на ГК является коэффициентом корреляции между ними (табл. 2). Сопоставление нагрузок позволяет объяснить смысл каждой компоненты.

Таблица 2

**Нагрузки на главные компоненты для показателей воды реки Охты**

Показатель	ГК1	ГК2	ГК3	ГК4	ГК5	ГК6
1	2	3	4	5	6	7
Доля дисперсии, %	65,1	11,9	9,7	7,0	2,0	1,1
Показатели	Нагрузки на ГК					
C(K <sup>+</sup> ), мг/л	0,92	-0,25	0,06	0,16	0,04	-0,14
C(Na <sup>+</sup> ), мг/л	0,88	-0,39	0,06	-0,06	0,21	-0,02
C(Mg <sup>2+</sup> ), мг/л	0,76	-0,60	-0,01	0,04	0,06	0,11
C(Ca <sup>2+</sup> ), мг/л	0,86	-0,37	0,05	-0,16	-0,05	0,12
C(Cl <sup>-</sup> ), мг/л	0,89	-0,19	0,04	-0,30	0,16	-0,05

1	2	3	4	5	6	7
C(SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	0,84	-0,03	0,11	-0,39	-0,22	-0,20
ЭП, мкСм/см	0,93	-0,28	0,09	-0,03	-0,01	-0,09
ОНУ, мг/л	0,88	-0,32	0,07	0,04	-0,01	0,23
ОУ, мг/л	0,85	0,15	0,38	-0,26	0,03	0,10
ООУ, мг/л л	0,45	0,54	0,52	-0,44	0,06	-0,06
ОА, мг/л	0,61	-0,31	0,10	0,67	-0,05	-0,17
OD <sub>254</sub>	-0,52	0,18	0,66	0,30	0,38	-0,004
I <sub>230,300</sub>	0,82	0,34	-0,42	0,06	0,01	0,037
I <sub>230,320</sub>	0,77	0,42	-0,43	0,07	0,12	0,001
I <sub>230,350</sub>	0,92	0,29	-0,17	0,04	0,11	-0,09
I <sub>230,420</sub>	0,76	0,35	0,36	0,33	-0,18	0,07
I <sub>270,320</sub>	0,79	0,41	-0,40	0,11	0,11	0,02
I <sub>270,350</sub>	0,89	0,34	-0,19	0,11	0,01	0,05
I <sub>270,420</sub>	0,74	0,38	0,46	0,27	-0,20	0,06

ГК1 имеет сильные положительные нагрузки по концентрациям главных ионов и ЭП (от 0,76 до 0,93), а также сильную положительную нагрузку по ОУ, что ожидаемо, так как ОНУ является частью ОУ. Также умеренные и сильные нагрузки для ГК1 были для параметров, связанных с антропогенными загрязнителями, такими как ОА (0,61) и флуоресценция белкового и гуминового типа (от 0,77 до 0,92). Напротив, нагрузка по OD<sub>254</sub> была умеренная и отрицательная (-0,52). Таким образом, из этих чисел следует, что при снижении OD<sub>254</sub> происходит повышение значений остальных переменных. Исходя из этих результатов, выдвинуто предположение, что ГК1 представляет основную часть примесей сточных вод – растворенные соли и органические вещества (излучающие флуоресценцию белкового и гуминового типа). Уменьшение OD<sub>254</sub> после загрязнения объясняется высокими естественными фоновыми концентрациями хромофоров гуминовых веществ в незагрязненной речной воде.

ГК2 имеет умеренные и слабые положительные нагрузки для ООУ, OD<sub>254</sub> и I (белкового и гуминового типа) и отрицательные нагрузки (умеренные и слабые) для остальных переменных. Можно предположить, что ГК2 представляет собой органические примеси, содержащие хромофоры и флуорофоры, а снижение их концентраций при увеличении содержания солей объясняется коагуляционным действием последних.

ГК3 также представляет органические примеси с высокими OD<sub>254</sub>, но с флуоресценцией только гуминового типа (слабые положительные нагрузки по этим переменным и умеренная по ООУ). Такой набор указывает на органические вещества природного (скорее почвенного) происхождения (особенно при отрицательной нагрузке на ОА и флуоресценцию белкового типа).

ГК4 имеет положительные нагрузки по OD<sub>254</sub>, флуоресценции гуминового типа и ОА (при отрицательной нагрузке по ООУ и околонулевым нагрузкам по флуоресценции белкового типа). Такое сочетание сложно интерпретировать.



Таким образом, выполненное исследование показало, что 65% дисперсии значений рассмотренных показателей воды реки Охты объясняется загрязнением сточными водами. На основании полученных нагрузок на ГК1 авторы предлагают для мониторинга загрязнений Охты использовать экспресс-методы анализа с измерением ЭП,  $OD_{254}$  и  $I_{230,350}$  (или  $I_{270,350}$ ). Сигналом загрязнения будет одновременное повышение ЭП и  $I_{230,350}$  (или  $I_{270,350}$ ) со снижением  $OD_{254}$ . Количественные значения показателей, интерпретируемые как природный фон, следует установить в последующих исследованиях.

#### Библиографический список

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 2. Карелия и Северо-запад. Ч. 1. Л. : Гидрометеиздат, 1972. 527 с.
2. Оптические характеристики сточных вод политехнического университета / М. Ю. Андрианова, Е. А. Бондаренко, А. С. Михайлова и др. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.02.08 // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2018. № 2 (30). С. 110–123.
3. Applicability of fluorescence and absorbance spectroscopy to estimate organic pollution in rivers / Н. G. Knapik, C. V. S. Fernandes, J. C. R. de Azevedo, M. F. do Amaral Porto. DOI: 10.1089/ees.2014.0064 // Environmental Engineering Science. 2014. Vol. 31. No. 12. P. 653–663.
4. Андрианова М. Ю., Молодкина Л. М., Данилов В. М. Спектрофлуориметрический анализ природных и питьевых вод // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2007. № 1 (49). С. 141–148.
5. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2015 году / под ред. И. А. Серебрицкого. СПб. : ООО «Сезам-принт», 2016. 168 с.
6. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Нева. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна [Электронный ресурс] – URL: [https://www.nord-west-water.ru/upload/information\\_system\\_18/3/2/8/item\\_32845/information\\_items\\_property\\_7374.pdf](https://www.nord-west-water.ru/upload/information_system_18/3/2/8/item_32845/information_items_property_7374.pdf) (дата обращения: 05.11.2024).

### ПОКАЗАТЕЛИ ЗАМЕДЛЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ И ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ В ОЦЕНКЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВОДОРОСЛИ *CHORELLA VULGARIS* К ИОНАМ МЕДИ И БИХРОМАТУ КАЛИЯ

*М. В. Карпов, К. И. Мошненко, Н. К. Артына, Ю. С. Григорьев*  
Сибирский федеральный университет,  
*karpov1498@mail.ru, gr2897@gmail.com*

В статье представлены результаты экспериментов по определению чувствительности водоросли хлорелла к токсикантам. Проведено сравнение способов установления токсического действия бихромата калия и ионов меди с путем измерения оптической плотности и замедленной флуоресценции суспензии клеток водоросли.

Ключевые слова: биотестирование, токсичность, ионы меди, бихромат, *Chlorella vulgaris*, замедленная флуоресценция, оптическая плотность.

Повышение эффективности методов биотестирования посредством сокращения времени эксперимента для более оперативного определения потенциальной угрозы природным компонентам является одним из актуальных запросов в сфере контроля качества среды [1]. В биотестировании водных сред с использованием микроводорослей в качестве тест-организма одним из успешных решений данного вопроса является замедленная флуоресценция (ЗФ) хлорофилла. Интенсивность этого вида свечения, быстро затухающего после выключения возбуждающего света, зависит от численности и фотосинтетической активности клеток тест-культуры водоросли [2].

На основе измерения относительного показателя замедленной флуоресценции (ОПЗФ) [3] в Сибирском федеральном университете (СФУ) разработана оперативная методика биотестирования токсичности разных сред [4]. Данный показатель, регистрируемый в течение нескольких секунд в виде отношения интенсивности быстрых и медленных компонент затухания свечения, возбуждаемого светом высокой и низкой интенсивности, при токсическом воздействии на фотосинтез растения (тест-культуры водоросли хлорелла) многократно снижается [3]. В другой методике биотестирования, созданной в СФУ [5], в качестве показателя воздействия токсикантов на водоросль хлорелла, использована оптическая плотность суспензий тест-культуры, выросшей в контрольной (без токсикантов) и опытной пробах.

В связи с этим, целью данной работы является сравнение показателей замедленной флуоресценции и оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла в оценке воздействия ионов меди и бихромата калия в токсикологическом эксперименте.

В качестве показателей замедленной флуоресценции были взяты показатель ОПЗФ [4], который характеризует состояние фотосинтетического аппарата водоросли, и величина замедленная флуоресценция, возбуждаемая светом высокой интенсивности (ЗФв), которая позволяет оценить изменение численности живых клеток в тест-культуре. В качестве тест-организма использовалась лабораторная культура водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer. Согласно методике [5], хлорелла выращивалась в культиваторе КВ-05 при температуре 36 °С и интенсивности света 60 Вт/м<sup>2</sup>. Водоросль культивировалась на 10% питательной среде Тамия объемом 75 мл.

Для измерения ОПЗФ суспензия водоросли, согласно методике [4], разбавлялась дистиллированной водой до оптической плотности 0,020, разливалась по 5 мл в «пенициллиновые» флаконы, в которые в трех повторностях вносились растворы сульфата меди и бихромата калия в концентрациях 0,005; 0,01 и 0,02 мг Cu<sup>2+</sup>/л и 0,2; 0,4 и 0,8 мг/л, соответственно. Приготовленные пробы устанавливались для засветки на 1 ч в культиватор КВМ-05 при температуре 36 °С. После светового облучения содержимое флаконов переливалось

в кюветы флуориметра Фотон 10 для регистрации показателей замедленной флуоресценции.

В экспериментах с использованием оптической плотности тест-культура водоросли хлореллы, согласно методике [5], доводилась до оптической плотности 0,005 средой Тамия 2% и разливалась в объёме 5,5 мл в «пенициллинки», в которые в таких же концентрациях вносились оба токсиканта. После 22 ч выращивания тест-культур при температуре 36 °С измерялась оптическая плотность выросших суспензий клеток на приборе ИПС-03. После перенесения содержимого флаконов в кюветы флуориметра Фотон 10, регистрировались показатели ЗФ в пробах.

Проведенные эксперименты показали (рис. 1), что после 1 ч светового облучения воздействие ионов меди и бихромата калия проявляется в снижении как величины относительного показателя замедленной флуоресценции (ОПЗФ), так и показателя замедленной флуоресценции, возбуждаемой светом высокой интенсивности (ЗФв). При этом процент подавления свечения в большей степени выражен по показателю ОПЗФ, чем ЗФв.

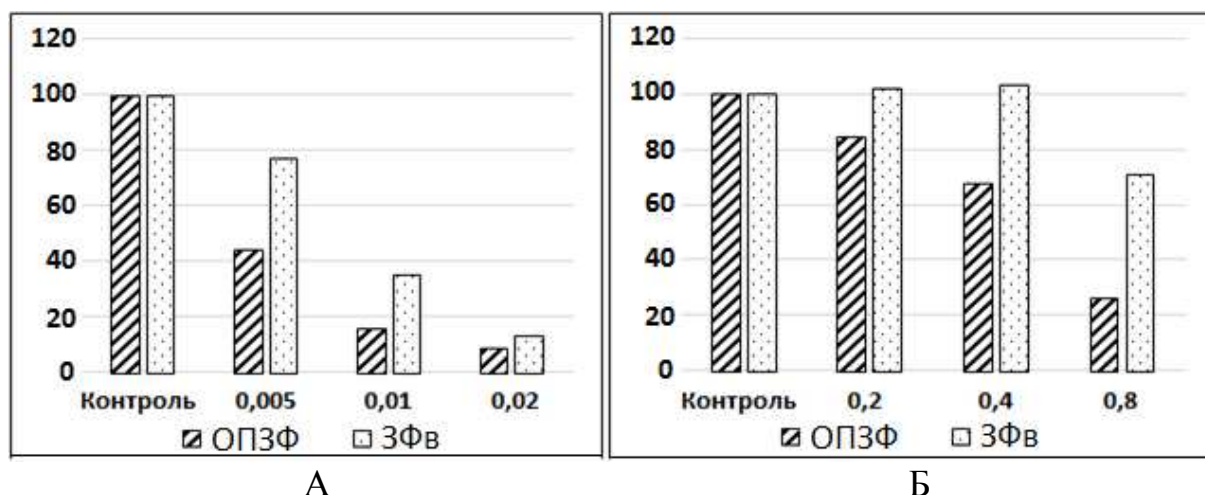


Рис. 1. Значение показателей замедленной флуоресценции суспензии водоросли хлорелла (в % от контроля) после 1 ч засветки в средах с различными концентрациями (мг/л) ионов меди (А) и бихромата калия (Б)

*Примечание* (к рисункам 1 и 2 и таблице): ОПЗФ – относительный показатель замедленной флуоресценции, ЗФв – показатель замедленной флуоресценции, возбуждаемой светом высокой интенсивности.

Обнаруженные различия между регистрируемыми показателями можно объяснить тем, что величина ОПЗФ зависит как от интенсивности замедленной флуоресценции, возбуждаемой светом как высокой (ЗФв), так и низкой интенсивности (ЗФн). При воздействии токсикантов на фотосинтетический аппарат быстрые компоненты послесвечения, регистрируемые на высоком свете, подавляются, что проявляется в снижении интенсивности ЗФв. Медленные компоненты затухания, преобладающие на низком возбуждающем свете (ЗФн), в этих условиях возрастают уже при более низких концентрациях токсикантов. В результате величина отношения этих показателей (ОПЗФ)

при подавлении фотосинтеза снижается значительно сильнее, чем ЗФв, что делает данный параметр более чувствительным в оценке токсического воздействия.

Результаты проведенных токсикологических экспериментов при 22 часовом выращивании тест-культуры водоросли представлены на рисунке 2. В этих условиях воздействие исследованных токсикантов на рост численности клеток относительно контрольного варианта проявляется как в снижении замедленной флуоресценции, так и оптической плотности суспензии водоросли. Однако ОПЗФ выросшей тест-культуры при действии ионов меди уменьшается в меньшей степени, чем два других показателя.

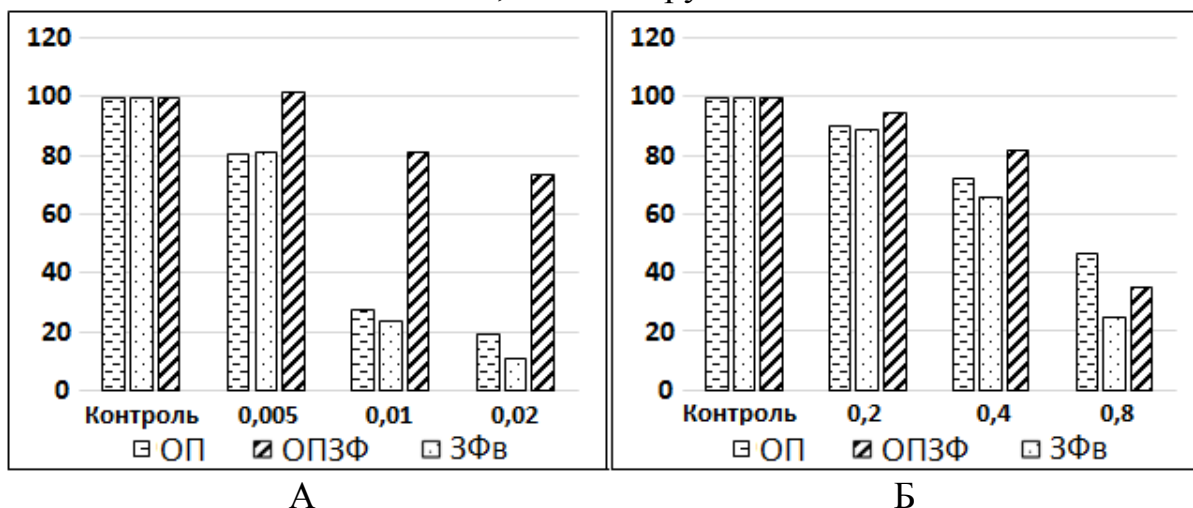


Рис. 2. Значение показателей замедленной флуоресценции и оптической плотности (ОП) суспензии водоросли хлореллы (в % от контроля) после 22 ч культивирования в средах с различными концентрациями (мг/л) ионов меди (А) и бихромата калия (Б)

Значительное снижение оптической плотности при воздействии ионов меди обусловлено в первую очередь задержкой роста численности клеток в тест-культуре. По этой же причине уменьшается и интенсивность свечения (ЗФв) суспензии. При этом слабая реакция ОПЗФ на ионы меди, в силу относительности данного показателя, может быть вызвана тем, что даже небольшая часть выживших клеток продолжила размножаться, давая потомство с активно работающим фотосинтетическим аппаратом. Такая ситуация, на наш взгляд, возможна вследствие сравнительно низких действующих концентраций ионов меди. Обладая высокой способностью проникать в клетки и связываться с ними, вносимая во флакон концентрация этого токсиканта будет быстро снижаться в среде, позволяя сохранившимся клеткам продолжать свой рост. Бихромат калия, который вызывает токсическое воздействие на 1–2 порядка больших концентрациях и его действие проявляется не сразу, сохраняет достаточную концентрацию в среде, тем самым оказывает токсический эффект в течение всего периода культивирования.

В таблице приведены рассчитанные значения эффективных концентраций исследованных токсикантов в их токсическом воздействии на тест-

культуру водоросли хлореллы, оцениваемого с использованием показателей ЗФ и оптической плотности.

Таблица

**Концентрации бихромата калия и ионов меди, оказывающие 50% воздействие на показатели замедленной флуоресценции и оптической плотности тест-культуры**

Показатель		ОПЗФ (1 ч)	ЗФВ (1 ч)	Оптическая плотность (22 ч)	ЗФВ (22 ч)	ОПЗФ (22 ч)
ЕС50, мг/л	Cu <sup>2+</sup>	< 0,005	0,0078	0,0075	0,0073	> 0,02
	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,54	> 0,8	0,73	0,53	0,64

Приведенные данные показывают, что параметр ОПЗФ выявляет воздействие более низких концентраций токсикантов после короткого времени светового облучения тест-культуры водоросли. При длительном периоде культивирования эффективность данного параметра снижается. В этих условиях проведения токсикологического эксперимента лучше работают показатель ЗФВ и оптическая плотность выращенных проб водоросли хлореллы. При этом величина интенсивности свечения, возбуждаемого высоким светом, может служить показателем численности клеток тест-культуры водоросли при проведении биотестирования.

**Библиографический список**

1. Олькова А. С., Будина Д. В., Даровских Л. В. Анализ результатов биотестирования: особенности, проблемы, подходы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 680–686.
2. Использование замедленной флуоресценции хлорофилла водорослей для биотестирования загрязнений / Д. Н. Маторин, О. В. Яковлева, Д. А. Тодоренко и др. DOI: 10.29039/rusjbrs.2022.0525 // Экологическая биофизика. 2022. Т. 7, № 2. С. 339–342.
3. Пат. 2 482 474. РФ, МПК G01N 33/00 (2006.01). Способ биотестирования токсичности вод и водных растворов : № 2011102403/15 : заявл. 21.01.2011 : опубл. 01.05.2013 / Григорьев Ю. С., Андреев А. А., Кравчук И. С., Гекк П. И. 8 с.
4. ПНД ФТ 14.1:2:4.16-09, Т 16.1:2.3:3.14-09. Токсикологические методы контроля. Методика измерений относительного показателя замедленной флуоресценции культуры водоросли (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных, природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. М., 2014. 36 с.
5. ПНД ФТ 14.1:2:3:4.10-04, Т 16.1:2:2.3:3.7-04. Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных, природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. М., 2014. 38 с.

# ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА РЕКИ ПРИТОЧНОЙ КРАСНОАРМЕЙСКОГО РАЙОНА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

*В. Э. Мышко, В. Н. Макарова*

*Владивостокский государственный университет,  
boyikova@mail.ru*

В статье представлен опыт оценки воздействия добычи рассыпного золота в водоохранной зоне реки Приточной Красноармейского района Приморского края. Определены особенности данного вида воздействия и нормативная методика, пригодная для численной оценки данного вида воздействия.

Ключевые слова: добыча, биологические ресурсы, рассыпное золото, месторождение, охрана окружающей среды.

В силу развития человечества все время требуется постоянное поступление природных ресурсов для различных его нужд. Одним из важнейших ресурсов являются ценные металлы, которые используются в различных областях жизнедеятельности населения.

Россия является одной из лидирующих стран по количеству запасов золотых месторождений [1–5]. Ввиду распространенности и развитости горнодобывающей промышленности она вносит существенный вклад в деградацию природной среды и загрязнение экосистем.

За счет своих свойств, таких как тягучесть, ковкость и прочность, золото широко использовалось человеком на протяжении всей истории цивилизации. Золотодобыча как промышленность многофакторно воздействует на природную среду:

- атмосферными выбросами в результате использования техники;
- утилизацией отходов в виде попутно добытых ископаемых;
- механическим повреждением, разрыхлением или уплотнением почвенного покрова, вследствие чего изменяется его режим фильтрации влаги и воздухообмена;
- разрушением места обитания биоты;
- возникновением аварийных ситуаций (возможность затопления карьеров паводковыми водами, прорыв дамб, разрыв магистрального трубопровода, пожары) [6].

Безусловно, технологии разработки полезного ископаемого зависят от экономической целесообразности, геоморфологических особенностей рассматриваемой местности, безопасности для человека и экосистемы, прогнозируемой эффективности их применения [7]. Однако основным параметром для выбора способа отработки месторождения является его тип.

Существуют коренные месторождения металла, то есть золото в виде вкраплений в кварцевые или иные интрузивные породы, в которых залегают большая часть золота на планете, и россыпные – скопления обломочного материала в рыхлых отложениях (песках или галечниках). Золотые россыпи образуются в результате разрушения золотосодержащих руд и их дальнейшего осаждения. Аллювиальные россыпи представляют самую большую промышленную ценность, расположены, как правило, в старицах и действующих руслах. В России они сосредоточены в бассейнах сибирских и дальневосточных рек.

Организациям, задействованным в отрасли, обязательно согласование деятельности с компетентными государственными органами, осуществляющими надзор в сфере природопользования, разработка проектов по соблюдению природоохранных мероприятий и их выполнение.

Разработка месторождений россыпного золота в большинстве своем происходит в водоохраных зонах рек, что влечет за собой химическое, механическое, шумовое воздействие на водоем и снижает качество жизни гидробионтов.

Природоохранными мероприятиями невозможно полностью предотвратить негативное воздействие на окружающую среду, однако техническим проектом предусмотрено сведение рисков загрязнения и нарушения экосистемы к минимуму. Работа обогатительного оборудования предполагается на оборотном водоснабжении с расположением хвостов обогащения в отработанном пространстве; по мере продвижения фронта работ будет строиться каскад отстойников, что обеспечит гарантированную очистку дренажных вод, просачивающихся через дамбы.

Емкости отстойников заранее рассчитаны на достаточный объем во избежание их разрушения в период ливней. С целью предотвращения загрязнения естественных водотоков, они будут отведены за пределы производства по нагорным каналам. Производство работ в русле не планируется, они будут вестись вдоль побережья, что исключит воздействие на дно водного объекта. Забор воды из реки не предусмотрен, поскольку водоснабжение будет осуществляться из искусственных водосборников.

Планируется устройство септика для задержания и анаэробного сбраживания осадков хозяйственно-бытовых сточных вод с бытовых вагон-домов, что исключает загрязнение окружающей среды неочищенными стоками.

Склад горюче-смазочных материалов будет располагаться на плотных суглинках вдали от водоохранной зоны для предотвращения просачивания нефтепродуктов в водный объект. Отходы производства в виде отвалов вскрышных пород и отвалов хвостов обогащения будут использоваться для строительства дамб и плотин различного назначения, внутрикарьерных дорог. По окончании добычных работ проводится рекультивация земель путем возвращения отходов в ранее выработанные пространства. Карьер и все элементы карьерной разработки являются некапитальными сооружениями, создают

ся на период проведения работ и подлежат ликвидации по истечении сроков их выполнения.

Для оценки воздействия необходимо охарактеризовать биоресурсы, местом обитания которых является река Приточная. Основные сообщества рыб в реке Приточной представлены синузией лососевых пород: острорылым и тупорылым ленком, нижеамурским и желтопятнистым хариусом, сибирским тайменем. Данные виды нерестятся в пойме и потому страдают в большей степени, чем псаммофилы лефуа, сибирский голец, голяны амурский, Лаговского и Чекановского, а также дальневосточная ручьевая минога. Голопланктон, обитающий в толще воды, отсутствует, как и постоянная кормовая база в виде фитопланктона, зообентос представлен амфибиотическими насекомыми. Следует отметить, что река не является местом зимовки: на холодный период рыбы скатываются в реку Большую Уссурку.

Факторы учитываются по «Методике определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния», утвержденной приказом Федерального агентства по рыболовству Российской Федерации от 06.05.2020 г. № 238, в соответствии с которой в дальнейшем произойдет исчисление размера вреда [8]. К ним нельзя отнести утрату места зимовки, поскольку река таковой не является.

Водозабор, вылов гидробионтов, воздействие на дно водного объекта и сбросы загрязняющих веществ не предполагаются в ходе работ, следовательно, невозможно рассчитать гибель кормовых организмов или молоди рыб при нарушении дна, использовании водных биологических ресурсов, заборе воды, а также гибель рыб, личинок, ранней молоди или снижение продуктивности фитопланктона в зонах повышенной концентрации взвешенных веществ ввиду исключения загрязнения. Однако при этом невозможно избежать либо устранить изменения естественного стока с поверхности водосборного бассейна, откуда река получает свое питание большую часть времени, и сокращение мест нагула гидробионтов.

Соответственно, основное влияние разработки россыпного золота на реку Приточную, будет оказано за счет утраты общей рыбопродуктивности поймы и естественного стока с деформированной поверхности водосборного бассейна, что и будет учитываться при расчетах.

#### **Библиографический список**

1. Комащенко В. И., Голик В. И., Дребенштедт К. К. Влияние деятельности геологоразведочной и горнодобывающей промышленности на окружающую среду. М. : КДУ, 2020. 356 с.
2. Масштаб экологических последствий добычи россыпного золота в бассейне р. Амур / Е. А. Симонов, Е. Г. Егидарев, Ю. А. Калашникова и др. [Электронный ресурс]. –



URL: [https://ecodelo.org/18010-masshtab\\_ekologicheskikh\\_posledstviy\\_dobychi\\_rossypnogo\\_zolota\\_v\\_basseine\\_r\\_amur-okhrana\\_okruz](https://ecodelo.org/18010-masshtab_ekologicheskikh_posledstviy_dobychi_rossypnogo_zolota_v_basseine_r_amur-okhrana_okruz) (дата обращения: 16.04.2024).

3. Радомская В. И., Радомский С. М. Анализ влияния предприятий золотодобычи на состояние водных ресурсов // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. № 1–3. С. 920–923.

4. Россыпное золото и его добыча: этика, экология и проблемы [Электронный ресурс]. – URL: <https://dprom.online/metalls/rossypnoe-zoloto-i-ego-dobycha/> (дата обращения: 15.02.2024).

5. Денисова Н. А., Хайрятдинов Р. К. История разработки Кочкарского месторождения золота. DOI: 10.46689/2218-5194-2020-1-1-211-227 // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2020. № 1. С. 211–227.

6. Струков К. И. Проблемы и перспективы освоения золоторудных месторождений России. DOI: 10.46689/2218-5194-2020-1-1-5-21 // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2020. № 1. С. 5–21.

7. Особенности формирования техногенной емкости на базе существующих внешних отвалов вскрышных пород / О. В. Зотеев, И. А. Пыталев, В. В. Якшина, И. В. Гапонова DOI: 10.25635/IM.2019.30.37292 // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2019. № 3. С. 22–36.

8. Eisler R., Wiemeyer S.N. Cyanide hazards to plants and animals from gold mining and related water issues. DOI: 10.1007/978-1-4419-9100-3\_2 // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology / Ed. G. W. Ware. New York, NY: Springer, 2004. Vol. 183. P. 21–54.

## **БИОДИАГНОСТИКА ТОКСИЧНОСТИ ТКАНЕЙ РЫБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЦЕЛЬНОКЛЕТОЧНЫХ БИОСЕНСОРОВ**

***О. Д. Лановая, А. Е. Полиниченко, Ш. Х. Карчава, М. В. Климова,  
И. С. Сазыкин***

*Южный федеральный университет, lanovaia@sfnedu.ru*

В данной работе представлены исследования токсичности тканей 6 видов рыб, обитающих в Азовском море. Для исследования были отобраны ткани жабр, кишечника и печени рыб; измерение токсичности проводилось с использованием цельноклеточных бактериальных lux-биосенсоров. В тканях исследуемых особей отмечена высокая интегральная токсичность, кроме того, были обнаружены генотоксиканты и вещества, вызывающие окислительный стресс, наибольшее содержание которых характерно для тканей печени.

Ключевые слова: сельдь, хамса, бычок, сарган, мерланг, тюлька, Азовское море, бактериальные lux-биосенсоры, биотестирование, биотоксичность.

Азовское море, несмотря на небольшую по сравнению с другими морями России площадь, является важным объектом, как с рекреационной, так и с промышленной точки зрения [1]. Однако в последние десятилетия значимость Азовского моря как рыбопромыслового района стремительно падает из-за уменьшения рыбного улова, вызванного увеличивающейся антропогенной нагрузкой на данную акваторию [2].

Исследования последних лет говорят об увеличении концентрации поллютантов в воде и, более того, кратном превышении допустимой нормы содержания ряда загрязнителей: свинца, меди, ртути, мышьяка и других металлов [3, 4]. В результате загрязнители могут аккумулироваться в живых организмах, что влияет на качество и количество добываемых морепродуктов, и, в свою очередь, может оказать влияние и на здоровье человека [5], что подчеркивает актуальность данной работы.

Оценка содержания поллютантов в воде Азовского моря химическими методами не эффективна, т.к. она не дает информации о биодоступности загрязнителей и их влиянии на живые организмы. Поэтому на передний план выходят биологические методы оценки загрязнения [6, 7]. В рамках данной работы было оценено не наличие загрязняющих компонентов в тканях рыб, а исследован оказываемый ими токсичный эффект. Использование цельноклеточных биосенсоров позволит оценить действие поллютантов, аккумулируемых в тканях, на живые организмы.

Целью данной работы была оценка токсичности тканей рыб, обитающих в Азовском море, с использованием батареи цельноклеточных бактериальных lux-штаммов. Для оценки интегральной токсичности был использован штамм *Vibrio aquamarinus* ВКПМ В-11245. Наличие генотоксикантов исследовано с использованием штаммов *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux) и *E. coli* MG1655 (pRecA-lux). Наличие веществ, вызывающих окислительный стресс оценено с помощью *E. coli* MG1655 (pSoxS-lux) и *E. coli* MG1655 (pKatG-lux). Вещества, нарушающие целостность клеточных мембран и денатурирующие белки, обнаружены с помощью штаммов *E. coli* MG1655 (pFabA-lux) и *E. coli* MG1655 (pGpE-lux).

Объектами исследования послужили ткани кишечника, жабр и печени 6 видов рыб Азовского моря, которые выступали в качестве биоиндикаторов: *Alosa immaculata* (Bennett, 1835) – черноморско-азовская проходная сельдь, *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) – европейский анчоус, или азовская хамса, *Proterorhinus marmoratus* (Pallas, 1814) – бычок-цуцик, *Belone belone* (Linnaeus, 1761) – обыкновенный сарган, *Merlangius merlangus* (Linnaeus, 1758) – черноморский мерланг, *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) – тюлька обыкновенная, или черноморско-азовская тюлька.

Токсичность оценивалась путем сравнения уровня люминесценции опытных проб с контрольной. Для штамма *Vibrio aquamarinus* рассчитывался индекс токсичности «Т», который призван оценить интегральную токсичность пробы. В исследовании использовалось следующее ранжирование: допустимый уровень токсичности ( $T < 20$ ), токсичный ( $20 \leq T$ ) и высокотоксичный ( $T \geq 50$ ). Для индуцируемых биосенсоров на основе *E. coli* был рассчитан истинный фактор индукции «I». При статистически значимых ( $p < 0,05$ ) отличиях опытных вариантов от контрольных  $I \leq 2$ , обнаруженный эффект оценивали как «слабый», при  $2 \leq I \leq 10$  – как «средний» и при  $10 \leq I$  – как «сильный» эффект. Подробный протокол тестирования и расчета индекса токсич-

ности и фактора индукции подробно описаны в работах [8, 9]. Все эксперименты проводили в трех независимых повторностях.

Полученные результаты измерения интегральной токсичности представлены на рисунке 1, данные об уровне генотоксичности, супероксидного и пероксидного окислительного стресса, повреждения клеточных белков и мембран представлены на рисунке 2.

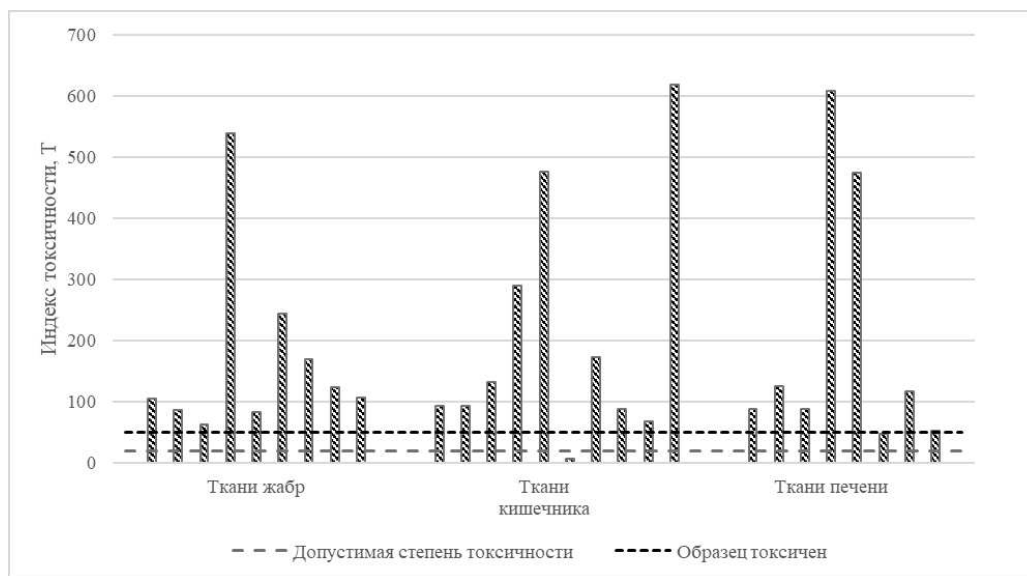


Рис. 1. Интегральная токсичность тканей рыб, исследованная с использованием штамма *V. aquamarinus* ВКПМ В-11245

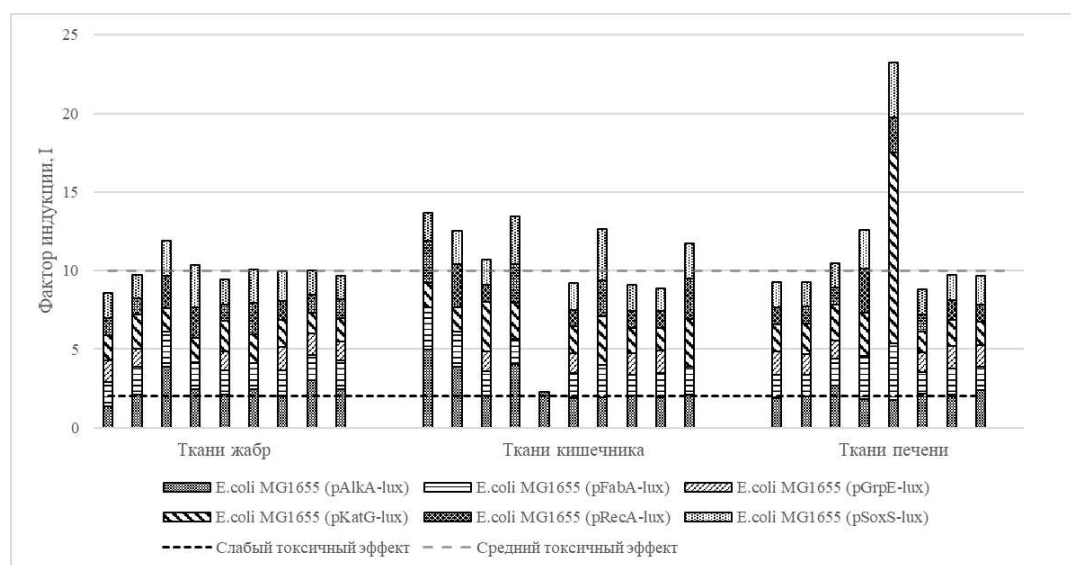


Рис. 2. Токсичность тканей рыб, обусловленная наличием генотоксикантов, веществ, вызывающих окислительный стресс, повреждение белков и мембран

Для всех проб характерна крайне высокая интегральная токсичность, отмеченная во всех исследуемых тканях. Такой высокий уровень оказываемого токсического эффекта может говорить о высоком содержании поллютантов в тканях рыб, который и обуславливает биотоксичность образцов.

В тканях рыб зарегистрирован средний токсический эффект, обусловленный присутствием генотоксикантов, веществами, вызывающими окислительный стресс и повреждение белков и мембран. Однако для части образцов характерна высокая токсичность.

Наибольшее количество вызывающих окислительный стресс веществ зафиксировано в тканях печени. Возможно, это связано с тем, что печень является важным детоксикантом загрязнителей, попадающих в организм рыбы из окружающей среды, что может приводить к накоплению части токсикантов, таких как тяжелые металлы [10, 11]. В Азовском море, в связи с ростом сельскохозяйственной деятельности на Юге России, концентрация ряда тяжелых металлов в разы превышает допустимую [4], что может отражаться на их накоплении в организме рыб. Накопление ионов тяжелых металлов может приводить к росту интенсивности свободно-радикальных процессов, а в дальнейшем и окислительному стрессу [12].

И в печени, и в жабрах рыб, по сравнению с тканями кишечника, было зафиксировано повышенное содержание веществ, вызывающих денатурацию белков и повреждение клеточных мембран. Кроме того, для жаберной ткани характерна высокая генотоксичность.

Жабры являются местом обмена и выведения из организма рыбы поллютантов, играют активную роль в поглощении ионов и выводят продукты азотистого обмена. К продуктам азотистого обмена, в частности, относится аммиак, который в повышенных концентрациях способен оказывать мутагенное действие. На повышение уровня аммиака также может влиять и цветение микроводорослей и планктона, которое лавинообразно растет в Азовском море [13]. Повышенная концентрация ионов тяжелых металлов в околожаберном пространстве также может оказывать токсическое действие. На основе этих данных можно говорить о том, что жабры рыб являются местом повышенной мутагенной активности, при этом мутагенному воздействию могут подвергаться как клетки самих жабр, так и микробиота, что может объяснить повышенную генотоксичность образцов, выделенных из жабр по сравнению с образцами из других тканей.

В целом в печени и жабрах был зафиксирован более высокий уровень токсичности по сравнению с тканями кишечника, что указывает на их большую аккумуляционную способность.

Проведение дальнейших исследований в этой области поможет в понимании механизма накопления загрязняющих веществ и их влияния на живые организмы.

*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. Волкова Т. А. Роль побережья Черного и Азовского морей в структуре туристско-рекреационного комплекса прибрежных субъектов Российской Федерации. DOI: 10.31161/1995-0675-2019-13-4-72-77 // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2019. Т. 13, № 4. С. 72–77.
2. Качан Л. К. Анализ экологической обстановки в бассейне Азовского моря: чистая вода и чистый воздух // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 1999. Т. 14, № 4. С. 156–160.
3. Кораблина И. В., Котов С. В., Барабашин Т. О. Азовская тарань как показатель антропогенного загрязнения экосистемы Азовского моря. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-84-103 // Труды ВНИРО. 2019. Т. 178. С. 84–103.
4. Буфетова М. В. Оценка потоков тяжелых металлов (Pb, Cd) в абиотических компонентах экосистемы Азовского моря. DOI: 10.24411/1728-323X-2018-14070 // Проблемы региональной экологии. 2018. № 4. С. 70–73.
5. Шагинян С.М., Саргсян М.А. Влияние тяжёлых металлов на здоровье рыб в озере Севан и отражение результатов на здоровье человека как их потребителя // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. Т. 35, № 4–2. С. 104–106.
6. Холоимова А. С. Биологические методы экологической диагностики как эффективный способ оценки качества природной среды // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2013. № 4. С. 33–37.
7. Галактионова Л. В., Терехова Н. А., Веденева Н. Г. Биологическая диагностика экологического состояния урбозкосистем. DOI: 10.24412/1816-1863-2022-3-24-29 // Экология урбанизированных территорий. 2022. № 3. С. 24–29.
8. Сазыкина М. А. Экотоксикологическая оценка водных экосистем с использованием биосенсоров на основе люминесцентных бактерий : спец. 03.00.16. : дис. ... д-ра биол. наук. Ростов н/Д, 2014. 358 с.
9. Biosensor-based comparison of the ecotoxicological contamination of the wastewaters of Southern Russia and Southern Germany / I. S. Sazykin, M. A. Sazykina, L. E. Khmelevtsova et al. DOI: 10.1007/s13762-016-0936-0 // International Journal of Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 13. No. 3. P. 945–954.
10. Multidrug efflux pumps from Enterobacteriaceae, *Vibrio cholerae* and *Staphylococcus aureus* bacterial food pathogens / J. L. Andersen, G. X. He, P. Kakarla et al. DOI: 10.3390/ijerph120201487 // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2015. Vol. 12. No. 2. P. 1487–1547.
11. Differential Cell Metabolic Pathways in Gills and Liver of Fish (White Seabream *Diplodus sargus*) Coping with Dietary Methylmercury Exposure / G. De Marco, B. Billè, F. Brandão et al. DOI: 10.3390/toxics11020181 // Toxics. 2023. Vol. 11. No. 2. Article No. 181.
12. Габараева З. Г., Макиева Д. Ч. Действие тяжелых металлов на организм человека. DOI: 10.24411/2076-1503-2020-00731 // Образование и право. 2020. № 11. С. 302–304.
13. Цианобактериальное «цветение» воды – источник проблем природопользования и стимул инноваций в России / В. А. Румянцев, Л. Н. Крюков, Ш. Ф. Поздняков, А. В. Жуковский // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2011. № 2. С. 222–228.

## ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОЯДЕРНОГО АНАЛИЗА С ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК В ПРЕДЕЛАХ ЦЕНТРАЛЬНОСИБИРСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

*С. А. Маковская*

*ФГБУ «Государственный природный заповедник «Центральносибирский»»,  
limendova@mail.ru*

В реках Красноярского края отмечаются загрязняющие вещества, превышающие норму ПДК. На территории заповедника протекают 2 реки: Енисей и Подкаменная Тунгуска. Не исключено влияние промышленного комплекса на участки рек, находящихся в охранной зоне. В связи с этим в заповеднике впервые применили метод микроядерного анализа на предмет загрязненности рек и влияния на популяции рыб. Данный метод является наиболее доступным и эффективным и основывается на выявленной зависимости частоты клеток с микроядрами от концентрации мутагенов. Получены первые результаты, требующие дальнейших исследований.

Ключевые слова: микроядерный анализ, заповедник «Центральносибирский», ядерные аномалии, микроядра, загрязнение рек.

Центральносибирский заповедник располагается в Туруханском районе Красноярского края. На охраняемой территории находится 60 км среднего течения р. Енисей, причем заповедны оба его берега, и 12-километровый отрезок его правого притока – р. Подкаменной Тунгуски. В водах биосферного резервата обитает 33 вида рыб, один из которых – сибирский осётр (*Acipenser baerii*), включённый как в Красную книгу Красноярского края, так и Российской Федерации [1].

Основная масса загрязнений поступает с крупных городов Красноярского края – Красноярска, Ачинска и Норильска. В крае активно развита цветная металлургия, топливно-энергетический комплекс и нефтегазовая отрасль. Остальные отрасли, например, животноводство и деревообрабатывающая промышленность, развиты не так масштабно. В основном, промышленные предприятия располагаются вблизи рек, что может привести к загрязнению и ухудшению качества воды. Согласно государственному докладу «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2022 год», в р. Енисей зарегистрированы следующие вещества: ионы цинка, марганца, алюминия, железа общего, кадмия, никеля, БПК и ХПК (биологическое и химическое потребление кислорода), нефтепродукты, азот нитритный, фенолы. Все перечисленные соединения превышают норму ПДК, вследствие чего некоторые участки Енисея определяются как грязные и очень грязные [2].

Расположение нефтегазовых месторождений в районе р. Подкаменной Тунгуски также не могло не сказаться на качестве её воды, классифицирую-

щейся как грязная. По ионам железа общего, ионам меди, ионам марганца, фенолам и ХПК регистрируется характерное загрязнение [2].

В связи с этим, необходимо исследовать антропогенное влияние на предмет загрязненности тех участков рек, которые находятся в охранной зоне заповедника. Так, при больших концентрациях загрязняющих веществ в геномах рыб начинают происходить мутации, одним из способов их регистрации является метод анализа частот возникновения в клетках микроядер (далее МЯ) – микроядерный тест. Экспериментально выявлена зависимость частоты клеток с МЯ от концентрации мутагенов. Данный метод является наиболее доступным и эффективным.

Данная методика заключается в анализе крови рыб на наличие в эритроцитах микроядер или ядерных аномалий (далее ЯА). МЯ в цитогенетике называют обособленный фрагмент хроматина эукариотической клетки, не включённый в состав основного клеточного ядра. ЯА подразумевают нарушения морфологии ядра [3].

Методика подразумевает проведение отбора крови, выполнение мазка, его дальнейшее высушивание, фиксацию, окраску и непосредственно анализ. Для получения более точных результатов необходимо выбрать те виды рыб, которые не совершают продолжительных миграций, а являются оседлыми. Также следует учитывать доступность ловли рыбы в течение года.

После изъятия рыбы из водоема кровь берут несколькими способами: из хвостовой артерии, из сердца или путем отсечения хвоста [4]. Перед забором крови это место обтирают сухой салфеткой для предупреждения попадания в кровь слизи и другой жидкости. Каплю крови наносят на чистое, обезжиренное предметное стекло и при помощи второго такого стекла, представленного под углом 45°, распределяют справа налево до исчерпания капли, не доходя до края стекла на 1–1,5 см. Простым карандашом маркируют мазок и оставляют высушиваться на воздухе. Потом мазок фиксируют в 96°-ном этиловом спирте и снова высушивают. Фиксированные мазки окрашивают в ядерном красителе Азур-эозина по Романовскому с добавлением дистиллированной воды в соотношении 1:10. Время окраски устанавливают опытным путем, обычно оно составляет от 20 до 40 минут. После этого препараты промывают под проточной водой, затем ополаскивают в 2–3 сменах дистиллированной воды для предупреждения остатка солей и дают высохнуть.

При анализе мазка сначала используют малое увеличение, чтобы найти зону, где эритроциты не перекрываются друг другом. Когда такая зона найдена, в это место наносят каплю иммерсионного масла и переводят на объектив с увеличением 90 и более раз. Экспериментальные данные показали, что оптимальным количеством анализируемых эритроцитов на одну особь является от 1000 до 3000. Так подсчитывают количество анализируемых эритроцитов, указывают количество нормальных и эритроцитов с МЯ и ЯА.

Следует отметить, что для полноты данных у исследуемых особей необходимо определить возраст и, по возможности, пол [5] (в зависимости от стадии созревания половых продуктов), а также дату и место отлова.

Так, в период с 20.01.2024 г. по 15.06.2024 г. была отловлена 21 особь, принадлежащая трем видам: ёрш обыкновенный (*Gymnocephalus cernua*) – 7, хариус сибирский (*Thymallus arcticus*) – 13, налим (*Lota lota*) – 1. Сделано 42 мазка крови. Рыба отлавливалась на территории заповедника «Центральносибирский» в р. Енисей и р. Подкаменной Тунгуске.

Подсчёт эритроцитов производился по 1500 на 1 особь, проанализировано 31500 эритроцитов. Из них нормальные эритроциты – 31329, аномальные эритроциты – 171, в том числе с МЯ – 86, ЯА – 85. У всех особей были обнаружены МЯ, ЯА обнаружены только у 16 особей. Частота клеток с микроядрами из общего числа проанализированных эритроцитов составляет –  $0,27 \pm 0,01\%$ , ядерных аномалий –  $0,27 \pm 0,01\%$ .

В ходе исследований были зарегистрированы следующие виды аномальных эритроцитов: эритроцит с микроядром, зазубренное ядро, ядро с впадиной, почковидное ядро, двулопастное ядро, хвостатое ядро с нитевидным концом, кариопикноз, лопастное ядро с примыкающей лопастью (рис.).

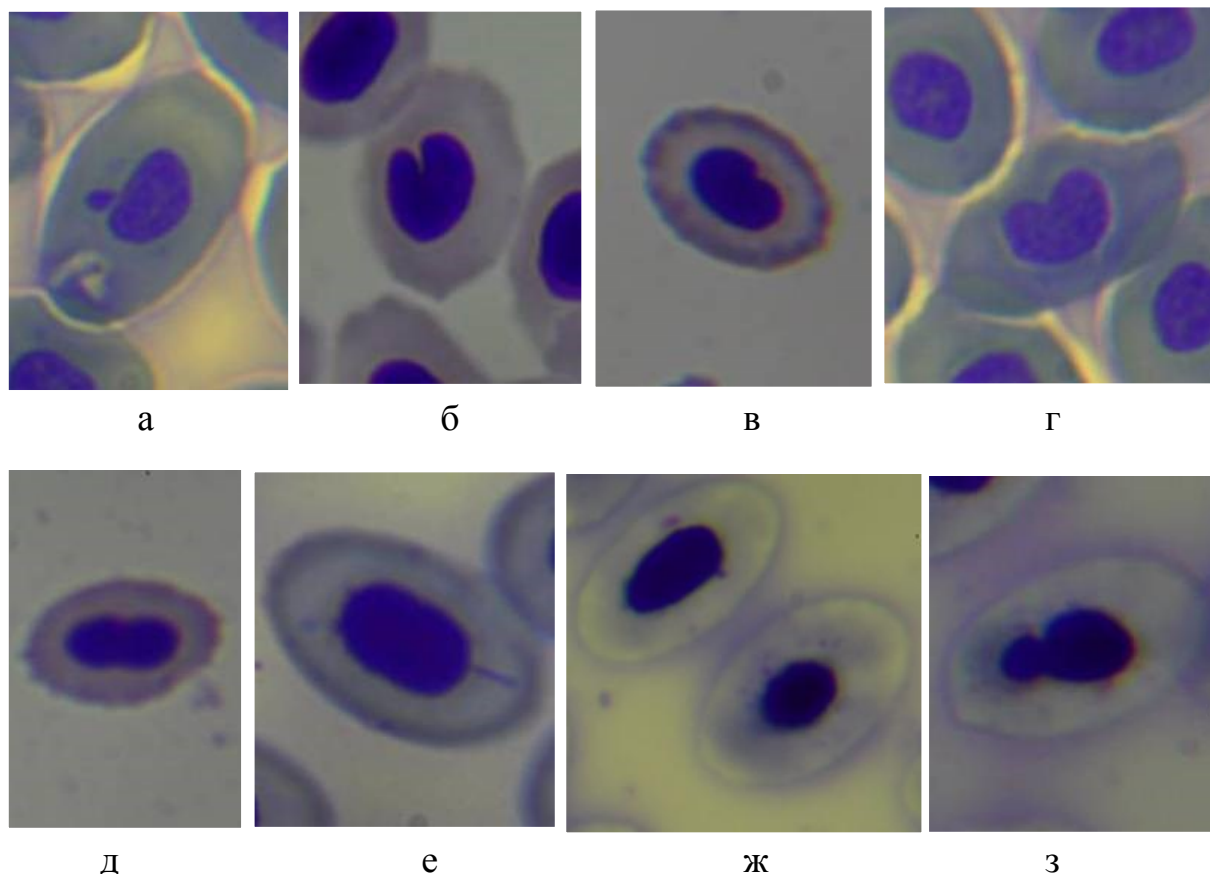


Рис. Аномальные эритроциты: а – эритроцит с микроядром; б – зазубренное ядро, в – ядро со впадиной, г – почковидное ядро, д – двулопастное ядро, е – хвостатое ядро с нитевидным концом, ж – кариопикноз, з – лопастное ядро с примыкающей лопастью

Таким образом, в Красноярском крае в связи активным развитием цветной металлургии, топливно-энергетического комплекса и нефтегазовой отрасли в реках отмечаются загрязняющие вещества, превышающие норму



ПДК. Так, вода, располагающаяся вблизи от нефтегазового месторождения на р. Подкаменная Тунгуска, классифицируется как грязная. Поскольку на территории заповедника протекают 2 реки: Енисей и Подкаменная Тунгуска, не исключено влияние промышленного комплекса на участки рек, находящиеся в охранной зоне. В связи с этим, в заповеднике впервые применили метод микроядерного анализа на предмет загрязненности рек и его влияния на популяции рыб. Данный метод является наиболее доступным и эффективным и основывается на выявленной зависимости частоты клеток с МЯ от концентрации мутагенов. Получены первые результаты, требующие дальнейших исследований.

#### **Библиографический список**

1. Центральносибирский государственный природный биосферный заповедник. Официальный сайт министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.mnr.gov.ru/activity/oopt/tsentralnosibirskiy\\_gosudarstvennyu\\_prirodnyu\\_biosfernyu\\_zapovednik/](https://www.mnr.gov.ru/activity/oopt/tsentralnosibirskiy_gosudarstvennyu_prirodnyu_biosfernyu_zapovednik/) (дата обращения: 05.02.2024).
2. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2022 год. Государственный доклад [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.mpr.krskstate.ru/dat/bin/art\\_attach/23022\\_svod\\_28.06.2023.pdf](http://www.mpr.krskstate.ru/dat/bin/art_attach/23022_svod_28.06.2023.pdf) (дата обращения: 05.02.2024).
3. Крюков В. И. Анализ микроядер и ядерных аномалий в эритроцитах рыб, амфибий, рептилий и птиц: критерии выявления и типирования : научно-методическое пособие. Красноярск : Научно-инновационный центр, 2023. 94 с.
4. Грачева О. А., Пахомов Г. А., Елдашев А. В. Методы взятия крови у разных видов животных, птиц и рыб : учебно-методическое пособие. Казань : ФГОУ ВПО Казанская ГАВМ, 2008. 34 с.
5. Масленникова О. В. Методика биологического анализа рыб : учебное пособие для лабораторно-практических занятий по промысловой ихтиологии и для учебной практики по зоологии для студентов биологического факультета направления 020400 – Биология. Киров : ВятГСХА, 2012. 21 с.

### **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КАЧЕСТВА ВОД КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗООБЕНТОСА**

***А. В. Мельникова***

*Татарский филиал ГНЦ ФГБНУ «ВНИРО», [d.bugensis@mail.ru](mailto:d.bugensis@mail.ru)*

В статье представлены результаты изучения экологического состояния Куйбышевского водохранилища с помощью биоиндикации по данным зообентоса за 2021–2023 гг., согласно которым по большинству индексов степень загрязненности вод в рассматриваемый период соответствовала «загрязненным» и IV классу качества.

Ключевые слова: биоиндикация, донная фауна, степень загрязненности, сапробность.

Куйбышевское водохранилище считается довольно сложным водным объектом, так как его режим находится под влиянием многих факторов как антропогенного, так и природного характера [1]. Экологическое состояние данного водоема, оцениваемое по химическим и биологическим показателям, соответствует в основном «умеренно-загрязненным водам» (III класс качества). Вблизи крупных городов, особенно таких, как г. Казань, воды относятся к «загрязненным» [1, 2]. По удельному комбинированному индексу загрязнения вод (УКИЗВ) на территории Республики Татарстан качество вод находится в пределах от «загрязненных» до «грязных» [3, 4]. По большинству индексов, основанных на данных зообентоса, верхние участки водохранилища по сапробности и трофности соответствуют мезосапробному типу и мезотрофной зоне загрязнения. В начале 2000-х гг. по величине фосфорной нагрузки и показателям зоопланктона водоем характеризовался как эвтрофный, по содержанию хлорофилла *a* – мезотрофный, а в маловодные и жаркие периоды – эвтрофный [5]. Комплексная оценка уровня загрязнения водохранилища в этот период по гидробиологическим показателям выявила, что наиболее неблагоприятная ситуация наблюдалась на приплотинном участке в придонном слое воды, где качество оценивалось как «грязные» – «загрязненные». Лучшее состояние отмечалось в центральной части водохранилища (Волго-Камский, Тетюшинский и Ундорский плесы) – «умеренно-загрязненные» [5].

Донные беспозвоночные часто используются в биологическом мониторинге качества вод различных водоемов. Благодаря их довольно длительному жизненному циклу можно говорить об происходивших процессах и изменениях за продолжительный период времени. Также зообентос считается одним из хороших индикаторов загрязнения токсическими и биогенными веществами, закисления, а также и эвтрофирования водоема. Существует много методов оценки по зообентосу, однако большая их часть основана на структурных характеристиках сообществ или на индикаторных значениях отдельных видов [5–7]. Цель данной работы – оценить современное состояние Куйбышевского водохранилища по показателям донной фауны.

Материалом послужили пробы зообентоса, отобранные дночерпателем Петерсена (с площадью захвата 0,025 м<sup>2</sup>) по общепринятым стандартным методам в гидробиологии в период 2021–2023 гг. на Куйбышевском водохранилище [10, 11]. Фиксировали пробы 96% спиртом. Всего было отобрано и обработано около 460 количественных проб донных беспозвоночных.

Для оценки качества вод по зообентосу имеется большое число методов и индексов, основанных на показательных значениях отдельных видов и разнообразии [11–13]. В данной работе были использованы индекс сапробности Пантле и Букка в модификации Сладечека (*S*), хирономидный индекс Е. В. Балускиной (*K*), индекс видового разнообразия Шеннона, рассчитанный по численности ( $H_N$ ) и биотический индекс Вудивисса (*БИ*) [12]. Для определения класса качества и степени загрязненности вод в работе применяли классификацию качества вод водоемов и водотоков по гидробиологическим и

микробиологическим показателям [9, 14]. При оценке сапробности водоема были использованы не только индикаторные значения аборигенных видов [15], но учитывались и чужеродные [16], так как они играют значительную роль в формировании донной фауны Куйбышевского водохранилища.

Зообентос в период 2021–2023 гг. на Куйбышевском водохранилище был представлен 171 таксоном, из них только 89 имели сапробную валентность (52% состава). Большая часть этих видов были индикаторами  $\beta$ -мезосапробной зоны загрязнения (43%), на втором месте находились  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапробы (30%). Расчет индекса сапробности ( $S$ ) как без учета вселенцев, так и вместе с ними показал, что воды в водохранилище соответствовали  $\alpha$ -мезосапробной зоне загрязнения и оценивались как «загрязненные» (IV класс качества; табл. 1).

Таблица 1

**Средние ( $M \pm m$ ), минимальные (min) и максимальные (max) значения и медиана индексов сапробности ( $S$ ), Е.В. Балускиной ( $K$ ), видового разнообразия Шеннона ( $H_N$ ) и Вудивисса ( $БИ$ ) по зообентосу в Куйбышевском водохранилище в 2021–2023 гг.**

Индекс	$M \pm m$	min–max	Медиана
$S$ , без учета вселенцев	2,82±0,02	1,08–3,80	2,83
$S$ , с учетом вселенцев	2,70±0,02	1,47–2,64	2,64
$K$	6,97±0,09	0,14–11,50	6,63
$H_N$ , бит/экз.	2,06±0,04	0,00–2,06	2,13
$БИ$	3,95±0,08	1,00–9,00	4,00

По индексам  $K$ ,  $H_N$  и  $БИ$  воды также оценивались как «загрязненные». Относительно низкие значения индекса видового разнообразия ( $H_N$ ) связаны с доминированием в зообентосе двустворчатых моллюсков рода *Dreissena*.

На глубоководных участках рассматриваемые показатели характеризовались достоверно большими значениями (ANOVA:  $p < 0,001$ ) по сравнению с мелководьями. Однако, несмотря на это, на обоих биотопах качество вод оценивалось как «загрязненные» (IV класс) и относилось к  $\alpha$ -мезосапробной зоне загрязнения (табл. 2).

Таблица 2

**Средние ( $M \pm m$ ) значения и медиана индексов сапробности ( $S$ ), Е. В. Балускиной ( $K$ ), видового разнообразия Шеннона ( $H_N$ ) и Вудивисса ( $БИ$ ) по биотопам на Куйбышевском водохранилище в 2021–2023 гг.**

Индекс	Прибрежные участки		Русловые участки	
	$M \pm m$	Медиана	$M \pm m$	Медиана
$S$ , без учета вселенцев	2,74±0,02	2,73	2,96±0,03	3,02
$S$ , с учетом вселенцев	2,66±0,03	2,60	2,76±0,03	2,71
$K$	6,70±0,11	6,50	7,48±0,17	7,29
$H_N$ , бит/экз.	2,15±0,05	2,13	1,90±0,07	1,94
$БИ$	4,25±0,11	4,00	3,45±0,09	3,00

Анализ пространственного изменения качества вод по водохранилищу показал, что наиболее худшее состояние по сапробности и индексу Е. В. Балушкиной выявлено на акватории Ундорского плеса. Однако при этом там же наблюдались более высокие значения индекса Шеннона, относительно других плесов (рис. 1).

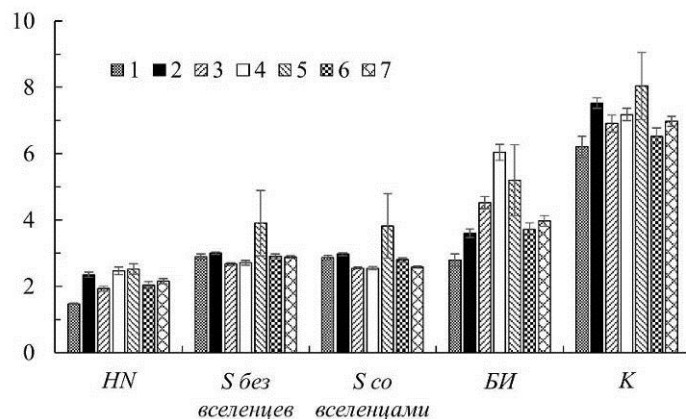


Рис. 1. Распределение средних величин ( $M \pm m$ ) индексов сапробности ( $S$ ), Е. В. Балушкиной ( $K$ ), Шеннона ( $H_N$ ) и Вудивисса ( $БИ$ ) по плесам: 1) Волжский, 2) Волжско-Камский, 3) Камский, 4) Тетюшинский, 5) Ундорский, 6) Ульяновский, 7) Приплотинный

Достоверно минимальные значения индекса  $S$  наблюдались на акватории Камского и Тетюшинского плесов ( $p < 0,05$ ). По другим показателям существенных колебаний значений по участкам не выявлено и, в целом, они относились к  $\alpha$ -мезосапробной зоне. Однако следует отметить, что низкие значения  $H_N$  ( $p < 0,01$ ),  $БИ$  ( $p < 0,01$ ) и  $K$  ( $p < 0,005$ ) отмечались в Волжском плесе, а высокие – в Ундорском.

Анализ межгодовой динамики выявил отсутствие каких-либо существенных изменений в состоянии вод Куйбышевского водохранилища в течение рассматриваемого периода ( $p > 0,05$ ). Во все указанные годы качество вод соответствовало IV классу и характеризовалось как «загрязненные» (рис. 2).

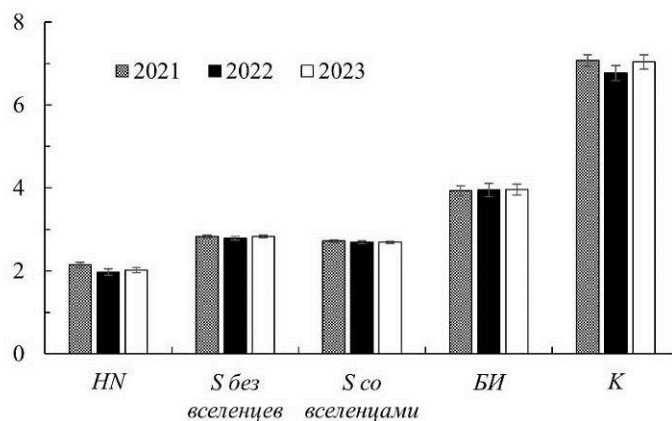


Рис. 2. Распределение средних величин ( $M \pm m$ ) индексов Шеннона ( $H_N$ ), сапробности ( $S$ ), Вудивисса ( $БИ$ ) и Е. В. Балушкиной ( $K$ ) по годам

Осенью наблюдалось небольшое улучшение состояния по сапробиологическому анализу и индексу Вудивисса ( $p < 0,05$ ), тогда как индекс Е. В. Балускиной показал наоборот – незначительное снижение по сравнению с весной (рис. 3).

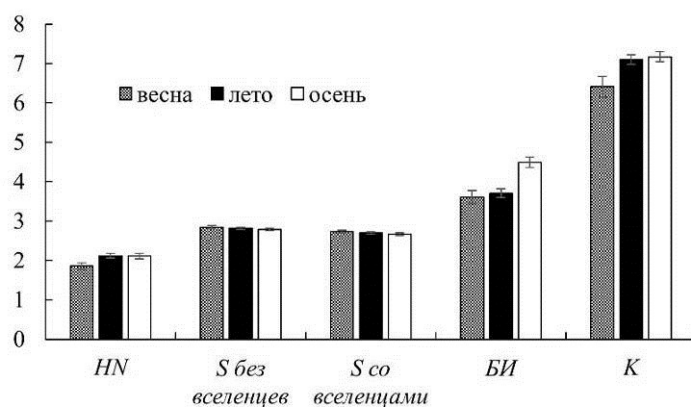


Рис. 3. Сезонная динамика изменения средних величин ( $M \pm m$ ) индексов Шеннона ( $H_N$ ), сапробности ( $S$ ), Вудивисса ( $БИ$ ) и Е. В. Балускиной ( $K$ )

Дисперсионный анализ выявил достоверные различия только для индекса Шеннона между его значениями весной и летом ( $p = 0,04$ ), а также индекс Е. В. Балускиной в весенний период был минимальным относительно других сезонов ( $p < 0,02$ ). Несмотря на эти колебания, качество вод в целом по индексам сапробности во все сезоны оценивалось как «загрязненные». По значениям  $БИ$  весной и летом воды были «загрязненные», а осенью соответствовали «умеренно загрязненным». По индексу Балускиной, наоборот, весной воды классифицировались как «умеренно загрязненные», а затем переходили в разряд «загрязненных».

Таким образом, водные массы Куйбышевского водохранилища в период с 2021 по 2023 гг. по показателям зообентоса соответствовали  $\alpha$ -мезосапробной зоне («загрязненные») и IV классу качества вод. Сопоставление полученных результатов по состоянию Куйбышевского водохранилища с литературными данными выявило ухудшение показателей в последние годы, что связано со многими причинами, одними из которых являются процесс биоинвазии, рост разнообразия состава загрязняющих веществ, поступающих в водоем, и токсикологическое загрязнение [1].

#### Библиографический список

1. Степанова Н. Ю., Латыпова В. З., Яковлев В. А. Экология Куйбышевского водохранилища : донные отложения, бентос, бентосоядные рыбы. Казань : Изд-во АН РТ, 2004. 228 с.
2. Мельникова А. В., Яковлев В. А. Многолетняя и сезонная динамика качества воды верховий Куйбышевского водохранилища по показателям зообентоса // Вода: химия и экология. 2016. № 12. С. 16–21.
3. Шагидуллин Р. Р., Горшкова А. Т., Урбанова О. Н. Интегральная оценка водных ресурсов Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ в пределах Республики Татарстан // Георесурсы. 2011. № 2 (38). С. 34–40.

4. Качество поверхностных вод Куйбышевского водохранилища в современный период / Ф. Ф. Мухаметшин, Е. А. Минакова, Е. Г. Мухаметшина и др. // ВЕЛИКИЕ РЕКИ 2017 : труды научного конгресса. В 3 т. Т. 1. Н. Новгород : ННГАСУ, 2017. С. 89–92.
5. Куйбышевское водохранилище (научно-информационный справочник) / Отв. ред. Г. С. Розенберг, Л. А. Выхристюк. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2008. 123 с.
6. Berezina N. A. Water quality estimation in the Kotorosl' River basin based on zoobenthos composition. DOI: 10.1023/A:1026678305575 // Water Resources. 2000. Vol. 27. No. 6. P. 654–662.
7. Безматерных Д. М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири : анализ. обзор. Новосибирск, 2007. 87 с.
8. Golovatyuk L. V., Zinchenko T. D., Shitikov V. K. An indicative assessment of macrozoobenthos organisms in flowing waters. DOI: 10.1134/S1995082908030103 // Inland Water Biology. 2008. Vol. 1. No. 3. P. 260–273.
9. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / под ред. Ф. Д. Мордужай-Болтовской. М. : Наука, 1975. 240 с.
10. Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети Госкомгидромета в рамках ОГСНК. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 40 с.
11. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
12. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология : методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
13. Оценка экологического состояния водоемов по гидробиологическим и гидрохимическим показателям / Н. И. Ермолаева, Д. М. Безматерных, С. Я. Двуреченская и др. DOI: 10.25680/6578.2018.48.36.178 // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири : монография / под ред. В. Г. Сычева, Л. Мюллера. Т. 2. М. : ВНИИ агрохимии, 2018. С. 378–382.
14. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 3. Методы биологического анализа вод. М. : СЭВ, 1976. 186 с.
15. Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser, Beiträge zur Gewässerforschung. 1983. Vol. 26. 175 p.
16. Яковлев В. А., Латыпова В. З., Яковлева А. В. Оценка качества вод верхних плесов Куйбышевского водохранилища по зообентосу // Вода: химия и экология. 2012. № 7. С. 3–6.

**ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ЗООПЛАНКТОНА  
В ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА ВОЛЖСКОГО МОСТА  
(САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

*М. А. Гвоздарева*

*Татарский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Rita\_6878@mail.ru*

По данным наблюдений на акватории Куйбышевского водохранилища в районе строительства Волжского моста в период с 2020–2024 гг. дан анализ динамики количественного и качественного развития зоопланктона. Установлено, что в первый год строительства (2020 г.) моста наблюдались негативные последствия на сообщество планктонной фауны. Однако в последующие годы происходило восстановление и стабилизация ее структуры.

Ключевые слова: Куйбышевское водохранилище, Новодевиченский плес, планктонные беспозвоночные, численность, биомасса, трофность, сапробность.

Самый крупный дорожный проект в России – обход г. Тольятти с мостовым переходом через р. Волгу в составе международного транспортного коридора «Запад-Восток». Волжский мост входит в топ-10 самых длинных мостов РФ, его длина составляет 3,75 км. Для его строительства было выбрано самое узкое место русла Куйбышевского водохранилища (акватория Новодевиченского плеса) в районе с. Климовка (Самарская область). В декабре 2019 г. на месте строительства мостового перехода на обходе г. Тольятти началась инженерно-техническая и объектная подготовка, а уже 16 июля 2024 г. мост официально был введен в эксплуатацию [1].

В вегетационный период с 2020 г. по 2024 г. сотрудниками Татарского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» осуществлялось проведение производственно-экологического мониторинга водных биологических ресурсов и среды их обитания в районе строительства Волжского моста. Большой интерес вызывает динамика таксономической структуры и уровня количественного развития планктонных беспозвоночных в районе проведения работ на протяжении всего периода строительства моста.

Организмы зоопланктона, помимо того, что составляют значимый компонент кормовой базы любого водоема, в том числе и Куйбышевского водохранилища, так же используются для оценки экологического состояния водных объектов, что позволяет выявить изменения, происходящие в водной среде, в том числе под воздействием антропогенных факторов [2, 3]. Цель работы – изучить видовой состав и количественные показатели зоопланктона Куйбышевского водохранилища в районе Волжского моста (акватория Новодевиченского плеса) и их изменения с 2020 по 2024 гг.

Мониторинговые исследования проводились в весенний, летний и осенний периоды 2020–2024 гг. на трех станциях: ст. 1 – левый берег, ст. 2 – русло, ст. 3 – правый берег. Сбор зоопланктона осуществляли с помощью сети Джели (диаметр входного отверстия 12 см, газ № 76), облавливая весь столб воды от дна до поверхности. Пробы фиксировали 40%-ым раствором формалина из расчета его концентрации в пробе 4%. Камеральную обработку проводили по общепринятым в гидробиологии методам [4]. Всего было отобрано и обработано 45 проб зоопланктона.

Состояние зоопланктонного сообщества оценивали по численности ( $N$ ), биомассе ( $B$ ), видовому богатству, индексу Серенсена-Чекановского, индексам Шеннона (по численности ( $H_N$ ) и биомассе ( $H_B$ )), сапробности Пантле-Букка ( $S$ ) и коэффициенту трофности ( $E$ ) [5, 6].

Общий таксономический состав планктонных беспозвоночных на акватории Новодевиченского плеса Куйбышевского водохранилища включал 89 единиц, из них на долю Rotifera приходилось 39%, Cladocera – 31% и Copepoda – 29%. Удельное видовое разнообразие в среднем составило

16±1 таксонов на станцию. Наименьшее таксономическое богатство зафиксировано в 2020 г., тогда же низким значением характеризовалось и удельное видовое разнообразие. В 2024 г. было обнаружено максимальное число таксонов, а высокое значение удельного видового разнообразия отмечалось в 2021 и в 2024 г. (табл. 1).

Таблица 1

**Вклад основных групп зоопланктона в его таксономический состав и его удельное видовое разнообразие с 2020–2024 гг. в акватории Куйбышевского водохранилища (Новодевиченский плес)**

Таксономическая группа	Год наблюдения				
	2020	2021	2022	2023	2024
Rotifera, %	38	39	50	49	42
Cladocera, %	29	34	28	29	26
Copepoda, %	32	27	22	22	32
Число таксонов	34	44	46	45	53
Удельное видовое разнообразие, вид/станция	13±1	17±2	16±3	15±2	17±1

В межгодовом аспекте, сходство фаунистического состава планктонных беспозвоночных на рассматриваемом участке акватории Куйбышевского водохранилища, оцененное по величине индекса Серенсена-Чекановского характеризовалось как среднее. Индекс общности, рассчитанный по присутствию/отсутствию вида по годам, находился на уровне не ниже 0,59 при максимальном его значении 0,68, где 0 – полное отсутствие сходства, 1 – полное сходство.

Средние показатели численности и биомассы зоопланктона в период исследования составили 39,47±8,57 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,51±0,12 г/м<sup>3</sup>, соответственно. Основу численности формировали небольшие по размеру зоопланктеры – Rotifera (47%) и неполовозрелые Copepoda (30%), в то время как по биомассе преобладали представители группы Cladocera (72%) (рис. 1 и 2).

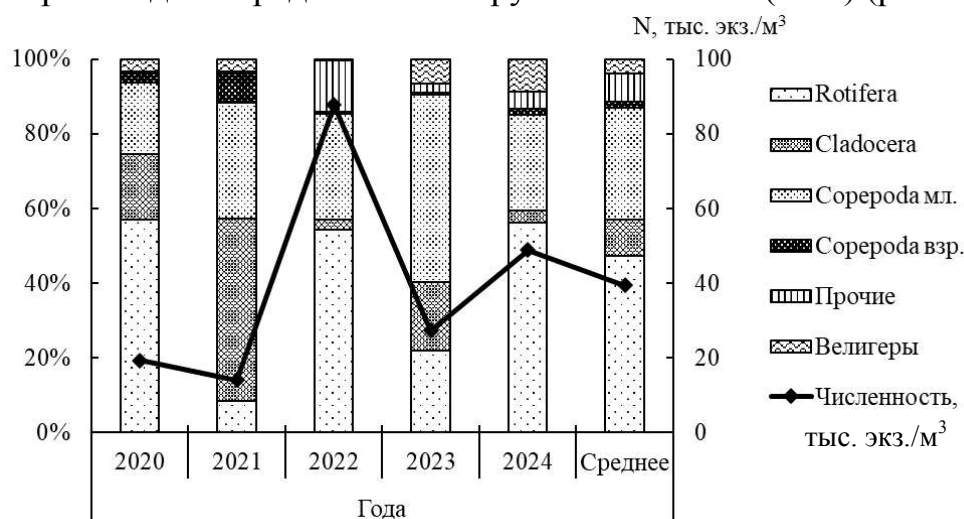


Рис. 1. Средние значения численности зоопланктона (тыс. экз./м<sup>3</sup>) по годам и вклад его основных групп в акватории Новодевиченского плеса



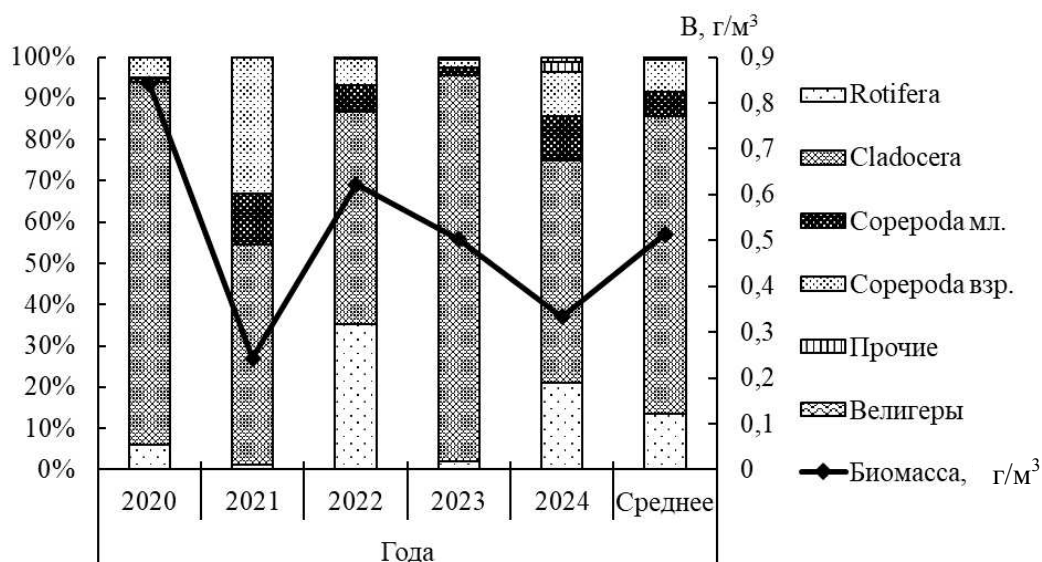


Рис. 2. Средние значения биомассы зоопланктона ( $\text{г/м}^3$ ) по годам его основных групп в акватории Новодевиченского плеса

В работе были рассчитаны индексы доминирования как по численности ( $Id_N$ ), так и по биомассе ( $Id_B$ ), которые характеризовались максимальными значениями у *Euchlanis dilatata* (Ehrenberg, 1832) ( $Id_N = 2,91$ ) и *Synchaeta pectinata* (Ehrenberg, 1832) ( $Id_N = 2,43$ ), *Daphnia galeata* (Sars, 1863) ( $Id_B = 4,26$ ), соответственно. Необходимо отметить, что в межгодовом аспекте максимальные значения  $Id_N$  достигали у *E. dilatata* – 3,78 (2020 г.) и 5,41 (2024 г.), *Bosmina (Bosmina) longirostris* (O. F. Müller, 1785) – 4,60 (2021 г.) и 3,00 (2023 г.), *S. pectinata* – 3,64 (2022 г.). По биомассе высокий  $Id$  регистрировался только у *D. galeata* – 5,16; 5,04; 4,10; 4,26; 4,44 (в порядке возрастания по годам соответственно).

Индекс Шеннона, в среднем составил по численности ( $H_N$ )  $1,92 \pm 0,10$  бит/экз., а по биомассе ( $H_B$ ) –  $1,43 \pm 0,12$  бит/г. Полученные величины свидетельствуют о том, что сообщество планктонных беспозвоночных Куйбышевского водохранилища, в районе строительства Волжского моста, характеризовалось невысоким видовым разнообразием, количественные показатели по таксонам были распределены неравномерно, из-за высокой степени доминирования 1–2 видов. Наибольшие значения рассматриваемых индексов были отмечены в 2024, а наименьшие в 2020 г. (табл. 2).

Таблица 2

**Значения индексов Шеннона (по численности ( $H_N$ ) и биомассе ( $H_B$ )),  
Пантле и Букка ( $S$ ), трофности Мязметса ( $E$ ),  
рассчитанные по зоопланктону**

Год наблюдения	$H_N$	$H_B$	$S$	$E$
2020	$1,47 \pm 0,23$	$0,99 \pm 0,18$	$1,51 \pm 0,05$	0,71
2021	$2,10 \pm 0,18$	$1,71 \pm 0,32$	$1,55 \pm 0,04$	1,36
2022	$1,82 \pm 0,23$	$1,39 \pm 0,17$	$1,63 \pm 0,02$	1,75
2023	$1,99 \pm 0,16$	$1,54 \pm 0,34$	$1,48 \pm 0,04$	1,20
2024	$2,22 \pm 0,30$	$1,53 \pm 0,20$	$1,64 \pm 0,03$	1,99
Среднее по годам	$1,92 \pm 0,10$	$1,43 \pm 0,12$	$1,56 \pm 0,02$	1,33

Воды на акватории Новодевиченского плеса по среднему значению индекса сапробности относилась к  $\beta$ -мезосапробной зоне («умеренно загрязненные»). Следует отметить, что в 2023 г., согласно этому показателю, водные массы соответствовали олигосапробной зоне загрязнения и оценивались как «чистые» воды.

В целом по фаунистическому индексу трофности Мяэметса, основанного на индикаторных свойствах видов зоопланктона, водоем соответствовал нижней границе диапазона категории эвтрофных. Однако в 2020 г. акватория Куйбышевского водохранилища в районе строительства Волжского моста характеризовалась как мезотрофный водоем.

Анализ качественных и количественных характеристик зоопланктона, показал некоторые их изменения. Так, в первый год строительства Волжского моста, когда проводились основные работы по берегоукреплению, отмечались низкие показатели таксономического состава зоопланктона, его удельного видового разнообразия, индексов  $H_N$  и  $H_B$ . Все вышеперечисленное указывает на невысокое разнообразие планктонной фауны и неравномерность распределения его количественных показателей.

На второй год количественное развитие зоопланктона было самым низким за весь период наблюдений. Однако структура сообщества стала более выравненной: возросло таксономическое разнообразие (44 таксона), увеличились значения индекса Шеннона и удельного видового разнообразия. Произошла смена доминирующих групп, по численности преобладали Cladocera, которые в 2021 г. были представлены максимально.

В 2022 г. наблюдалось увеличение количественных и структурных показателей планктонной фауны, по сравнению с 2021 г. Как и первый год наблюдений, основу численности формировали коловратки, которые также вносили и максимальный вклад в общую биомассу. Некоторые структурные характеристики зоопланктонного сообщества были чуть ниже, чем в 2021 г., но существенно не различались.

В 2023 г. произошло значительное сокращение численности и небольшое уменьшение биомассы зоопланктона, в результате понижения доли коловраток и увеличения неполовозрелых Copepoda, вклад которых был максимальным за весь период наблюдений. Структурные характеристики, в целом, остались на том же уровне, что и в предыдущий год.

Видовое разнообразие зоопланктона в 2024 г. характеризовалось максимальным числом обнаруженных таксонов, где преобладали Rotifera и Copepoda. Средний показатель численности в этот год возрос, по сравнению с 2023 г., однако биомасса снизилась, т.к. увеличение доли мелких коловраток закономерно привело к снижению средней индивидуальной массы зоопланктеров в сообществе. Структурные показатели в среднем были стабильны и изменялись в пределах ошибки.

В целом, по величинам индексов сапробности зоопланктона рассматриваемый участок акватории Новодевиченского плеса соответствовал мезосапробной зоне, коэффициенту трофности – эвтрофным водам, а значение ин-

декса Серенсена-Чекановского характеризовало рассматриваемый водоем как слабо загрязненный относительно чистых участков.

Таким образом, негативное влияние на сообщество зоопланктона от работ по сооружению Волжского моста отмечалось в первый год строительства, когда проводились основные работы по берегоукреплению, однако достоверных различий корреляционный и дисперсионный анализ по годам не выявил.

#### **Библиографический список**

1. Обход г. Тольятти [Электронный ресурс] – URL: [https://обходтольятти.рф/albom\\_obhod\\_tolyatti\\_web\\_cut.pdf](https://обходтольятти.рф/albom_obhod_tolyatti_web_cut.pdf) (дата обращения: 05.11.2024)
2. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб. : Наука, 1996. 189 с.
3. Протасов А. А. Состав и распределение зоопланктона водоема-охладителя Хмельницкой АЭС // Гидробиологический журнал. 2004. Т. 40, № 4. С. 35–44.
4. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л. : ГОСНИОРХ, 1984. 33 с.
5. Методы оценки качества вод по гидробиологическим показателям : учебно-методическая разработка по курсу «Гидробиология» / сост.: О. Ю. Деревенская. Казань : КФУ, 2015. 44 с.
6. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах : учебное пособие для высших учебных заведений. СПб. : РГГМУ, 2019. 140 с.

## **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕР ВОСТОЧНЫЙ АРНАСАЙ И ТУЗКАН С ПОМОЩЬЮ ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ**

***Е. Н. Гинатуллина***

*Научно-исследовательский институт рыбоводства,  
Республика Узбекистан, E-ginatullina@yandex.ru*

В статье приводятся результаты исследований зоопланктона двух озер коллекторно-дренажного стока орошаемых территорий Голодной степи. Для оценки экологического состояния озер мы использовали количественные и качественные показатели зоопланктона, а также количество видов. Для оценки качества воды использовали индекс сапробности, вычисленный по индикаторным значениям зоопланктеров.

Ключевые слова: зоопланктон, сапробность, трофность, рыболовство, минерализация.

Озера Восточный Арнасай и Тузкан входят в Айдар-Арнасайскую систему озер Узбекистана, которая образовалась в результате катастрофического сброса воды в 1969 г. из Чардарьинского водохранилища (р. Сырдарья) в естественное понижение ландшафта. Арнасайская система озер расположена на стыке Голодностепского плато с пустыней Кызылкум, и ограничивается на

юге Нурагинским горным хребтом. В настоящее время поступление воды в эти озера происходит, в основном, благодаря притоку коллекторно-дренажных вод с минерализацией 2–4 г/л. С притоком коллекторно-дренажных вод (в среднем 2,2 км<sup>3</sup> в год) в систему бессточных озер Тузкан и Айдар поступает ежегодно от 2–8 тыс. тонн солей [1]. Озера имеют природоохранное (место зимовки перелетных птиц) и рыбохозяйственное значение: огромный по площади водный объект.

Цель исследования: используя гидробиологические показатели зоопланктона проанализировать современное гидроэкологическое состояние озер Тузкан и Вост. Арнасай и дать рекомендации для более успешного развития рыбного промысла в озерах.

В Арнасайской системе оз. Тузкан (площадь 720 км<sup>2</sup>) занимает самое южное положение, соединяясь на северо-западе с оз. Айдаркуль. Озеро вытянуто в направлении северо-запад – юго-восток и имеет приблизительно треугольную форму. Современная длина озера – 35 км, ширина составляет 22–25 км. На южной оконечности в оз. Тузкан впадают солоноватая река Клы, Акбулакский, Пограничный и Центрально-голодностепинский коллекторы. Озеро Вост. Арнасай расположено выше бессточных котловин озер Тузкан и Айдаркуль и имеет перепад высот на участке от Чардаринского водохранилища до впадения в озеро Айдаркуль около 8 м. Под чашу Верхнеарнасайского водохранилища используется большая часть цепочки Восточно-Арнасайских озер, протянувшихся от Чардаринского водохранилища до озера Айдаркуль.

В 2024 г. пробы зоопланктона отбирались 3 раза в течение вегетативного сезона: в мае, в августе и октябре.

Пробы на глубинах 5–10 м отбирались с моторной лодки «Прогресс», а также в прибрежной зоне на глубине 1–3 м. Методы отбора зоопланктона представляли способ отделения планктона от воды, что осуществлялось с помощью фильтрации зоопланктона через сеть Джеди (диаметр 25 см), протягивая ее в вертикально-горизонтальном направлении в толще воды [2]. Пробы фиксировали 40% формалином, доводя концентрацию пробы до 4%, и идентифицировались с использованием современных определителей [3–5].

В мае 2024 г. на исследованных станциях Тузкана и Вост. Арнасай было обнаружено 14 видов зоопланктона: Rotifera – 1 вид, Cladocera – 8 видов и Copepoda – 5 видов (табл.). Доминантными видами на исследованных станциях Тузкана являлись Copepoda – диаптомус (Copepoda) *Arctodiaptomus salinus* и Cladocera *Moina brachiata*). На станциях Верхне-Арнасайского водохранилища доминировал циклоп *Mesocyclops aequatorialis* и кладоцера *Daphnia galeata*. Доминантным видом был *Arctodiaptomus salinus*.

Средняя численность и биомасса зоопланктона на исследованных станциях составила 334 экз./м<sup>3</sup> и 21,3 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Эти количественные показатели не были характерны для исследуемой системы озер, и это было вызвано, вероятно, мелководностью исследованных станций [6].

Индекс сапробности по зоопланктону был равен  $S = 1,58-2,24$  и соответствовал  $\beta$ -мезасапробной зоне – умеренно загрязненные воды. Индекс сапробности по зообентосу соответствовал  $\alpha$ -мезасапробной зоне, то есть качество воды было IV класса – загрязненные и минерализованные воды.

При обработке проб зоопланктона за август 2024 г. с исследованных станций было обнаружено всего 6 видов зоопланктона: 3 вида веслоногих (Copepoda) – диаптомус *Arctodiaptomus salinus* Daday, *Thermocyclops vermifer* Harada, *Mesocyclops aequatorialis* a. Kiefer, 1929, и 3 вида ветвистоусых (Cladocera) ракообразных – *Diaphanosoma mongolianum* Ueno, 1938, *Moina brachiata* Jurine, 1820, *Ceriodaphnia reticulata* Jurine, 1820. Количественно доминирует на всех исследованных станциях тепловодный циклоп *Thermocyclops vermifer*.

Средняя численность и биомасса зоопланктона на исследованных станциях составила 1400 экз./м<sup>3</sup> и 98,1 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Эти количественные показатели увеличились по сравнению с теми, которые мы получили для исследованных станций в мае 2024 г.

Индекс сапробности по зоопланктону составил  $S = 1,75-2,1$  соответствовал  $\beta$ -мезасапробной зоне в В.Арнасае и  $\alpha$ -мезосапробной зоне на некоторых станциях Тузкана.

Всего с исследованных станций озера Тузкан и Вост. Арнасай в начале октября 2024 г. было обнаружено 11 видов зоопланктона: Rotifera – 6 видов, Cladocera – 2 вида, Copepoda – 3 вида. Доминантными видами на исследованных станциях являлись Copepoda – циклоп *Thermocyclops vermifer*, коловратка *Brachionus plicatilis* и Cladocera – *Diaphanosoma mongolianum*.

Средняя численность и биомасса зоопланктона на исследованных станциях составила 16960 экз./м<sup>3</sup> и 821,1 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Эти показатели были на порядок выше, чем в мае и августе 2024 г. и связано это было с тем, что, в это время были исследованы глубоководные станции, где и обнаруживается скопление зоопланктона в вегетационный сезон.

Индекс сапробности (индекс органического загрязнения) для изученных станций составлял от  $S = 1,72-1,89$  и соответствовал  $\beta$ -мезосапробной зоне – уровню умеренного загрязнения воды.

Таблица

**Видовой состав зоопланктона озер Тузкан и Вост. Арнасай в 2024 г.**

Видовой состав	Вост. Арнасай			Тузкан		
	май	август	октябрь	май	август	октябрь
1	2	3	4	5	6	7
<i>Asplanchna priodonta</i>	+	–	–	–	–	+
<i>Brachionus plicatilis</i>	–	–	–	–	–	+
<i>Brachionus calicyflorus</i>	–	–	–	–	–	+
<i>Brachionus quadridentatus ancylognatus</i>	–	–	–	–	–	+
<i>Brachionus angularis bidens</i>	–	–	–	–	–	+
<i>Keratella cochlearis</i>	–	–	–	–	–	+
<i>Daphnia galeata</i>	+	–	–	–	–	–
<i>Daphnia longispina</i>	–	–	–	+	–	–

1	2	3	4	5	6	7
<i>Diaphanosoma mongolianum</i>	–	+	–	+	+	+
<i>Ceriodaphnia turkestanica</i>	–	+	–	+	+	+
<i>Moina brachiata</i>	–	+	–	+	+	–
<i>Bosmina longirostris</i>	+	–	–	–	–	–
<i>Chydorus sphaericus</i>	+	–	–	+	–	–
<i>Alona gen. sp.</i>	+	–	–	–	–	–
<i>Arctodiaptomus salinus</i>	+	+	–	+	–	–
<i>Thermocyclops vermifer</i>	–	+	+	–	+	+
<i>Mesocyclops aequatorialis</i>	+	+	–	+	+	–
<i>Eucyclops speratus</i>	+	–	–	–	–	–
<i>Eucyclops serrulatus</i>	–	–	–	+	–	–
<i>Acantocyclops biarticulatus</i>	–	–	–	+	–	–
<i>Ectocyclops faleratus</i>	–	–	–	–	–	+
<i>Cyclops heberti</i>	–	–	–	–	–	+
Всего видов	8	6	1	9	5	11

Примечание: прочерк означает отсутствие вида в пробах.

Всего за весь период исследования в 2024 г. на станциях озер Тузкан и Вост. Арнасай разной глубины было обнаружено 6 видов Rotifera, 8 видов Cladocera и 8 видов Copepoda. В весенний период наблюдалось большее разнообразие для кладоцер и копепод с максимальным количеством видов зоопланктона – 14, в летний период качественно преобладали виды из двух групп ракообразных, но количество видов было минимальным. В осенний период качественно преобладали коловратки (11 видов). Количественно во все сезоны преобладают копеподы, что характерно для минерализованных вод. На мелководных станциях (1–3 м) в вегетационный период с мая по октябрь наблюдается минимальные биомассы и численность зоопланктона (олиготрофный уровень по биомассе зоопланктона), а на глубоководных (5–10 м) – максимальное количественное развитие (мезотрофный уровень по биомассе зоопланктона).

### Библиографический список

1. Ginatullina E. N., Kurbanov A. R., Tuychiev K. S. Influence of environmental factors on the formation of zooplankton communities in a large lake system in Uzbekistan. DOI: 10.1051/e3sconf/202340701004 // E3S Web of Conferences. APEEM-2023. Vol. 407. Article No. 01004.
2. Салазкин А. А., Иванова М. Б., Огородников В. А. Методические рекомендации. Л. : ГосНИОРХ, 1982. 34 с.
3. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР. Л. : Наука, 1970. 652 с.
4. Ветвистоусые ракообразные (Cladocera): определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России / А. А. Котов, А. Ю. Синев, С. М. Глаголев, Н. Н. Смирнов. М. : КМК, 2010. С. 151–276.
5. Определитель веслоногих ракообразных (Grustacea, Copepoda) фауны Узбекистана / И. М. Мирабдуллаев, А. И. Абдурахимова, А. Р. Кузметов, А. А. Абдиназаров. Ташкент : ИЗ АНРУз, 2012. 16 с.

6. Гинатуллина Е. Н. Изменение качественного состава озера Айдаркуль под влиянием роста минерализации // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2023. С. 390–394.

## **ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ ФИТОПЛАНКТОНА В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВЕЛИКОЙ (ПСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

*Т. В. Дрозденко*

*Псковский государственный университет,  
tboichuk@mail.ru*

В летний период 2021–2022 гг. в дельте р. Великой выявлено 183 видовых таксона фитопланктона из 8 отделов. Основу флористического комплекса составляли диатомовые и зеленые водоросли. Изучены количественные показатели фитопланктона, определен трофический статус вод, проведен сапробиологический анализ, согласно которому установлен 3 класс качества вод дельты.

Ключевые слова: мониторинг, биоиндикация, альгофлора, фитопланктон, численность, биомасса, сапробиологический анализ, дельта р. Великой.

В настоящее время гидросфера подвержена значительному антропогенному прессу, в силу чего мониторинговые исследования водных экосистем являются необходимыми и актуальными [1].

Видовая структура фитопланктона – один из важных критериев в оценке экологического состояния водных объектов. Планктонные водоросли мгновенно реагируют на поступление в водную среду тех или иных загрязняющих веществ перестройкой своей структуры, что делает их удобными объектами при оценке качества природных вод [2].

Целью данной работы стало исследование видовой структуры фитопланктона как индикатора экологического состояния дельты р. Великой.

Исследования проводили на пяти постоянных станциях дельты в августе 2021 и 2022 гг. (рис. 1).

Отбор и обработку гидробиологического материала осуществляли общепринятыми методами [3]. Разнообразие фитопланктонных сообществ оценивали с помощью индекса Шеннона [4]. Трофический статус акватории устанавливали с помощью индекса трофности Милиус [5]. Индекс сапробиости рассчитывали по численности методом Пантле–Букк [6].

За рассматриваемый период исследования было выявлено 183 видовых и внутривидовых таксона фитопланктона из 8 отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Ochrophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Dinoflagellata и Charophyta.

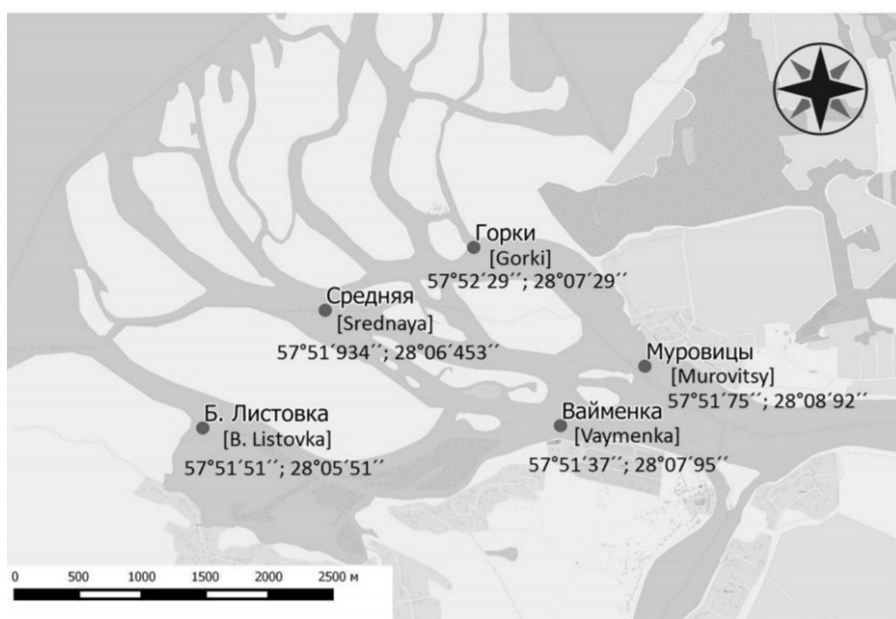


Рис. 1. Станции отбора проб фитопланктона в дельте р. Великой

В августе 2021 г. из 124 зарегистрированных видовых таксонов микроводорослей большая часть приходилась на диатомовые (44,4%) и зеленые (24,2%) водоросли (рис. 2).

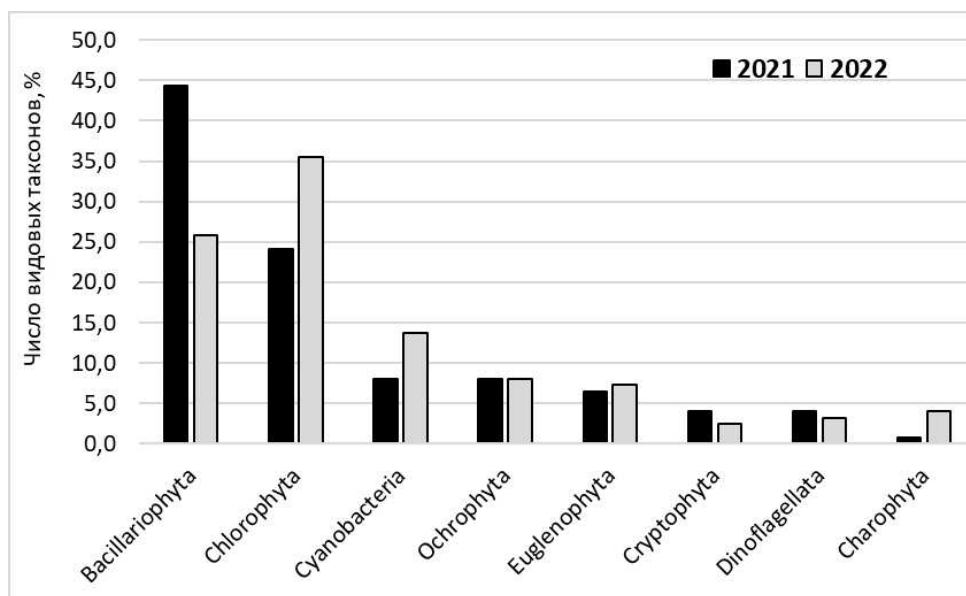


Рис. 2. Таксономический состав фитопланктона дельты р. Великой

В августе 2022 г. было идентифицировано также 124 видовых таксона фитопланктона, но по числу видов превалировал отдел Chlorophyta, содержащий 35,5% всего видового богатства. На диатомовые водоросли приходилось 25,8%. Заметный вклад также вносили цианобактерии – 13,7% (рис. 2).

Численность фитопланктона летом 2021 г. была низкой и изменялась от 140,4 тыс. кл. /л на ст. Муравицы до 314,4 тыс. кл. /л на ст. Вайменка, составляя в среднем 195,3 тыс. кл. /л. Среди видов-доминантов отмечались колониальная цианобактерия *Aphanocapsa delicatissima* West & G.S.West (в среднем



по пяти станциям – 19,1 %) и зеленая хлорококковая *Ankistrodesmus arcuatus* Korshikov (10,9%). Биомасса фитопланктона имела также низкие значения и варьировала от 32,5 мкг/л на ст. Средняя до 132,6 мкг/л на ст. Вайменка, составляя в среднем 65,2 мкг/л. Наибольший вклад в биомассу вносили крупноклеточные диатомовые водоросли.

Средняя численность фитопланктона в августе 2022 г. была в 12,7 раз выше, чем в предыдущий летний сезон и составляла 2,5 млн кл. /л. Численность изменялась от 1,1 млн кл. /л на ст. Средняя до 5,0 млн кл. /л на ст. Муравицы. Наибольшей численностью по всей акватории дельты отличались зеленые водоросли *Microglena monadina* Ehrenberg (16,5%) и *Pandorina morum* (O. F. Müller) Bory (12,3%), а также цианобактерия *Merismopedia minima* G. Beck (12,2%). Биомасса микроводорослей варьировала от 166,4 мкг/л на ст. Средняя до 908,9 мкг/л на ст. Муравицы, составляя в среднем 514,3 мкг/л. Максимальный вклад в биомассу вносили крупноклеточные диатомовые, как и в предыдущий год наблюдения.

Значения индекса Шеннона в августе 2021 г. в среднем по акватории дельты составляли  $2,74 \pm 0,50$  бит/экз., в 2022 г. –  $2,60 \pm 0,27$  бит/экз., что свидетельствует о средней сложности структуры фитопланктонных сообществ в летний период.

Рассчитанный индекс трофности позволил отнести воды дельты р. Великой к олиготрофному типу: 16,1 – в 2021 г., 36,1 – в 2022 г.

Средний индекс сапробности по Пантле-Букк составлял 1,94 в 2021 г. и 1,97 в 2022 г., что говорит об умеренном загрязнении вод исследуемой акватории, 3 классе качества.

#### Библиографический список

1. Бондарева Л. Г. Закономерности распределения и уровни воздействия антропогенных загрязнений на речную экосистему : спец. 03.02.08 : дис. ... д-ра биол. наук. М., 2020. 293 с.
2. Дрозденко Т. В., Волгушева А. А. Анализ структуры сообществ фитопланктона в экологическом мониторинге озера Заозерное (Россия). DOI: 10.55355/snv2024131103 // Самарский научный вестник. 2024. Т. 13, № 1. С. 24–29.
3. Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. М. : Университет и школа, 2003. 157 с.
4. Розенберг Г. С. Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон, Уивер // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2010. Т. 19, № 2. С. 4–25.
5. Статистическая модель трофического состояния малых светловодных озер / А. Ю. Милиус, А. В. Линдпере, Х. А. Стараст и др. // Водные ресурсы. 1987. № 3. С. 63–66.
6. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Achieves fur Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie. 1973. Vol. 7. No. 1. 218 p.

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТЕНИЙ РЯСКИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНОВ МЕДИ И ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ВОДЫ

*Л. Н. Ольшанская<sup>1</sup>, Р. Ш. Валиев<sup>1</sup>, О. А. Арефьева<sup>2</sup>, Д. А. Голов<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю. А.,*

*<sup>2</sup> Тольяттинский государственный университет,  
ecos123@mail.ru, oarefeva@inbox.ru, dmitriy\_2000\_24@mail.ru*

В работе исследовано влияние внешних физических полей различной природы (ВФВ: постоянные магнитные (ПМП), электрические поля, ультрафиолетовое (УФ), инфракрасное (ИК) и лазерное излучения (ЛИ)) на изменение электрических свойств растений ряски малой *Lemna minor* при извлечении ионов меди из загрязненных стоков. Установлено, что ВФВ способствуют изменению мембранных потенциалов растительной клетки, оказывая влияние на избирательность и скорость процессов извлечения ионов меди. Показано, что количество извлекаемого металла зависит от предварительной обработки растения различными физическими воздействиями, и растет в ряду: ЛИ > ПМП > УФ >> без ВФВ > ИК. Наблюдаемые явления обусловлены тем, что в результате воздействия физических полей увеличивается количество нескомпенсированных электронов, при этом одновременно возрастает плотность отрицательного заряда и в результате «энергетической подкачки» ряски происходит изменение биопотенциала, что способствует росту проницаемости клеточных мембран и резкому увеличению скорости извлечения катионов  $\text{Cu}^{2+}$  из воды.

Ключевые слова: фиторемедиация, физические поля (магнитное, инфракрасное, ультрафиолетовое, лазерное излучение), растения ряски, ионы меди (II).

Фиторемедиационные технологии очистки стоков от ионов тяжелых металлов (ИТМ) предполагают способность растительной клетки выступать в качестве сенсора, распознающего и извлекающего катионы металлов (КМ) из сточных и промывных вод. Известно, что растительная клетка имеет электрохимически активную клеточную мембрану, и, чтобы проникнуть внутрь клетки, КМ, как впрочем, и любые другие вещества, должны пройти клеточную стенку. Из-за наличия сквозных пор, диаметр которых (3–4 нм) на порядок больше, чем диаметры гидратированных ионов ( $\text{K}^+$  – 0,54 нм,  $\text{Cd}^{2+}$  – 0,46 нм,  $\text{Zn}^{2+}$  – 0,42 нм,  $\text{Cu}^{2+}$  – 0,38 нм [1]), клеточные стенки проницаемы для ионов. В клеточной стенке имеются белки, пектины, фосфолипиды, микрофибриллы целлюлозы и др., содержащие фиксированные отрицательно заряженные группы (прежде всего – карбоксильные) [2–4], которые определяют катионно-

обменную способность, и влияют на накопление ионов в клетке. Транспорт ионов, крупных полярных молекул и др. обеспечивается, преимущественно, активностью специальных интегральных белков. Кроме того, на границе раздела клетка / раствор генерируется электрический потенциал, величина которого изменяется от -60 до -260 мВ [2, 4–6], который также влияет на транспорт ионов. Благодаря диффузионно-электрохимическому механизму проницаемости клеточных мембран растений происходит извлечение катионов тяжелых металлов из растворов различными растениями. Растительная клетка при этом является природным биохимическим нанореактором, эффективно извлекающим тяжелые металлы.

Механизмы поступления металлов в растения различны, однако, попадая в клетки, они взаимодействуют с ее компонентами, инактивируя многие ферменты. Это вызывает разнообразные нарушения метаболизма клеток, с чем связана высокая токсичность тяжелых металлов (ТМ) [3, 4]. Клетка представляет собой открытую саморегулирующуюся систему [7], важнейшие условия существования клетки (и клеточных органелл) это – автономность по отношению к окружающей среде и, одновременно связь с ней.

Внешние физические воздействия создают дополнительные электрические токи в биообъектах, и могут изменять ход и течение процессов роста и развития организмов, оказывая как стимулирующее, так и тормозящее влияние. Это воздействие зависит от характеристик данного фактора: длины волны, частоты колебаний электромагнитных излучений (ЭМИ), силы и времени действия ВФВ.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния энергии внешних физических полей (ВФП: постоянные магнитные (ПМП), электрические поля, ультрафиолетовое (УФ), инфракрасное (ИК) и лазерное излучения (ЛИ) на изменение электрических свойств растений ряски малой *Lemna minor* при извлечении ионов тяжелых металлов из загрязненных стоков.

При изучении физических воздействий на процессы фиторемедиации меди из загрязненных вод, высшие водные растения (ряска) одинакового срока вызревания массой 20 г/л помещали в модельные растворы объемом 1 л на основе отстоянной воды из системы водоснабжения, в которую вводили  $\text{CuSO}_4$  с концентрацией катиона  $\text{Cu}^{2+}$  5 мг/л и подвергали облучению в течение различного времени. Далее по истечении определенного времени выдержки растений определяли в растворе остаточные концентрации катионов меди.

Во всех экспериментах источники внешних физических полей располагали на выбранном расстоянии от объекта – 1 метр.

Для измерения динамики потенциала в растительной ткани и на границе растение / раствор (рис. 1 а и б) использовали прибор комбинированный цифровой вольтметр марки Щ-300. В качестве электрода сравнения использовали нормальный хлорсеребряный электрод (НХСЭ) марки ЭВЛ-1М в 1 М растворе KCl. Рабочим электродом служил Pt проволочный электрод.

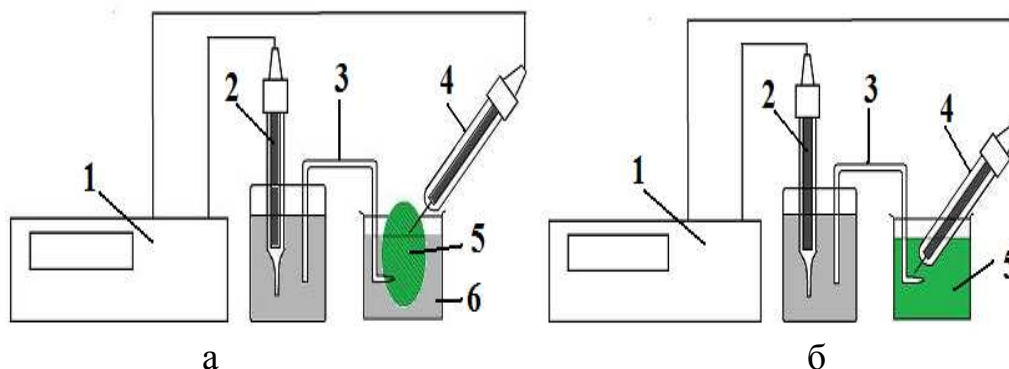


Рис. 1. Схемы измерения потенциала в фитомассе растения (а) и на границе клетка/раствор (б): 1 – прибор комбинированный цифровой Щ-300, 2 – нормальный хлорсеребряный электрод, 3 – солевой мостик, 4 – Pt проволоочный электрод, 5 – растение, 6 – раствор CuSO<sub>4</sub>

Все исследования проведены при комнатной температуре  $23 \pm 1$  °С.

Определение концентраций ионов Cu<sup>2+</sup> осуществляли с использованием метода добавок стандартного раствора CuSO<sub>4</sub>.

Проведенные исследования (рис. 2) по извлечению катионов меди ряской из сульфатного раствора CuSO<sub>4</sub> ( $C_{Cu^{2+}} = 5$  мг/л) позволили установить, что наибольший положительный эффект наблюдался при воздействии лазерного излучения на растения в течение 3 минут (ЛИЗ). Известно [8], что низкоинтенсивное ЛИ стимулирует метаболическую активность клетки. В основе данных процессов лежат фотофизические и фотохимические реакции, возникающие в организме при воздействии лазерного излучения.

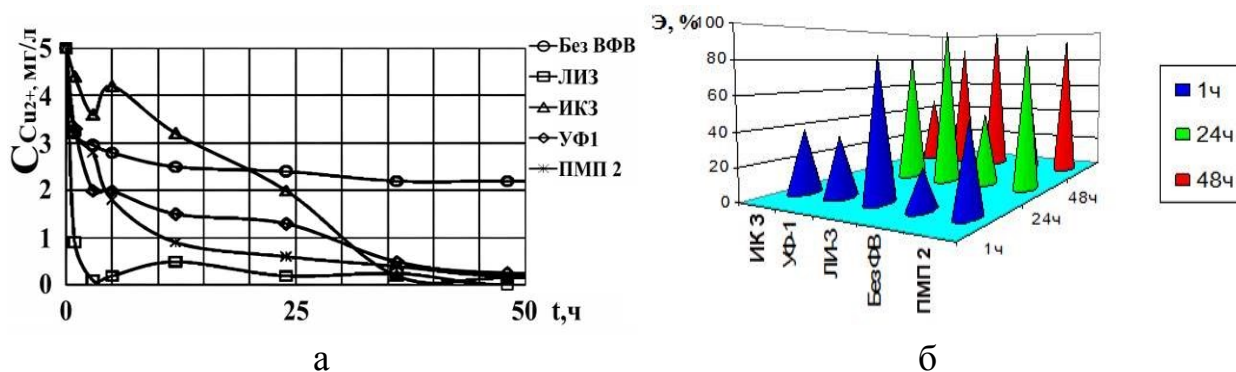


Рис. 2. Извлечение ионов меди из раствора CuSO<sub>4</sub> ( $C = 5$  мг/л) ряской без внешних физических воздействий (ВФВ) и при воздействии различных факторов в течение различного времени: а) сорбция меди; б) эффективность извлечения Cu<sup>2+</sup>. Сокращения см. в тексте

Фотофизические реакции обусловлены преимущественно нагреванием объекта (в пределах  $0,1-0,3$  °С) и распространением тепла в биотканях. Разница температуры более выражена на биологических мембранах, что ведет к оттоку ионов Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup>, раскрытию белковых каналов, изменению величины

биопотенциала, росту проницаемости стенок растения и клеточных мембран, и, как следствие, увеличению транспорта молекул и ионов внутрь клетки.

Фотохимические реакции обусловлены возбуждением электронов в атомах, поглощающего свет вещества. На молекулярном уровне это выражается в виде фотоионизации вещества, его фотовосстановления, фотоокисления, фотодиссоциации молекул, или в их перестройке – фотоизомеризации [8].

Воздействие УФ целесообразно не более 1 ч (УФ-1), ИК-излучение ускоряло сорбцию меди растением лишь в первые 3 ч (ИК-3), а затем процесс фиторемедиации замедлялся. Влияние УФ и ИК способствует при выбранных условиях более быстрой, полной и глубокой очистке стоков от ИТМ в сравнении с процессами без физического воздействия. По нашему мнению это связано со стимулирующим действием физических факторов на растительные клетки и ткани, изменению потенциала клеточных мембран, увеличению их проницаемости [6–10] и, как следствие, ускорению и полноте поглощения катионов.

Для ПМП было установлено, что наиболее эффективная очистка воды от катионов меди достигалась при напряженности поля 2 кА/м. С учетом литературных данных [9] механизм воздействия ПМП может быть объяснен следующим образом. Наложение магнитного поля способствует повышению проницаемости клеточной мембраны, что усиливает поток катионов меди в растение из раствора, и, соответственно, сокращается время извлечения  $\text{Cu}^{2+}$  фитомассой растения, в сравнении с процессами, протекающими без наложения магнитного поля. В целом при действии ПМП происходит более глубокое и полное извлечение меди растениями из загрязненных стоков. Это, по всей видимости, обусловлено тем, что происходит воздействие магнитного поля на объемные электрические заряды, которые формируются в клетках за счет энергии живой системы, накапливающейся в ходе биохимических реакций. Известно, что магнитные поля воздействуют на белковые образования растительного происхождения, выбивая у них электроны с внешних электронных путей, тем самым, образуя на внешнем электронном пути отрицательное значение [9]. При этом усиливается разность потенциалов на границе клеточная мембрана – раствор, что оказывает благоприятное воздействие на процессы фиторемедиации положительно заряженных ионов металлов из объема раствора. Таким образом, посредством влияния на живой объект искусственным электромагнитным полем, можно в ряде случаев значительно ускорить биологические, химические или электрохимические процессы. На клеточном уровне действие МП может осуществляться через неспецифические изменения поляризации клеточных мембран и их проницаемости. Это не единственный путь воздействия. МП может влиять не только на цитоплазматическую мембрану клетки, но и на другие субклеточные образования в частности на ядро, вызывая и генетические эффекты [9]. Полученные результаты свидетельствуют, что наибольшее количество металла извлекается при лазерном облучении (табл. 1).

Таблица 1

**Величины сорбционной емкости (А) и эффективности очистки (Э) стоков от ионов меди при различных физических воздействиях ( $C_{нач} = 5$  мг/л)**

Без ВФВ		ПМП-2		ИК-3		УФ-1		ЛИ-3	
А, г/кг	Э, %	А, г/кг	Э, %	А, г/кг	Э, %	А, г/кг	Э, %	А, г/кг	Э, %
0,13	54	0,19	74	0,12	51	0,19	74	0,25	99

Примечание: ВФВ – внешние физические воздействия; ПМП – постоянные магнитные поля, УФ – ультрафиолетовое, ИК – инфракрасное и ЛИ – лазерное излучения.

Известно, что в биологических структурах организма существуют собственные электромагнитные поля и свободные заряды, которые перераспределяются под влиянием фотонов излучения, что ведет к прямой «энергетической подкачке» облучаемого организма. Таким образом, в основе механизма воздействия на ткани лазерного облучения лежат процессы, происходящие на клеточном и молекулярном уровнях [7, 10]. В результате «энергетической подкачки» резко происходит изменение биопотенциала (рис. 3), что способствует росту проницаемости клеточных мембран и резкому увеличению скорости извлечения ионов меди из стоков.

Полученные данные согласуются с мембранной теорией биоэлектrogenеза [6], в соответствии с которой биопотенциал возникает в результате каких-либо биологических, химических или электрохимических изменений, и сопровождается обратимым повышением ионной проницаемости клеточных мембран.

Анализ данных, полученных при измерении потенциала на границе раствор / растение (рис. 3 а) показал, что если в состоянии покоя (в природной воде без  $CuSO_4$  и ВФВ) начальный потенциал лежит в отрицательной области -31 мВ и в течение 20 минут уменьшается до -51 мВ, а затем вновь возрастает до +26 мВ, то в присутствии в растворе катионов меди  $Cu^{2+}$  (рис. 3, а, без ВФВ) его величина смещена в положительную область и изменяется в процессе извлечения меди от +58 мВ до -9,3 мВ.

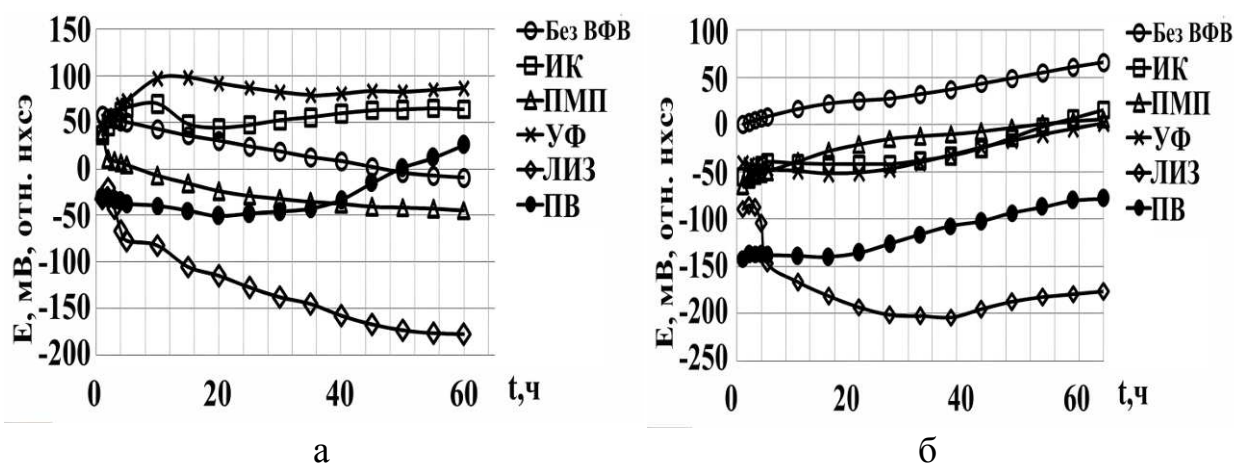


Рис 3. Потенциометрические кривые изменения величин потенциалов без и при различных ВФВ на границе раствор / клетка растений (а) и в клетках растения (б), полученные на Рт-электроде в  $CuSO_4$  ( $C_{Cu^{2+}} = 5$  мг/л)

То есть у поверхности растения за счет притока катионов растет положительный заряд. При воздействии на растение внешних физических полей (ПМП, УФ, ИК, ЛИ) наблюдается изменение хода зависимости потенциалов во времени. При тепловых воздействиях ИК- и УФ-потенциал лежит в более положительной области, и имеет тенденцию к увеличению, проходя через экстремум во временном интервале  $\sim 10$  минут. При воздействии же ПМП и, особенно, ЛИ потенциал уменьшается, достигая в течение часа отрицательных значений (от  $+39$  до  $-49$  мВ (ПМП) и от  $-32$  до  $-178$  мВ (ЛИ)). Эти изменения, вероятно, связаны с усилением под действием внешних факторов перемещения положительно заряженных ионов  $H^+$ ,  $K^+$  и  $Cu^{2+}$  вглубь растительной клетки. Кроме этого, в результате воздействий на объемные электрические заряды (ПМП), а также фотоионизации вещества и фотодиссоциации молекул (ЛИ) в клетках растений увеличивается количество нескомпенсированных электронов и растет плотность отрицательного заряда на границе раствор/клетка, что согласуется с литературными данными [4, 6, 10].

Измерения величин потенциалов в объеме фитомассы (в клетках растения) позволили установить (рис. 3 б), что потенциал, измеренный в природной воде, изменяется от  $-142$  мВ до  $-78$  мВ, и ход его в целом аналогичен таковому для потенциала на границе раздела раствор / растение.

При добавлении в раствор катионов  $Cu^{2+}$  (рис. 3, б, без ВФВ) его величина смещается в положительную область и изменяется в процессе извлечения меди от  $0$  до  $+66$  мВ. То есть в фитомассе растения за счет притока катионов растет положительный заряд. Воздействие внешних факторов (ПМП, УФ, ИК, ЛИ) способствует генерации электронов (о чем было указано выше), ход  $E, t$ -кривых, аналогичен изменению потенциала в опыте без ВФВ, но процесс извлечения меди при этих условиях протекал при более низких потенциалах (от  $-50$  до  $+10$ )  $\pm 8$  мВ. При воздействии на растение, находящееся в растворе  $CuSO_4$  лазером картина процесса меняется. Потенциал, как и в случае других ВФВ в начальный момент времени ( $\sim 3$  мин) возрастает от  $-89$  до  $-78$  мВ, а затем достаточно резко в течение получаса снижается до  $-210$  мВ, и далее стабилизируется, возрастая до  $-176$  мВ. Наблюдаемые явления могут быть обусловлены тем, что при воздействии ЛИ в результате фотоионизации вещества и фотодиссоциации молекул увеличивается количество нескомпенсированных электронов, в связи с чем, сильно возрастает плотность отрицательного заряда, о чем было указано выше. То есть при воздействии внешних физических полей возбуждающий импульс для растения достигает порогового значения, мембранный потенциал изменяется (в сторону отрицательных величин), при этом возрастает ионная проницаемость клеточных мембран [2, 6, 8]. Наиболее весомое влияние оказывают лазерное облучение и постоянное магнитное поле.

Таким образом, проведенные исследования по изучению влияния внешних физических воздействий (ВФВ) различной природы на изменение электрических свойств растений ряски малой *Lemna minor* при извлечении катионов тяжелых металлов из загрязненных стоков позволили установить:

1. ВФВ способствуют изменению мембранных потенциалов растительной клетки, оказывая влияние на избирательность и скорость процессов фиторемедиации ионов металлов из загрязненных вод с помощью высших водных растений.

2. Показано, что количество извлекаемого металла зависит от предварительной обработки растения различными физическими воздействиями, и растет в ряду: ЛИ > ПМП > УФ >> без ВФВ > ИК.

3. Наблюдаемые явления обусловлены тем, что в результате воздействия физических полей увеличивается количество нескомпенсированных электронов, при этом сильно возрастает плотность отрицательного заряда. В результате «энергетической подкачки» резко происходит изменение биопотенциала, что способствует росту проницаемости клеточных мембран и резкому увеличению скорости извлечения ионов меди из стоков.

#### Библиографический список

1. Линник П. Н., Набиванец Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водоемах. М. : Гидрометеиздат, 1986. 286 с.
2. Смирнов П. Р., Тростин В. Н. Структура концентрированных водных растворов электролитов с кислородосодержащими анионами. Иваново : ИХНР РАН, 1994. 260 с.
3. Mukherjee D., Das A. C. Treatment of domestic sewage by agriculture // Fertilizer Technologie. 1992. Vol. 19. No. 3–4. P. 127–133.
4. Опритов В. А., Пятыгин С. С., Воденев В. А. Непосредственное сопряжение генерации потенциала действия в клетках высшего растения *Cucurbita pepo* L. с работой электрогенного насоса // Физиология растений. 2002. Т. 49, № 1. С. 160–165.
5. Ольшанская Л. Н., Собгайда Н. А., Стоянов А. В. Влияние электромагнитных излучений на процесс электрохимического извлечения меди эйхорнией // Экология и промышленность России. 2011. № 2. С. 52–54.
6. Опритов В. А., Пятыгин С. С., Ретиван В. Г. Биоэлектрогенез у высших растений. М. : Наука, 1991. 214 с.
7. Лотова Л. И. Ботаника: Морфология и анатомия высших растений : учебник. М. : КомКнига, 2007. 512 с.
8. Куклев Ю. И. Физическая экология : учебное пособие. М. : Высшая школа, 2001. 357 с.
9. Холодов Ю. А. О механизме биологического действия постоянного магнитного поля. М. : Наука, 1971. 215 с.
10. Введение в биомембранологию / А. А. Болдырев, С. В. Котелевцев, М. Ланио и др. Под ред. А. А. Болдырева. М. : Изд-во МГУ, 1990. 208 с.



# ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ПАЛИНОИНДИКАЦИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

*Р. А. Сафонов*

*Донецкий государственный университет,  
Донецкий физико-технический институт имени А. А. Галкина,  
romansafonov05@mail.ru*

В статье представлены результаты эксперимента по одному из способов локального экологического мониторинга в городской среде в летнее время – палинологическому. Доказано, что на количественный состав пыльцы в воздухе оказывает влияние наличие турбулентных газоздушных смесей и уклон поверхности, а качественные характеристики внешне характеризуются изменением стереометрической конформации в тренде токсикогенной нагрузки в урбаноландшафтах (на примере Калининского района города Донецка).

Ключевые слова: физика ландшафта, пыльца, фитоиндикация, Донецк, экологический мониторинг, загрязнение окружающей среды.

Свободно парящая пыльца дикорастущих травянистых растений представляет собой гетерогенный биосубстрат, состоящий из комплекса биологически активных соединений, реагирующих на изменения в окружающей среде. Мнения ученых по поводу информативности палинологического способа в оценке окружающей среды оправданно отличаются. Если целью исследования является палеонтологическая летопись, датировки эпох и неотъемлемая таксономическая идентификация [1–3], то изначальные установки эксперимента основываются на позиции структурного консерватизма мужского гаметофита цветковых растений. Если же диагностика проводится в условиях жесткого геохимического контраста [4, 5] и с целью выявления экотопической разницы или влияния, например, предприятия-загрязнителя [6, 7], то базовая установка допускает ценопопуляционный полиморфизм пыльцевых зёрен [8, 9] в зависимости от условий их нахождения в агрессивных газоздушных смесях и специфике оседания в трансформированной системе естественной гравитации.

Цель работы – выделить влияние физико-географических факторов на концентрирование пыльцы и конформационные её изменения в условиях городской среды на примере одного из районов города Донецка.

Работы проведены в летнее время (июль–август) 2020–2024 гг. на территории Калининского района г. Донецка, было заложено 18 учетных площадей в узлах локализации мониторинговой сети преимущественно на перекрестках автодорог от ул. Набережная до пр. Красногвардейский в ландшафтной однородности склона (долина р. Кальмиус). Пыльцу собирали на липкий субстрат при осаждении на поверхности земли в безветренный день,

экспозиция полевого сбора – сутки. В палиносборах доминирующими были выделены 7 родов цветковых растений, видовая идентификация не проводилась по причине высокого внутривидового полиморфизма пыльцевого материала в условиях сбора образцов. В целом, для одного сбора достаточным считали 200 пыльцевых зерен (для морфометрического анализа общего материала в геолокалитете). Территория была выбрана для проведения эксперимента в селитебной зоне вне прямого импакта объектов промышленного загрязнения.

Установлено, что концентрация (по числу осажденных элементов) пыльцы достоверно увеличивается при понижении местности (от 3,5 тыс. до 5 тыс. в одном образце) и при интенсификации автодорожной нагрузки, что было установлено в тренде увеличивающегося количества автотранспорта на единицу времени в трёх временных интервалах за сутки. Местность была выбрана таким образом, что автодорожная турбулентность газоздушных смесей совпадала с понижением местности, что усиливало эффект как по количеству увеличения осажденной пыльцы, так и её структурной гетерогенности.

Для статистического учета показателей абсолютного размера (табл. 1) и коэффициента вариации (табл. 2) выбраны 6 модельных пробных площадей по две локации на параллельных улицах: пр. Ильича (3 и 6), бульв. Шевченко (2 и 5) и на пр. Мира участки 1 и 4 при нумерации с запада на восток (рис.).

Таблица 1

**Размеры пыльцевых зерен (мкм) на придорожных полосах г. Донецка**

Род идентифицируемых растений	Пробные площадки					
	1	2	3	4 (к.)	5	6
<i>Cichorium</i> L.	52,1±0,51	50,4±0,88	47,1±0,82	53,3±0,49	52,3±1,16	48,2±1,09
<i>Achillea</i> L.	44,4±1,12	42,0±1,22	41,7±1,48	46,4±1,07	44,6±1,15	40,1±1,20
<i>Tanacetum</i> L.	52,5±2,27	нет	нет	55,2±2,56	нет	нет
<i>Matricaria</i> L.	51,9±0,77	50,8±0,62	45,4±0,78	53,0±0,71	47,0±0,79	45,8±0,70
<i>Artemisia</i> L.	48,7±3,37	нет	41,8±4,10	48,9±4,85	нет	42,1±4,09
<i>Cyclachaena</i> Fresen.	45,1±3,10	нет	43,7±3,96	45,3±4,19	нет	43,8±3,64
<i>Ambrosia</i> L.	55,7±2,38	54,2±3,67	52,4±3,59	56,7±4,79	51,3±5,46	49,5±3,21

На основании максимальных значений размерных показателей пыльцевых зёрен, пробная площадка № 4 была определена как региональный контроль – участок более благоприятного произрастания индикаторных видов, что также было важно определить при установлении достоверной разницы в сравнении с другими участками отбора образцов. Наиболее неблагоприятные условия установлены для пробных участков 3 и 6 при размерной мелкозернистости в условиях более интенсивной автотранспортной нагрузки на пр. Ильича (на 230% больше в сравнении с бульваром Шевченко и на 405% выше по отношению к пр. Мира). Надо обозначить, что идентификации подверглись только пыльцевые зёрна доминирующих родов из представителей семейства астровых – это травянистые растения сорно-рудеральной фракции флоры Донбасса. Если бы таксономическая специфичность касалась пыльцы древесных растений, то при условии метеорологической активности и существен-

ном смещении воздушных масс эти показатели невозможно было бы соотнести с локалитетом при проведении детального мониторингового эксперимента в привязке к местности с точностью до 1–3 км. В таких случаях локальный мониторинг мог бы приобретать уровень субглобального, что не входило в задачи наших исследований для городской среды на примере одного района г. Донецка.

Таблица 2

**Вариабельность пыльцевых зёрен на придорожных полосах г. Донецка**

Род идентифицируемых растений	Пробные площадки										
	1		2		3		4 (к) CV		5		6
<i>Cichorium</i> L.	5,1	*	2,8	*	2,9	*	2,3	3,3	*	2,4	*
<i>Achillea</i> L.	6,6	*	9,2		7,4	*	4,1	9,1		8,4	
<i>Tanacetum</i> L.	5,5		нет		нет		4,7	нет		нет	
<i>Matricaria</i> L.	2,2	*	2,0	*	1,8	*	3,1	3,3	*	3,0	*
<i>Artemisia</i> L.	22,6		нет		16,7		10,0	нет		18,0	
<i>Cyclachaena</i> Fresen.	5,7	*	нет		10,2		3,3	нет		11,5	
<i>Ambrosia</i> L.	13,4		8,1	*	9,9		8,2	8,7		8,5	*

Примечание: \* – достоверно при  $P \leq 0,05$ .

Статистически важный критерий по морфологической пластичности индикаторного признака (пыльцы) был проанализирован по коэффициенту вариации и установлению достоверности этого значения в сравнении с данными контроля. Нужно отметить, что наибольшая пластичность характерна для родов полыни, амброзии и циклахены, причем представители (виды) двух последних являются карантинными видами и представляют угрозу по выбросам пыльцы в больших количествах, что опасно для санитарно-аллергенной ситуации в Донецке и сопряженных территориях. Более 50% значений выявили достоверную разницу на указанном в таблице доверительном интервале. Наибольшим консерватизмом по вариабельности строения (в абсолютных величинах) характеризуются виды родов цикорий и ромашка, что также важно в интерпретации результатов эксперимента. Даже для консервативных по строению видов в отдельных случаях проявляются массовые трансформации в строении: тератные формы и специфические преобразования стереометрических характеристик пыльцевого зерна.

Система объемных стереометрических данных представляет собой отдельную часть эксперимента. Модельным объектом для анализа стал вид цикория дикого, хорошо поддающийся анализу при окрашивании метиленовым синим. В безветренную погоду скорость смещения воздушных потоков вблизи перекрёстков автодорог достигает 5–6 м/с, что доказывает локальную турбулентность и провоцирует повторную и третичную фазу циркуляции пыльцы в воздухе. Поскольку жилая застройка плотно прилегает к линиям коммуникаций, то в большинстве случаев дома и зеленые макромерные насаждения (аллеи деревьев) являются мощным барьером, предотвращающим проникновение большинства пыльцевых зерен из числа анализируемых таксонов вглубь селитебной зоны, что доказано по отбору проб во внутриворотовых

территорий. При этом, циркулируя много раз в агрессивной газовой смеси пыльцевые зерна начинают претерпевать характерную во многих случаях и нехарактерную в единичных точках отбора проб неустойчивость поверхностного натяжения экзины, что, по-видимому, отражается в общей морфологии пыльцы. Специфика таких преобразований показана на рисунке.

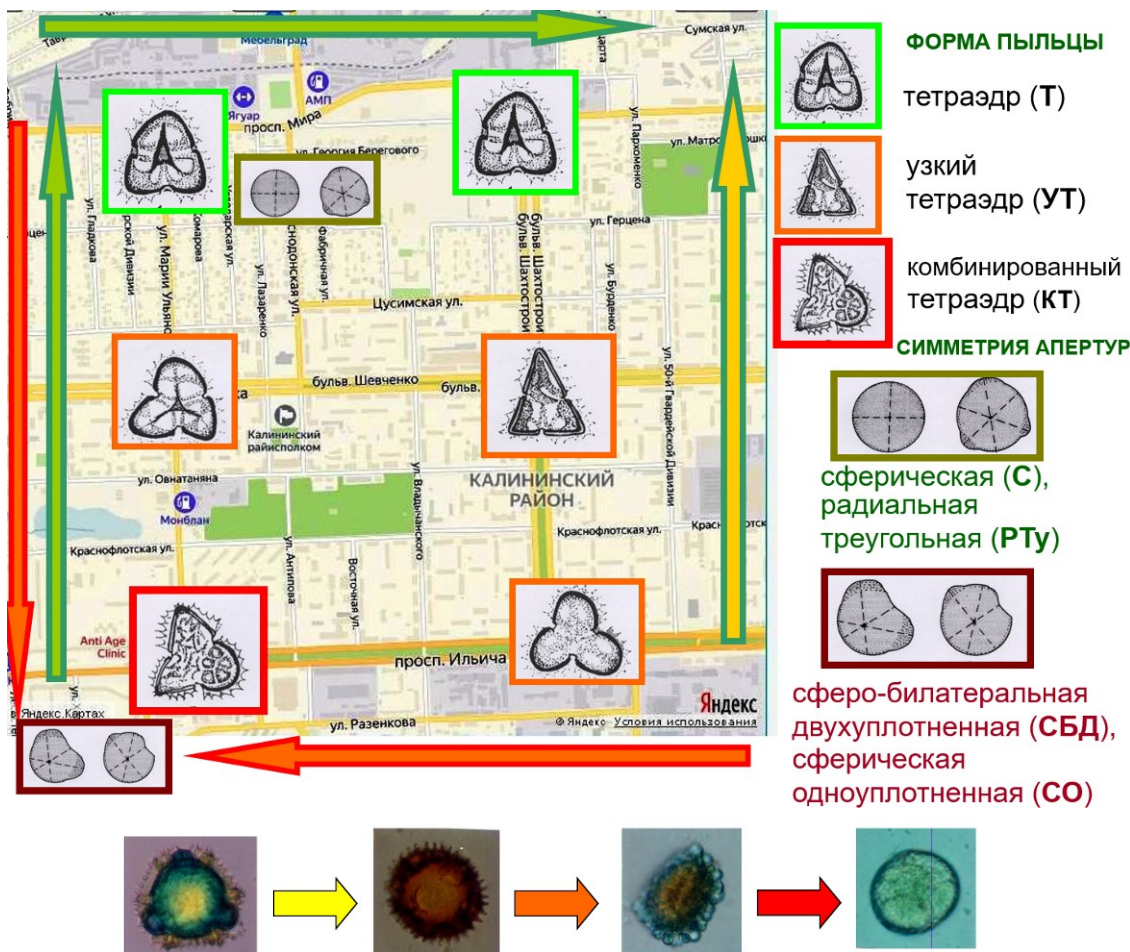


Рис. 1. Характерные палинотипы в узлах мониторинговой сетки: тренды трансформации и стабилизации структуры

Достаточной частотой встречаемости для выделения закономерных трансформаций в строении считали порог в 6% от общего количества анализируемого палиноматериала. Создаваемая турбулентность газовой смеси в приземном слое атмосферы создаёт предпосылки для повышения уровня гетерогенности как ответной реакции на факторы стресса, но в целом это не снижает уровень репродуктивного успеха изучаемых сорных видов на придорожных территориях.

Отмечены явные деградационные процессы в строении пыльцевого зерна, что подтверждено как на стадии созревания пыльцы в пыльнике и первых минутах вылета, так и при длительном нахождении в воздухе городской среды с интенсивным движением автотранспорта. Характерная природная гребенчатость переходит в стадии эхинолофатности и в крайних случаях упро-

щения строения не имеет апертур и специфической скульптуры поверхности пыльцевого материала, что важно установить на первых стадиях вылета для отслеживания дальнейших преобразований при осаждении.

Пятилетние сравнения результатов подтверждают специфику установленных закономерностей для указанной части города Донецка, а также позволяют проследить повторяемость эксперимента. Динамика отличий в 3–5% относится, как правило, к разнице в сезонной метеорологической ситуации, характерной для разных лет по критериям жаркого и сухого лета в юго-западных районах степной европейской части России.

#### Библиографический список

1. Aerobiological monitoring and metabarcoding of grass pollen / A. A. Krinitsina, D. O. Omelchenko, A. S. Kasianov et al. DOI: 10.3390/plants12122351 // Plants. 2023. Vol. 12. No. 12. Article No. 2351.

2. Идентификация пыльцы злаков в аэробιологических образцах методом меташтрихкодирования / Е. Э. Северова, А. А. Криницына, Д. О. Омельченко, А. С. Касьянов // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2022. Т. 127, № 5. С. 34–45.

3. Pollen production of selected grass species in Russia and India at the levels of anther, flower and inflorescence / E. Severova, Y. Kopylov-Guskov, D. Sokoloff et al. DOI: 10.3390/plants11030285 // Plants. 2022. Vol. 11. No. 3. Article No. 285.

4. Geoinformation modeling of socio-ecological safety of rural areas on the example of settlements of the Belgorod region / S. Yeprintsev, S. Kurolap, O. Klepikov et al. DOI: 10.1051/e3sconf/202345808019 // E3S Web of Conferences. EMMFT 2023. Vol. 458. Article No. 08019.

5. Ecological diagnostics of urban areas based on the materials of remote sensing of the earth / S. A. Yeprintsev, S. A. Kurolap, O. V. Klepikov, S. V. Shekoyan. DOI: 10.1063/5.0104467 // Proceedings II International Scientific Conference on Advances in Science, Engineering and Digital Education (ASEDU-II-2021). Vol. 2647 A. Krasnoyarsk : AIP Publishing, 2022. Article No. 70030.

6. Гермонова Е. А. Геоинформационная визуализация данных по атипичному морфогенезу растений экотопов Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 1–2. С. 13–22.

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

8. Мирненко Н. С. Качество пыльцы *Ambrosia artemisiifolia* L. как показатель состояния городской среды. DOI: 10.5281/zenodo.13949282 // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2024. № 2. С. 14–19.

9. Мирненко Н. С. Качество пыльцевых зерен *Populus alba* L. на пробных площадках г. Донецка // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 24–25 апреля 2023 года. Книга 1. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 315–318.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ РАСТЕНИЙ

*А. М. Шеромов<sup>1</sup>, А. С. Олькова<sup>1</sup>, Е. В. Товстик<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, sheromov.anton@mail.ru,*

<sup>2</sup> *Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого*

В статье представлен опыт использования программы ImageJ для оценки основных тест-функций при биотестировании по ростовым характеристикам растений. Описан краткий алгоритм использования ресурса. К преимуществам автоматизированного метода фитотестирования отнесли: отсроченное измерение показателей по снимкам тест-растений, удобные инструменты измерений изогнутых частей растений, встроенный инструментарий для первичных математических расчетов.

Ключевые слова: фитотестирование, автоматизация, длина корней, длина проростков, площадь листа.

Методы фитотестирования удобны для оценки качества сред и объектов, поскольку чаще всего используются семена, которые не нужно культивировать в непрерывном режиме, как лабораторных животных. К преимуществам можно отнести возможность проведения как элюатного, так и контактного биотестирования твердых сред (почв, грунтов, отходов).

К отрицательным сторонам фитотестирования можно отнести относительно низкую чувствительность [1, 2] и неудобство прямого способа измерения ростовых характеристик проросших семян. Зачастую трудности обусловлены сложной формой измеряемых объектов, которые не подчиняются простейшим математическим формулам. Ручные замеры характеризуются относительно высокой погрешностью [3] и требуют больших временных затрат [4].

В настоящее время, автоматизация стала одним из направлений развития методов биотестирования, в том числе – фитотестирования [5]. Использование полуавтоматизированных систем позволяет измерять длину вегетативных частей растений [6], оценивать и рассчитывать индекс листовой поверхности путем измерения площадей [7].

Целью данной работы был поиск и апробация программного продукта для частичной автоматизации измерения морфометрических параметров растений.

Был выполнен поиск имеющихся программных продуктов в базах данных ScienceDirect, eLibrary.Ru по запросам «automated measurement plant morphology» и «software plant morphology analysis». Для апробации была выбрана программа ImageJ, не подлежащая защите авторским правом [8].



Материалом для апробации программы служили фотографии растений: листья ячменя и проростки редиса. Анализ изображений проводился в программном продукте ImageJ и включал цветовую коррекцию снимка, сегментацию и непосредственное измерение (рис.).

Для измерения длины объекта снимок калибруется по реальной длине в миллиметрах. Для этого при фотосъемке рядом с исследуемыми объектами необходимо помещать линейку. Точно следуя линии изгиба корня, на изображение наносятся маркеры (точки) и производится замер. На рисунке видно, что программа дает возможность измерять как довольно простые объекты (б), так и изогнутые (б). Так, корень редиса, крайне сложно измерить линейкой, попытки выпрямить его приводят к повреждению фитообъекта.

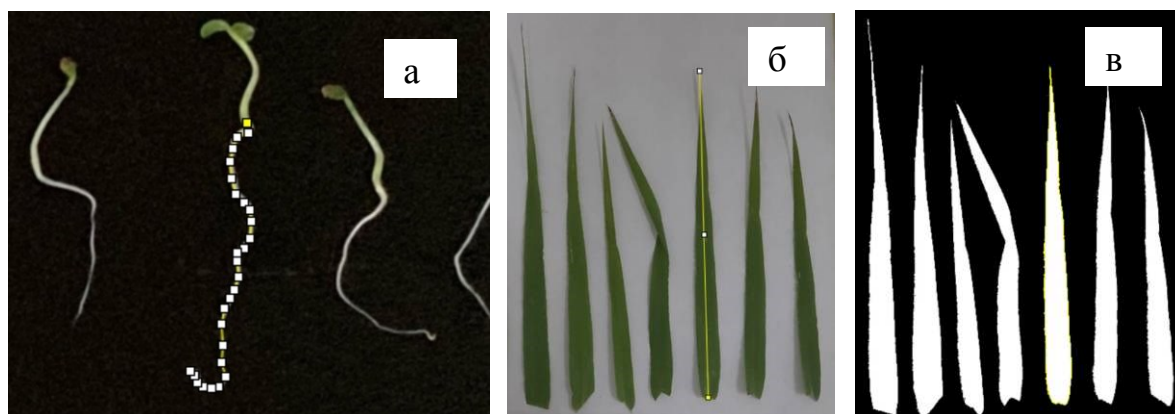


Рис. Примеры использования инструментария ImageJ для измерения длины корня (а), длины листьев (б) и площади листьев (в)

Для определения площади объектов, в ImageJ также используется расстановка маркеров, затем применяется автоматический алгоритм вычитания фона (рис. в).

Используемая программа дает возможность первичной статистической обработки. Каждому измеренному объекту автоматически присваивается номер, проводится расчет среднего арифметического, стандартного отклонения показателей оцениваемых объектов. Выпадающие из ряда объекты при расчете можно удалить вручную из программы.

Программы ImageJ не дает характеристик оцениваемых выборок. Для этого нужно действовать общепринятым способом, например, вести сравнение с опытным контролем или пробой, взятой с фоновой территории. Другим вариантом может быть использование оценочных шкал известных методик.

Таким образом, к преимуществам автоматизированного метода измерения морфометрических параметров растений для целей фитотестирования относим: возможность измерения относительно небольших объектов, измерение объектов со сложными формами, отсроченное измерение по фотоснимкам, наличие первичной статистической обработки полученных данных.

### Библиографический список

1. Express-phytotest for choosing conditions and following process of soil remediation / G. K. Vasilyeva, V. S. Kondrashina, E. R. Strijakova, D. L. Pinsky. DOI: 10.1007/s10653-020-00727-8 // Environmental Geochemistry and Health. 2022. Vol. 44. No. 2. P. 433–445.
2. Nikolaeva O. V., Terekhova V. A. Improvement of laboratory phytotest for the ecological evaluation of soils. DOI: 10.1134/S1064229317090058 // Eurasian Soil Science. 2017. Vol. 50. P. 1105–1114.
3. Fiskesjö G. The Allium test as a standard in environmental monitoring. DOI: 10.1111/j.1601-5223.1985.tb00471.x // Hereditas. 1985. Vol. 102. No. 1. P. 99–112.
4. Скоков А. В., Клишина Л. И. Применение различных методик определения площади листьев, поврежденных минирующими насекомыми // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. Т. 1. С. 278–280.
5. Olkova A. S., Tovstik E. V. Computer Vision – The Frontier of Modern Environmental Diagnostics: A Review. DOI: 10.47836/pjst.32.4.08 // Pertanika Journal of Science & Technology. 2024. Vol. 32. No. 4. P. 1591–1607.
6. MyROOT: a method and software for the semiautomatic measurement of primary root length in Arabidopsis seedlings / I. Betegón-Putze, A. González, X. Sevillano et al. DOI: 10.1111/tpj.14297 // The Plant Journal. 2019. Vol. 98. No. 6. P. 1145–1156.
7. Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography / C. Macfarlane, M. Hoffman, D. Eamus et al. DOI: 10.1016/j.agrformet.2006.10.013 // Agricultural and Forest Meteorology. 2007. Vol. 143. No. 3–4. P. 176–188.
8. ImageJ [Электронный ресурс]. – URL: <https://imagej.net/> (дата обращения: 29.10.2024).

### БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ПО АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ *BETULA PENDULA* ROTH И *POPULUS TREMULA* L.

**О. Е. Кононова<sup>1,2</sup>, А. С. Олькова<sup>2</sup>, М. А. Тупицына<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup> *Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого, oksana.kononova.98@mail.ru,*  
<sup>2</sup> *Вятский государственный университет*

В статье представлена индикаторная роль флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) и осины обыкновенной (*Populus tremula* L.). На примере г. Кирова (Россия) показано, что асимметрия листьев березы выражена меньше, чем у осины, но у листьев осины она имеет более тесную взаимосвязь с характеристиками почвы.

Ключевые слова: биоиндикация, загрязнение окружающей среды, флуктуирующая асимметрия.

Флуктуирующая асимметрия (ФА) билатеральных морфологических частей организмов представляет собой важный экологический индикатор, который позволяет оценить состояние здоровья популяций и качество окружающей среды [1]. Индикаторная роль ФА основана на незначительных отклонениях от строгой симметрии билатеральных структур организма, возникаю-



щих под воздействием генетических и экологических факторов [2, 3]. ФА приобрела значительную популярность в экологии и биологии, поскольку ее измерения могут служить биомаркером для оценки воздействия антропогенных факторов на экосистемы.

Целью данной работы было определение взаимосвязи асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) и осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) с несколькими характеристиками почвы на участках их произрастания.

Участками исследований были зеленые зоны г. Кирова. Листья древесных растений собраны в августе 2022 г., повторно – в августе 2023 г. Оценку ФА проводили согласно [4]. Почву отбирали однократно: в августе 2023 г. Определяли содержание валовых форм тяжелых металлов (ТМ) в листьях и почве, также в почве были определены концентрации подвижных форм металлов [5], уровень рН и содержание органического вещества. Вычисляли коэффициент подвижности ТМ в почве, коэффициент корреляции Пирсона ( $r$ ) для демонстрации уровня связи между ФА и характеристиками почвы.

В таблице 1 показаны значения коэффициентов ФА листьев березы и осины обследованных участков.

На большинстве участков балл состояния окружающей среды по ФА листьев при сравнении данных 2022 г. и 2023 г. не менялся или менялся незначительно (на 1 балл).

По показателю ФА листьев березы наиболее благополучными оказались территории на окраине города, имеющие значительные по площади участки озеленения, не имеющие развитой транспортной сети: районы Малые Чижы и Малая Субботиха (2–3 балла в динамике). На остальных участках асимметрия листьев березы менялась от 3 до 5 баллов с вариациями по годам отбора проб. Интересно, что наиболее чистым по классификации [4] оказался участок на ул. Лепсе (1–2 балла), который находится вблизи крупных промышленных предприятий и отличается высокой транспортной нагрузкой. Возможно, это связано, с неучтенными в исследовании факторами, например, освещенность участков и обеспеченность влагой.

Асимметрия листьев осины проявлялась сильнее, чем у листьев березы: на всех участках, кроме ул. Искры, отмечен максимальный балл – 5.

Таблица 1

**Флуктуирующая асимметрия (ФА) листьев березы и осины в г. Кирове в 2022 и 2023 гг.**

Наименование участка	2022 год				2023 год			
	Береза повислая		Осина обыкновенная		Береза повислая		Осина обыкновенная	
	Коэффициент ФА	Балл состояния	Коэффициент ФА	Балл состояния	Коэффициент ФА	Балл состояния	Коэффициент ФА	Балл состояния
Коминтерн	0,05±0,03	4	0,065±0,027	5	0,05±0,03	4	0,067±0,032	5
Малые Чижи	0,04±0,017	2	–	–	0,045±0,02	3	–	–
Садаковский	0,045±0,029	3	0,08±0,028	5	0,046±0,03	3	0,08±0,03	5
Ул. Талица	0,049±0,02	3	0,07±0,043	5	0,05±0,02	4	0,075±0,035	5
Александровский сад	0,06±0,02	5	–	–	0,06±0,03	5	–	–
Малая Субботиха	0,04±0,021	2	0,065±0,026	5	0,04±0,021	2	0,065±0,03	5
Парк им. С. М. Кирова	0,045±0,031	3	0,057±0,027	5	0,05±0,03	4	0,06±0,027	5
Ул. Искры	0,04±0,023	2	0,042±0,021	2	0,053±0,028	4	0,047±0,02	3
Ул. Лепсе	0,038±0,015	1	–	–	0,04±0,02	2	–	–

*Примечание:* прочерк означает отсутствие данных видов на участке; ФА < 0,040 – 1 балл (чисто); ФА 0,040–0,044 – 2 балла (относительно чисто); ФА 0,045–0,049 – 3 балла (загрязнено); ФА 0,050–0,054 – 4 балла (грязно); ФА > 0,054 – 5 баллов (очень грязно) [4].

Характеристики почвы на участках исследования отражены в таблице 2.  
Таблица 2

**Комплексная характеристика участков исследования**

Участки	Кратность валового содержания ТМ к нормативу, раз	Кратность подвижного содержания ТМ к нормативу, раз	Содержание органического вещества, мг/кг	рН солевой вытяжки, ед. рН
Коминтерн	Pb 0,33 <b>Cu 1,02</b> <b>Zn 0,95</b>	Zn 0,10	8,46	4,2
Малые Чижи	Pb 0,20 <b>Cu 0,96</b> Zn 0,67	–	7,56	5,7
Садаковский	Pb 0,19 <b>Cu 1,01</b> Zn 0,79	–	6,09	5,6
Ул. Талица	<b>Pb 2,66</b> <b>Cu 1,20</b> Zn 0,82	Pb 0,55 Zn 0,11	4,68	5,4
Александровский сад	Cd 0,10 Pb 0,70 <b>Cu 1,56</b> <b>Zn 3,92</b>	Zn 1,10	7,87	6,9
Малая Субботиха	Cu 0,48 Zn 0,47	Zn 0,13	8,29	5,3
Парк имени С. М. Кирова	Pb 0,27 <b>Cu 1,28</b> Zn 0,71	–	8,61	6,0
Ул. Искры	Pb 0,19 Cu 0,48 Zn 0,50	–	3,45	6,1
Ул. Лепсе	Pb 0,82 <b>Cu 2,32</b> <b>Zn 1,10</b>	Pb 0,10 Zn 0,62	5,6	7,3

*Примечание:* прочерк означает, что кратность содержания ТМ к нормативу не превышала 10%; содержание металла менее 10% (0,10) от норматива в таблице не отражено; жирным шрифтом отмечены значения на уровне 1 ПДК ( $\pm 5\%$ ) и превышающие норматив; погрешность измерения содержания органического вещества и уровня рН – не более 20%.

Почвы на выбранных участках г. Кирова характеризовались слабокислой и нейтральной степенью кислотности. По содержанию органического вещества являются бедными.

Среди металлов, которые накопились в городской почве, выделяются медь, свинец и цинк. Именно они чаще всего находятся на уровне ПДК для валовой формы ( $\pm 5\%$ ) или превышают норматив. Максимальные превышения содержания валовой формы зафиксированы для меди на ул. Лепсе (2,32 ПДК) и в Александровском саду (1,56 ПДК), для цинка в Александровском саду (3,92 ПДК), для свинца на ул. Талица (2,66 ПДК).

Нормативы содержания подвижных форм ТМ в почвах г. Кирова превышены не были. Только на участках, где наблюдалось относительно повышенное содержание валовых форм ТМ, установили содержание подвижных форм свыше 0,5 ПДК: для цинка – на участке ул. Лепсе, для свинца – на ул. Талица.

Поскольку коэффициенты ФА в 2022 и 2023 гг. были сопоставимы, данные усреднили и провели корреляционный анализ для выяснения взаимосвязи между показателями почвы и ФА листьев березы и осины. Наиболее значимые связи были выявлены между ФА листьев березы и содержанием валовых форм цинка ( $r = 0,79$ ), слабее прослеживается корреляция между ФА и свинцом ( $r = 0,24$ ). ФА листьев осины имеет умеренный уровень корреляции по типу обратной зависимости с рН почвы ( $r = -0,67$ ), валовым содержанием кадмия и меди ( $r = -0,48$  и  $r = -0,36$  соответственно).

Таким образом, ФА листьев древесных растений может быть использована не только как индикатор загрязнения воздушной среды городов, но и почвы. Береза повислая является более предпочтительным биоиндикатором по сравнению с осинной обыкновенной.

#### **Библиографический список**

1. Кряжева Н. Г., Чистякова Е. К., Захаров В. М. Анализ стабильности развития березы повислой в условиях химического загрязнения // Экология. 1996. № 6. С. 441–444.
2. Флуктуирующая асимметрия и случайная фенотипическая изменчивость в популяционных исследованиях: история, достижения, проблемы, перспективы / Д. Л. Лайус, Д. Х. Грэм, М. В. Католикова, А. О. Юрцева // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. № 3. 2009. С. 98–110.
3. Трубина Л. К., Храмова Е. П., Луговская А. Ю. Оценка качества окружающей среды урбанизированной территории по величине флуктуирующей асимметрии листа // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2013. № 2. С. 185–188.
4. Стрельцов А. Б. Региональная система биологического мониторинга. Калуга : Изд-во Калужского ЦНТИ, 2003. 431 с.
5. ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011. Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовых долей металлов в осадках сточных вод, донных отложениях, образцах растительного происхождения спектральными методами. М., 2011. 39 с.

**АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ  
ОСОБЕННОСТИ ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS* L.  
НА РЕКУЛЬТИВИРОВАННОМ УЧАСТКЕ ЗОЛОТВАЛА № 2  
РЕФТИНСКОЙ ГРЭС**

***Н. В. Лукина, Н. В. Чукина, М. А. Глазырина, Е. И. Филимонова,  
Н. А. Замостьянин***

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б. Н. Ельцина, natalia.lukina@urfu.ru*

В статье приведены результаты изучения анатомо-морфологических и биохимических параметров хвои *Pinus sylvestris* L., произрастающей на рекультивированном участке золоотвала Рефтинской ГРЭС. Статистически значимых анатомо-морфологических изменений хвои *P. sylvestris* на рекультивированном участке не выявлено. Ответная реакция ассимиляционного аппарата на стресс заключалась в активации синтеза низкомолекулярных антиоксидантов, таких как фенолы и флавоноиды.

Ключевые слова: биоиндикация, *Pinus sylvestris* L., анатомо-морфологическое строение, пигменты, антиоксиданты.

В настоящее время разработана концепция комплексного экологического мониторинга природной среды, составной частью которого должен быть биологический мониторинг. Он позволяет наиболее точно прогнозировать изменения в экологической обстановке. Важный элемент его – растения [1]. Ответ растений на действие экстремальных факторов окружающей среды заключается в срочной мобилизации защитных систем для сохранения жизнеспособности в неблагоприятных условиях. Оптимальные условия роста для растения – это те, которые вызывают минимальный набор изменений морфологической структуры и физиологических функций в растении. Стрессовые условия, наоборот, меняют нормальные физиологические и биохимические процессы, вызывающие изменения морфологии и анатомии растений.

*Pinus sylvestris* L. является одной из основных древесных пород, применяемых при лесной рекультивации техногенных ландшафтов, как в России, так и за рубежом. В условиях Урала на субстратах легкого гранулометрического состава *P. sylvestris* поселяется естественным путем. Изучение особенностей роста сосновых насаждений на нарушенных землях в зависимости от лесорастительных условий позволяет более полно оценить лесопригодность территории, долговечность, рост и продуктивность насаждений, а, следовательно, их хозяйственную и мелиоративную эффективность [2].

Цель работы – провести сравнительный анализ анатомо-морфологических показателей, пигментного состава, а также параметров антиоксидантной системы хвои *P. sylvestris*, произрастающей на рекультивированном

участке золоотвала Рефтинской государственной районной электростанции (РГРЭС).

Исследования проводили в 2024 г. на рекультивированном участке золоотвала № 2 РГРЭС, который располагается в Уральском регионе в Свердловской области на расстоянии 85 км к северо-востоку от областного центра – г. Екатеринбурга.

Климат района умеренно континентальный с многоснежной холодной продолжительной зимой и коротким жарким летом, интенсивной сменой сезонов, частыми возвратами холодов. В ветровом режиме в течение года преобладают ветры западного направления (27%). Максимальная скорость ветра составляет 18 м/сек, наибольший порыв – 30 м/сек. Абсолютная максимальная температура +38 °С, абсолютная минимальная температура -47 °С. Снежный покров отмечается 165 дней в году. Число дней с температурой выше 5 °С – 170, сумма температур за период с температурой выше 5 °С – 1820. Среднее количество атмосферных осадков составляет 535 мм.

Золоотвал № 2 действующий, общей площадью 1293,01 га, расположен в 4,5 км к северо-востоку от РГРЭС в долине р. Шамейка и р. Полуденка, введен в эксплуатацию в 1974 г.

В 2014 г. на РГРЭС впервые в России внедрена уникальная система сухого золошлакоудаления. Данный метод позволил избежать вырубки леса под обустройство нового золоотвала и сохранить сотни гектаров – за счет увеличения ёмкости «сухой» секции в вертикальном направлении.

На сухой части золоотвала начато проведение рекультивации санитарно-гигиенического направления. Для этих целей на поверхность золоотвала наносили глинистый грунт толщиной 30–40 см и проводили гидропосев смеси трав. Через 2–3 года, вследствие заноса семян из окружающих отвал лесов, на рекультивированной территории отмечено поселение древесных видов, большая часть которых представлена подростом *P. sylvestris*.

В качестве объектов исследований выбраны по 10 особей *P. sylvestris* 6–8-летнего возраста, произрастающих на нижнем ярусе золоотвала № 2 (ОП – опытная площадка). Контрольные образцы одновозрастных особей *P. sylvestris* (КП – контрольная площадка) были отобраны на зарастающей лесом залежи, расположенной между п. Бобровским и с. Фомино в 35 км на юго-восток от г. Екатеринбурга.

Субстрат, нанесенный на рекультивированные участки золоотвала РГРЭС, представлен суглинками и глинами, содержание общего органического углерода – 1,08%, гигровлаги – 2,71%, рН=6,5–7,2. Субстрат контрольного участка содержит больше органического углерода (5,15%) и гигровлаги (5,54%), рН=7,2.

У особей *P. sylvestris* определяли высоту, диаметр ствола, величину ежегодного прироста, длину хвои. Для анатомо-морфологического анализа у деревьев отбирали хвою второго года без видимых признаков повреждений, собранную с нижней трети кроны с южной стороны с помощью секатора.

Растительные образцы фиксировали в 70% растворе этилового спирта. Для анатомических исследований из средней части хвои делали поперечные срезы и помещали их в глицерин. Измерения анатомо-морфологических признаков проводили с помощью микроскопа Olympus CX-41 с программным обеспечением, с увеличением окуляра и объектива 10× и 40×. В ходе исследования определяли анатомические и морфологические показатели по общепринятой методике. Для количественного определения фотосинтетических пигментов: хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов анализировали смешанную пробу хвои в 5-кратной повторности (навеска 50 мг). Содержание пигментов определяли на основе измерения оптической плотности экстрактов в 80% ацетоне с использованием спектрофотометра PD-303UV (APEL, Япония). Измерение и расчет концентрации пигментов проводили по стандартной методике [3].

Оценку содержания низкомолекулярных антиоксидантов в хвое проводили в 5-кратной биологической повторности (на усредненной пробе хвои) по стандартным методикам. Для проведения анализа на содержание фенолов, флавоноидов использовали экстракт мелкоизмельченной хвои после суточного (24 ч) настаивания в 80% этаноле. Измерение и расчет содержания общего количества фенолов в образцах проводили по галловой кислоте с использованием реактива Фолина-Чокалтеу [4]. Количество флавоноидов рассчитывали по рутину, с использованием хлорида алюминия, согласно методике [5]. Статистическая обработка полученных данных выполнена с помощью стандартного пакета программ Microsoft Excel и StatSoft STATISTICA 12.

Анализ морфологических параметров особей *P. sylvestris*, произрастающих в разных экологических условиях, не выявил статистически значимых отличий между опытными и контрольными растениями (табл.).

Таблица

**Показатели *Pinus sylvestris*,  
произрастающей на рекультивированном участке золоотвала (ОП)  
и контрольной площадке (КП)**

Признаки		ОП	КП
1		2	3
<b>Морфометрические показатели</b>			
Высота дерева, см	Хср.±m	172,62±13,02 <b>a</b>	185,15±9,33 <b>a</b>
	min-max	105,00–222,00	146,40–232,50
	Cv, %	21	16
Прирост ствола, см	Хср.±m	25,63±1,82 <b>a</b>	24,89±6,72 <b>a</b>
	min-max	6,00–47,00	5,70–44,3
	Cv, %	41	39
Диаметр ствола у корневой шейки, см	Хср.±m	4,35±0,23 <b>a</b>	5,51±0,34 <b>a</b>
	min-max	3,50–5,00	3,80–7,60
	Cv, %	15	20
Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см	Хср.±m	1,81±0,18 <b>a</b>	2,49±0,25 <b>a</b>
	min-max	1,50–3,00	1,90–3,80
	Cv, %	29	33

1		2	3
Длина хвои, см	Х <sub>ср.</sub> ±m	43,65±0,84 <b>a</b>	44,94±0,78 <b>a</b>
	min–max	32,99–51,52	32,89–49,88
	C <sub>v</sub> , %	11	10
Площадь среза, мм <sup>2</sup>	Х <sub>ср.</sub> ±m	0,74±0,05 <b>a</b>	0,68±0,01 <b>a</b>
	min–max	0,68–0,85	0,64–0,73
	C <sub>v</sub> , %	7	4
Площадь центрального цилиндра, мм <sup>2</sup>	Х <sub>ср.</sub> ±m	0,22±0,02 <b>a</b>	0,19±0,01 <b>a</b>
	min–max	0,19–0,27	0,17–0,23
	C <sub>v</sub> , %	13	9
<b>Анатомические характеристики поперечного среза хвои</b>			
Толщина эпидермы, мкм	Х <sub>ср.</sub> ±m	16,88±2,53 <b>a</b>	17,65±0,33 <b>a</b>
	min–max	11,50–20,73	16,42–19,73
	C <sub>v</sub> , %	18	16
Толщина гиподермы, мкм	Х <sub>ср.</sub> ±m	11,35±2,03 <b>a</b>	13,94±0,68 <b>b</b>
	min–max	7,39–13,98	11,50–18,07
	C <sub>v</sub> , %	15	6
Число смоляных ходов, шт.	Х <sub>ср.</sub> ±m	6,50±1,26 <b>a</b>	5,40±1,01 <b>a</b>
	min–max	4–8	3–7
	C <sub>v</sub> , %	20	33
Диаметр смоляных ходов, мкм	Х <sub>ср.</sub> ±m	55,62±11,86 <b>a</b>	56,31±2,19 <b>a</b>
	min–max	35,27–75,13	49,27–71,72
	C <sub>v</sub> , %	22	12
<b>Содержание фотосинтетических пигментов в хвое</b>			
Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сухого вещества	Х <sub>ср.</sub> ±m	1,15±0,05 <b>a</b>	1,03±0,06 <b>a</b>
	min–max	1,06–1,34	0,86–1,23
Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сухого вещества	Х <sub>ср.</sub> ±m	0,53±0,02 <b>a</b>	0,48±0,02 <b>a</b>
	min–max	0,47–0,60	0,43–0,54
Каротиноиды, мг/г сухого вещества	Х <sub>ср.</sub> ±m	0,30±0,01 <b>a</b>	0,27±0,02 <b>a</b>
	min–max	0,26–0,33	0,22–0,32
<b>Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в хвое</b>			
Фенолы (в пересчете на галловую кислоту), мг/г сухого вещества	Х <sub>ср.</sub> ±m	28,44±0,76 <b>b</b>	21,98±0,67 <b>a</b>
	min–max	25,59–33,86	18,58–24,00
Флавоноиды (в пересчете на рутин), мг/г сухого вещества	Х <sub>ср.</sub> ±m	13,13±0,29 <b>b</b>	9,83±0,33 <b>a</b>
	min–max	11,02–14,75	8,59–11,14

*Примечание:* различные буквы в строках, соответствующих одинаковым параметрам, указывают на достоверные различия при  $p < 0,05$ .

Анализ анатомических параметров хвои *P. sylvestris* показал, что в условиях золоотвала средние значения площади поперечного сечения хвои, площади центрального цилиндра, толщины эпидермы, числа и диаметра смоляных ходов в условиях золоотвала не отличались от контроля. В хвое растений с золоотвала отмечалось уменьшение толщины гиподермы (табл.).

Установлено, что в хвое *P. sylvestris*, произрастающей на опытном и контрольном участках содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов достоверно не различаются.



Исследования показали, что в условиях золоотвала на рекультивированном участке в хвое *P. sylvestris* увеличилось содержание низкомолекулярных антиоксидантов, таких как фенолы и флавоноиды, по сравнению с контролем (табл.).

Таким образом, проведенные исследования показали, что на рекультивированной территории золоотвала № 2 РГРЭС (покрытие слоем глинистого грунта) созданы благоприятные условия для естественного восстановления сосновых насаждений. Повышенное содержание в хвое низкомолекулярных антиоксидантов (фенолов и флавоноидов), вероятно, связано с близостью нерекультивированных территорий, а именно с заносом с них легкоперевеваемой золы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания УрФУ FEUZ-2023-0019.*

#### **Библиографический список**

1. Артамонов В. И. Растения и чистота природной среды. М. : Наука, 1986. 172 с.
2. Культуры сосны обыкновенной на деградированных и техногенно нарушенных землях ЦЧР / Э. И. Трещевская, Я. В. Панков, С. В. Трещевская, Е. Н. Тихонова. Воронеж : Изд-во ВГЛТУ, 2017. 131 с.
3. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids : pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in Enzymology. 1987. Vol. 148. P. 350–382.
4. Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent // Methods in Enzymology. 1999. Vol. 299. P. 152–178.
5. Методы оценки антиоксидантного статуса растений : учеб.-метод. пособие / Г. Г. Борисова, М. Г. Малева, Г. Ф. Некрасова, Н. В. Чукина. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2012. 72 с.

### **ЗАПАСЫ ФИТОМАССЫ И УГЛЕРОДА РАСТЕНИЙ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЕЛЬНИКОВ ПОЛИГОНА «ЛЯЛЬСКИЙ» (РЕСПУБЛИКА КОМИ)**

***М. А. Кузнецов***

*Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук,  
kuznetsov\_ma@ib.komisc.ru*

В статье представлены данные о массе и углероде растений травяно-кустарничкового и мохового ярусов для 16 ельников, произрастающих на полигоне Ляльском (средняя тайга, Республика Коми). В исследуемых сообществах запасы надземной фитомассы варьируют от 61,0 г/м<sup>2</sup> в черничном сообществе до 409,5 г/м<sup>2</sup> в кустарничково-сфагновом фитоценозе.

Ключевые слова: живой напочвенный покров, масса, углерод, ельники, полигон «Ляльский», средняя тайга.

Под живым напочвенным покровом (ЖНП) подразумевается совокупность мхов, лишайников, трав и кустарничков, покрывающих почву под пологом леса, на вырубках и гарях. Этот ярус насаждения оказывает воздействие на характеристики почвы (физические свойства, кислотность, содержание органического вещества), круговорот химических веществ, возобновление леса и его развитие. Одни виды растений, входящих в состав ЖНП, способствуют иссушению почвы (злаки), другие – заболачиванию (политриховые и сфагновые мхи). В составе ЖНП присутствуют ценные пищевые, лекарственные, дубильные растения. Он является резервом кормовых ресурсов, как для промысловых, так и для сельскохозяйственных животных.

Цель работы – оценить запасы органического вещества и углерода в растениях ЖНП в еловых фитоценозах средней тайги.

Исследования выполнены в подзоне средней тайги на территории тестового полигона «Ляльский» (Республика Коми). Образцы растений живого напочвенного покрова были отобраны в 16 еловых фитоценозах. Их характеристика приведена в работе [1]. При определении запасов надземной фитомассы на пробных площадях срезался ножницами весь растительный покров вровень с поверхностью почвы с использованием рамки размером 25×25 см. В лабораторных условиях образцы разбирали по видам, высушивали и взвешивали.

Содержание углерода в отдельных видах растений ЖНП и в смешанных образцах, сформированных из растений с низким проективным покрытием, определено методом газовой хроматографии на элементном анализаторе «EA 1110 (CHNS–O)» (фирма CE Instruments, Италия) в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

В ельниках запасы надземной фитомассы и углерода варьируют в широких пределах. Минимальное количество аккумулируется в ельнике черничном и составляет 61,0 г/м<sup>2</sup> органического вещества или 31,9 г/м<sup>2</sup> углерода. А максимума среди исследованных ельников достигает в кустарничково-сфагновом сообществе. Запасы органического вещества и углерода составляют в нем 409,5 и 191,0 г/м<sup>2</sup> соответственно (рис.).

В большинстве еловых фитоценозов вклад кустарничков составляет 23–41% от общих запасов надземной фитомассы. Среди кустарничков доминирует черника (19–29%). На долю мхов приходится 30–68%. В сфагновых сообществах преобладают сфагновые, в черничных – зеленые и политриховые мхи. Участие травяных растений невелико и варьирует 8 до 23%. Исключением стал ельник кустарничково-сфагновый, в котором доля травяных растений составила 40% за счет плауна булавовидного, занимающего практически треть (27%) от общих запасов надземной фитомассы. Еще одним исключением стал ельник травяной. Кустарнички в нем отсутствуют, мхи незначитель-

ны (0,3%), а основную фитомассу ЖНП образуют травяные растения (99,7% от общих запасов надземной фитомассы): аконит и таволга.

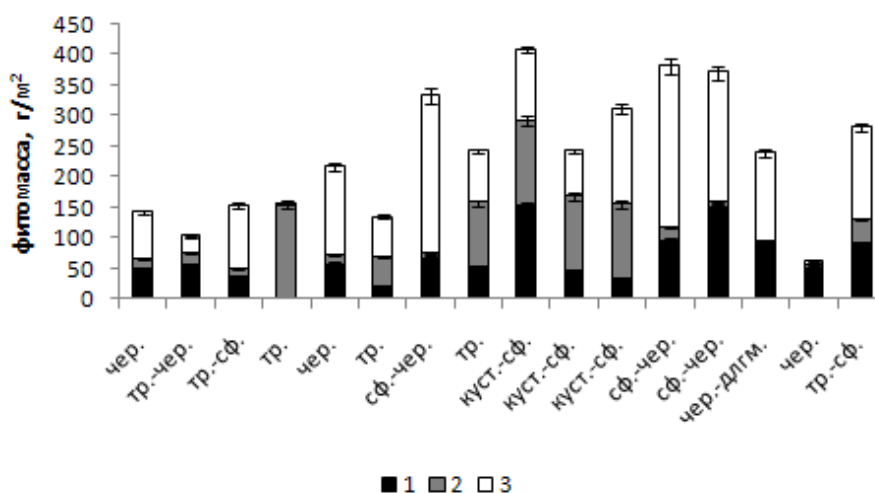


Рис. Запасы надземной фитомассы ( $\text{г}/\text{м}^2$ ) растений живого напочвенного покрова в среднетаежных ельниках полигона «Ляльский».

чер. – черничный, тр. – травяной, куст. – кустарничковый,  
сф. – сфагновый, длгм. – долгомошный  
1 – кустарнички, 2 – травы, 3 – мхи

Наши исследования надземной фитомассы растений ЖНП ельников дополняют данные полученные ранее в исследуемом регионе. В еловых сообществах, где довольно сильно проявляется средообразующая функция древостоев, масса растений ЖНП составляет  $100\text{--}364 \text{ г}/\text{м}^2$  [2–5].

*Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ) на выполнение темы «Оценка запасов углерода и мониторинг потоков парниковых газов в лесных экосистемах на европейском северо-востоке России» (Рег. № 124013000679-5).*

#### Библиографический список

1. 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. // Вопросы лесной науки. 2024. Т. 7. № 1. С. 66–89.
2. Бобкова К. С. Биологическая продуктивность лесов // Леса Республики Коми. М. : ДИК, 1999. С. 40–54.
3. Бобкова К. С., Машика А. В., Смагин. А. В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах. СПб : Наука, 2014. 270 с.
4. Бобкова К. С., Кузнецов М. А. Бюджет углерода в экосистемах среднетаежных коренных ельников // Журнал общей биологии. 2022. Т. 83. № 6. С. 1–16.
5. Бобкова К. С., Лиханова Н. В., Кузнецов М. А. Влияние промышленных рубок на круговорот веществ в системе почва-фитоценоз среднетаежных ельников на болотно-подзолистых почвах. СПб : Наука, 2024. 246 с.

## МОНИТОРИНГ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВА ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

*А. А. Юркова, В. Н. Макарова*

*Владивостокский государственный университет,  
urkovaarina66@gmail.com*

В статье представлен анализ причин возникновения пожаров на территории Приморского края. Выявлена необходимость более эффективного контроля и предотвращения пожаров на землях, которые не относятся к лесному фонду. Анализ горимости на территории Приморского края показал, что за период с 2018 по 2022 гг. количество пожаров практически не выросло, но наблюдается общая тенденция уменьшения площади, занимаемой пожарами.

Ключевые слова: лесной фонд, лесные пожары, горимость, причины возникновения лесных пожаров.

Приморский край входит в число наиболее горимых регионов России. Климат, наличие деревьев пирофитов и широкое применение практики сельскохозяйственных палов способствуют этому.

Важно в таком случае проанализировать взаимодействие объектов лесного фонда в системе лесных отношений.

Объектами лесных отношений в системе экологического права являются лесной фонд Российской Федерации, участки лесного фонда, права использования ими, древесно-кустарниковая растительность и т. д.

Лесной фонд – природно-хозяйственный объект федеральной собственности, лесных отношений, управления, использования и воспроизводства лесов, представляющий совокупность лесов, лесных и нелесных земель в границах, установленных в соответствии с лесным и земельным законодательством.

Границы лесного фонда определяются путём ограничения лесного фонда от иных земель. Участки лесного фонда должны быть обозначены в натуре с помощью лесохозяйственных знаков и (или) указаны в планово-картографических материалах (лесных картах).

Лесные пожары – горение растительности, стихийно распространяющейся по лесной территории [1].

Одна из причин возникновения лесных пожаров – использование палов для уничтожения растительности на землях сельскохозяйственного значения. Однако такой подход может привести к непредсказуемым последствиям, если огонь выйдет из-под контроля и выйдет на лесную территорию.

Для предотвращения лесных пожаров необходимо принимать меры по обучению населения правилам безопасности, контролировать обращение с огнем и проведение сельскохозяйственных работ в пожароопасные периоды, а также улучшать систему лесопожарного наблюдения и оперативного реаги-

рования на возгорания. Важно также осознавать, что сохранение лесов – это не только забота о природе, но и о будущем нашей планеты [2].

Горимость лесов – комплексное, обобщающее понятие, показывающее, как часто в конкретном районе бывают лесные пожары и какую площадь лесов они охватывают. Исходными данными для характеристики горимости лесов служат число и площадь лесных пожаров в конкретном районе за отдельный сезон (год) или средние многолетние. На основе этих данных вычисляются: частота лесных пожаров, средняя площадь одного пожара и доля (в %) площади лесного фонда, пройденная огнем.

Однако, основной причиной возникновения лесных пожаров на землях лесного фонда остается несоблюдение гражданами Правил пожарной безопасности в лесах и Правил противопожарного режима. Это свидетельствует о необходимости обращать больше внимания на просвещение и обучение населения в области пожарной безопасности.

Погодные условия могут варьироваться в разных регионах, что также влияет на вероятность возникновения пожаров. Например, сухой климат и высокие температуры могут создавать опасные условия для лесных пожаров. Поэтому необходимо разрабатывать и применять меры адаптации к изменению климата, чтобы снизить риски возникновения пожаров.

Важно помнить, что леса являются ценным природным ресурсом, и их сохранение должно быть приоритетом для каждого. Однако чтобы полностью осознать важность пожарной безопасности в лесах, необходимо обратить внимание на статистику и причины возникновения лесных пожаров. В целом, по России в 2019 г. было зарегистрировано 13602 лесных пожара, причем почти половина (43,6%) из них возникли по вине человека [3].

Интересно отметить, что в пятилетней динамике наблюдается рост процента пожаров, вызванных переходом огня с земель иных категорий (рис.). Если в 2015 г. этот показатель составлял 16,3%, а в 2019 и 2020 гг. он вырос до 24,2% и 23,2% соответственно [3]. Это говорит о необходимости более эффективного контроля и предотвращения пожаров на землях, не относящихся к лесному фонду [4].

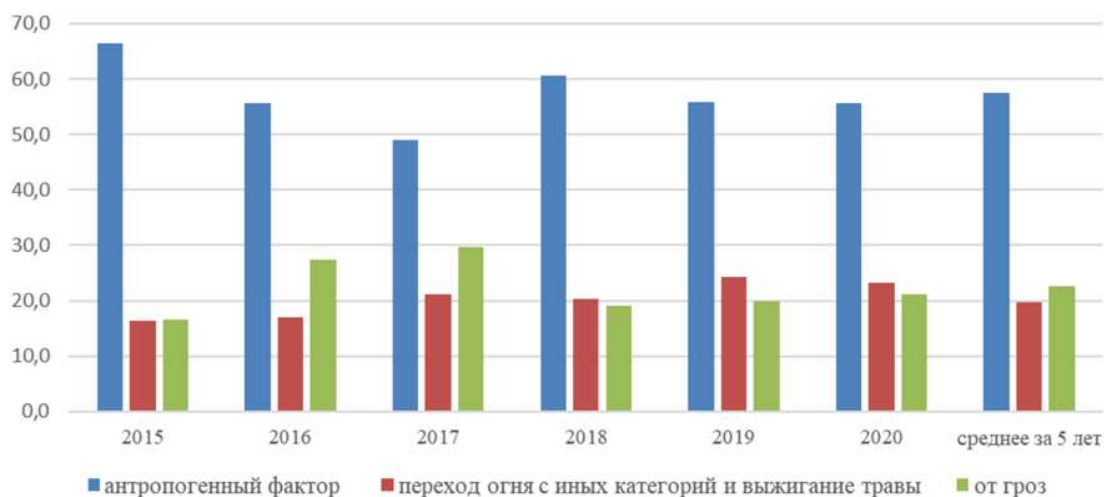


Рис. Причины возникновения лесных пожаров в России [3]

Таким образом, для успешного предотвращения и борьбы с лесными пожарами необходимо проводить информационную работу с населением, организовывать контроль за грозowymi разрядами и более тщательно следить за возникновением пожаров на землях других категорий. Это поможет снизить риск пожаров и сохранить лесные ресурсы для будущих поколений

Для решения этой проблемы нужно проводить информационную работу среди населения о вреде использования огня для очистки земли, а также развивать альтернативные методы обработки почвы, например, механическая и химическая обработка.

Статические данные по числу и площади лесных пожаров в Приморском крае представлены в таблице.

*Таблица*

**Статистика горимости лесов в Приморском крае за 2018–2022 гг.**

Год	Всего зарегистрированных пожаров [5, 6]	Пройденная огнем площадь, га [5, 7]
2018	467	110262,0
2019	574	63317,5
2020	258	11384,3
2021	393	35326,3
2022	587	61334
Итого	2279	281624,1

Пожары наносят непосредственный ущерб, такой как потеря флоры и фауны, трансформация почвы, снижение или потеря водоохраных, почвозащитных, рекреационных и других функций леса, а также потерю древесины, включая последующий отпад ослабленных деревьев и поражение вредителями леса. Однако пожары также могут вызывать необратимые изменения в структуре леса и требовать длительного времени для его восстановления, что требует дополнительных ресурсов и усилий со стороны лесохозяйственных служб и органов охраны природы.

Дополнительным признаком интенсивности пожаров может служить также величина невыгоревших участков в процентах от общей площади пожара. Для пожаров всех видов составляет: при слабой интенсивности – более 15%, при средней – от 6 до 15% и при сильной – менее 6%.

Таким образом, для успешного предотвращения и борьбы с лесными пожарами необходимо проводить информационную работу с населением, организовывать контроль за грозowymi разрядами и более тщательно следить за возникновением пожаров на землях других категорий. Это поможет снизить риск пожаров и сохранить лесные ресурсы для будущих поколений.

**Библиографический список**

1. Федеральный Закон от 19.06.2007 № 102-ФЗ «Земельный кодекс Российской Федерации» [Электронный ресурс] – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_64299/2](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/2). (дата обращения: 15.01.2024).
2. Телегина М. В. Особенности нормирования параметров загрязнения окружающей среды // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2017. № 1. С. 217–220.

3. Орлов Н. В. Мероприятия МЧС России по профилактике лесных пожаров // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. СПб. : Санкт-Петербургский институт природопользования, промышленной безопасности и охраны окружающей среды, 2022. С. 97–101.
4. Чибисова И. С. Информационные технологии в лесном хозяйстве // Эпоха науки. 2019. № 19. С. 85–86.
5. Матвеева А. Г. Динамика лесных пожаров на Дальнем Востоке России. DOI: 10.15372/SJFS20210603 // Сибирский лесной журнал. 2021. № 6. С. 30–38.
6. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году : информ.-аналитич. сб. Балашиха : ФБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. 80 с.
7. Площадь лесных пожаров [Электронный ресурс] – URL: [https://rosleshoz.gov.ru/rates/forest\\_fires/area](https://rosleshoz.gov.ru/rates/forest_fires/area) (дата обращения: 05.11.2024).

## **РОЛЬ ЖИВОТНОВОДСТВА В ОБРАЗОВАНИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ**

*Л. В. Пилип<sup>1</sup>, Т. Я. Ашихмина<sup>2,3</sup>, А. В. Вахрамеева<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный агротехнологический университет,  
pilip\_larisa@mail.ru,*

<sup>2</sup> *Вятский государственный университет, usr08619@vyatsy.ru,*

<sup>3</sup> *ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,*

<sup>4</sup> *Сургутский государственный университет, aleksander16vah@yandex.ru*

В публикации показана динамика выделения углекислого газа и метана, образующихся при хранении свиных навозных стоков. Эксперимент проведен в лабораторных условиях по параметрам, близким к производственным. Количественное определение газов выполнялось с помощью переносного автоматического газоанализатора ГАНК-4.

Ключевые слова: парниковые газы, животноводство, метан, углекислый газ, системы хранения навоза.

К парниковым газам относят углеродсодержащие (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) и азотсодержащие (N<sub>2</sub>O) соединения, а также Cl- и F-производные углеводородов. Прослеживается прямая зависимость между концентрацией парниковых газов и температурой окружающей среды, поскольку упомянутые газы способны задерживать инфракрасные лучи солнечного спектра у поверхности нашей планеты [1, 2].

Сельское хозяйство является приоритетным направлением развития агропромышленного комплекса любой страны мира, однако, согласно современным представлениям, по объему выбросов парниковых газов оно занимает одну из лидирующих позиций среди других отраслей производства [3–5]. Основными парниковыми газами в агропромышленном комплексе являются CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O, а их основными источниками в животноводстве считаются пищеварительные процессы в желудочно-кишечном тракте животных [6] и системы хранения навоза и навозных стоков [7–10]. Следует отметить, что

наибольшая роль в эмиссии  $\text{CH}_4$  принадлежит жвачным животным, что обусловлено особенностями их пищеварительной системы [3, 6], а именно наличием многокамерного желудка с преджелудком большого объема и особенностью удалять избыток газов из рубца посредством физиологической отрыжки. Количественный и качественный состав выделяемых в атмосферу газов зависит от вида и возраста животных [6]; корма как субстрата [3]; видового и количественного состава микроорганизмов в желудочно-кишечном тракте [7, 11, 12], а также активности протекающих в нём метаболических процессов. Качественный состав микрофлоры рубца жвачных животных и толстого кишечника моногастричных животных существенно не различается [3], поэтому процессы метаногенеза протекают в толстом кишечнике свиней и лошадей аналогично, однако менее интенсивно, чем в рубце.

Целью исследования явилось изучение динамики выделения парниковых газов на примере  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в местах хранения свиных навозных стоков в лабораторных условиях.

Навозные стоки отбирали непосредственно в свиноводческом хозяйстве Кировской области. Для исследований использовалась жидкая фракция после сепарирования. Образцы помещали в пятилитровые емкости, не герметично закрывали и оставляли на 14 суток, что соответствовало условиям хранения в подпольных навозных ваннах в производственном цикле. Анализ состава выделяющихся парниковых газов проводили с помощью переносного автоматического газоанализатора ГАНК-4 с принудительным отбором проб воздуха, предназначенного для измерения концентрации загрязняющих и вредных химических веществ, содержащихся в атмосфере, в воздухе рабочей зоны, в замкнутых помещениях и в промышленных выбросах. В работе прибора используется метод прямых измерений. Измерения концентраций газов в воздухе выполняются последовательно. Результаты измерений выводятся на дисплей в цифровом виде. Последовательность измерений на протяжении всего эксперимента не изменяли.

Результаты исследований динамики выделения парниковых газов представлены на рисунках 1 и 2.



Рис. 1. Концентрация  $\text{CO}_2$  в местах хранения навозных стоков, мг/м<sup>3</sup>



Динамика эмиссии углекислого газа изменялась на протяжении 14 дней, достигая максимума на 3-е сутки и минимального значения на 7 сутки эксперимента. Навозные стоки содержат достаточное количество не расщепившихся остатков корма, а под действием гетеротрофной микробиоты идут процессы окисления органических соединений с активным выделением  $\text{CO}_2$ . Постепенно эмиссия  $\text{CO}_2$  снизилась и к 14-м суткам достигла значений 1–2-х суток (рис. 1).

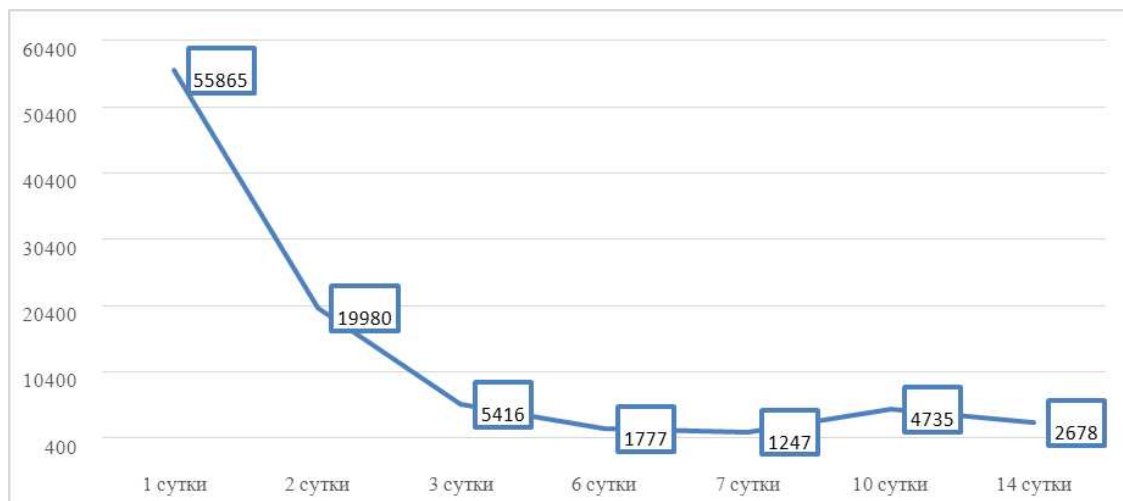


Рис. 2. Концентрация  $\text{CH}_4$  в местах хранения навозных стоков, мг/м<sup>3</sup>

Динамика выделения  $\text{CH}_4$  значительно отличается от динамики выделения  $\text{CO}_2$ , что может быть обусловлено составом и активностью метаногенной микробиоты, а также внешними условиями, такими как доступ кислорода и температурный диапазон. Следует отметить, что образование  $\text{CH}_4$  возможно в анаэробных условиях, при отсутствии  $\text{O}_2$ , а также наличия  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}_2$ . Максимальные значения метана зарегистрированы на первые сутки наблюдений, при этом на вторые – третьи сутки выделение  $\text{CH}_4$  резко снизилось более чем в 10 раз. Минимальные значения наблюдались на 7 сутки.

Для синтеза  $\text{CH}_4$  необходимы  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и, в меньшей степени, другие одноуглеродные соединения. Утилизация  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}_2$  происходит микроорганизмами метаногенами и ацетогенами, которые являются конкурентами в отношении потребления  $\text{H}_2$  [3]. Ацетокластический метаногенез заключается в распаде летучих жирных кислот до  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  [8]. Источником  $\text{CH}_4$  также могут являться высшие (длинноцепочечные) жирные кислоты. Ацетогенез термодинамически проигрывает метаногенезу [6].

В результате можно отметить, что динамика выделения углекислого газа и метана в местах хранения навоза существенно различается. Пик выделения  $\text{CO}_2$  регистрируется на 3 сутки, а  $\text{CH}_4$  на первые сутки, что, возможно, обусловлено специфическим составом микробиоты навозных стоков, биохимическими особенностями синтеза углеродсодержащих парниковых газов, а также аэробно-анаэробными условиями при их хранении.

риков газов, а также аэробно-анаэробными условиями при их хранении.

Несмотря на то, что многие авторы указывают на значительное влияние парниковых газов на климатические процессы в атмосфере, роль животноводства, в том числе скотоводства, на наш взгляд, сильно преувеличена.

Изучение процессов метаногенеза, а также механизмов и технологий, позволяющих снизить интенсивность образования парниковых газов, является перспективным и важным направлением для экологичного развития агропромышленного комплекса страны.

#### **Библиографический список**

1. Вклад углекислого газа и воды в парниковый эффект / Н. В. Сырчина, Г. Я. Кантор, В. Н. Пугач и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-218-223 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 218–223.

2. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Моделирование углеродного баланса полигонов твёрдых коммунальных отходов. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-198-204 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 198–204.

3. Биохимические и физиологические предпосылки уменьшения эмиссии метана жвачными животными / Г. О. Богданов, Л. И. Сологуб, В. В. Влизко и др. // Сельскохозяйственная биология. 2010. № 4. С. 13–24.

4. Пилип Л. В. Анализ экологических рисков отрасли свиноводства в Кировской области // Вестник Вятской ГСХА. 2020. № 1 (3). С. 1.

5. Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Отходы свиноводческих комплексов – проблемы, пути решения // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2017. С. 180–183.

6. Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation / К. А. Beauchemin, E. M. Ungerfeld, R. J. Eckard, M. Wang. DOI: 10.1017/S1751731119003100 // Animal. 2020. Vol. 14. No. S1. P. s2–s16.

7. Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха / Е. П. Колеватых, Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-159-165 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 159–165.

8. Метаногенез: биохимия, технология, применение / А. З. Миндубаев, Д. Е. Белостоцкий, С. Т. Минзанова и др. // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2010. Т. 152, № 2. С. 178–191.

9. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Роль аммонификаторов в эмиссии аммиака из свиных навозных стоков. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-46-54 // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 46–54.

10. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых и др. DOI: 10.35885/1684-7318-2023-1-107-116 // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 107–116.

11. Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики / Л. В. Пилип, В. А. Козвонин, Н. В. Сырчина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-161-167 // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 161–167.

12. Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние подкисления на эмиссию сероводорода в органических отходах свинокомплексов. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-4-102-106 // Проблемы региональной экологии. 2021. № 4. С. 102–106.

## **ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОГРАММЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

*М. Х. Хето*

*Вятский государственный университет, stud181879@vyatsu.ru*

Организация экологического мониторинга атмосферного воздуха (ЭМАВ) на территории городских агломераций требует комплексного подхода как в выявлении и обосновании широкого спектра показателей загрязняющих веществ, так и в определении и установлении мест оптимального загрязнения – участков экологического мониторинга. Поэтому основными составляющими содержания программы ЭМАВ городской среды являются: выбор и обоснование наиболее информативных показателей мониторинга, отражающих специфику загрязнения; выявление и установление участков максимального загрязнения атмосферного воздуха; обоснование регламента проведения наблюдений и отбора проб; определение методик физико-химического и биологического анализа; построение карты-схемы исследуемой территории для дальнейшего отображения в ней полученных результатов.

Ключевые слова: экологический мониторинг, атмосферный воздух, городская среда, показатели мониторинга, регламент.

Проведение экологического мониторинга (ЭМ) в городе Кирове в первую очередь обеспечивают экологические службы органов власти. Кировский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, который осуществляет наблюдения за загрязнением окружающей среды, обеспечением населения информацией о фактическом и прогнозируемом состоянии окружающей природной среды. КОГБУ «Кировский областной центр охраны окружающей среды и природопользования» проводит наблюдения за состоянием окружающей среды на территориях вблизи промышленных предприятий, физическими и химическими процессами, происходящими в окружающей среде, для определения уровня химического загрязнения атмосферного воздуха (АВ). В рамках санитарно-гигиенического мониторинга проводятся определения загрязняющих веществ специалистами АИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области». Контроль за соблюдением нормативов промышленных выбросов в окружающую среду на предприятиях обеспечивает Специализированная инспекция аналитического контроля (СИАК).

Кроме того, системы экологического контроля за выбросами загрязняющих веществ в атмосферу созданы и действуют на крупных промышленных предприятиях города. В рамках научных исследований проводится изучение загрязнения АВ вблизи транспортных магистралей, а также на различных

техногенных участках городской среды с применением физико-химических методов анализа и методов биоиндикации [1–4].

Целью данной работы является обоснование содержания программы экологического мониторинга атмосферного воздуха (ЭМАВ) городской среды для разработки системы ЭМ в городе Кирове.

Прежде всего, следует отметить, что программа ЭМАВ городской среды должна быть ориентирована на создание единой системы ЭМАВ, которая является важным направлением деятельности по обеспечению экологической безопасности проживающего населения. С этой целью целесообразно на карту-схему городской среды нанести точки (участки мониторинга), где уже проводятся мониторинговые исследования различными организациями, кроме того обосновать дополнительные участки, выявленные в ходе научных исследований. Что касается определения и обоснования показателей ЭМАВ в городской среде, то следует отметить, что это задача не из простых. При этом следует учитывать не только выбросы промышленных предприятий, энергетики, воздействие на АВ сельскохозяйственных комплексов, (т. е. стационарных источников), но и важную нарастающую проблему загрязнения АВ городских территорий от различных видов транспорта. Например, в Кировской области выбросы от автотранспорта в 2023 г. составили 89,048 тыс. т и в общем объёме выбросов выбросы от автотранспорта составляют 50,9%. Выброс загрязняющих веществ от стационарных источников, принадлежащих предприятиям и организациям, составил 85,738 тыс. т [5, 6]. Поэтому, кроме общепромышленных загрязняющих веществ в программу ЭМАВ должны быть включены загрязняющие атмосферу вещества типичные для предприятий городской среды, а также специфические соединения от полигонов, свалок, предприятий очистки сточных вод, вызывающие запах атмосферного воздуха.

К настоящему времени наибольшее количество исследований в городе Кирове приходится по определению таких загрязняющих веществ как диоксид азота, оксиды углерода, взвешенные вещества, диоксид серы, углеводороды (в том числе ароматические), аммиак. Превышения ПДК максимальных разовых (ПДК<sub>м.р.</sub>) регистрировались в 2023 г. по этилацетату и бутилацетату в зоне влияния предприятия полиграфической промышленности в слободе Сошени города Кирова [6]. Безусловно, данный перечень показателей загрязняющих веществ должен быть дополнен выявлением в АВ соединений тяжёлых металлов, представителей ПАВ, СПАВ, хлор-, сера-, азот-, мышьяксодержащих органических и неорганических соединений.

Важным аспектом любой программы мониторинга является регламент. Для получения достоверных показателей ЭМАВ необходимо учитывать время суток (утро, день, вечер), дни недели (рабочие дни, выходные дни), климатические условия и различные сезоны года, в некоторых случаях целесообразно учитывать и регламент деятельности некоторых предприятий.

Методическое обеспечение системы ЭМАВ городских сред базируется на установленных классических методах определения в пробах воздуха общепромышленных загрязняющих веществ. Для этого разработаны и аттесто-

ваны как методики физико-химического анализа, так и предлагается различное оборудование и приборы для работы в стационарных и в нестационарных условиях. Однако ЭМАВ городской среды нуждается в разработке методов определения в воздухе специфических загрязняющих веществ, дурнопахнущих соединений содержание которых в АВ ниже значений ПДК и ниже чувствительности используемых в анализе приборов.

Объединяющим звеном всей системы ЭМАВ городской среды является геоинформационная система, которая позволяет собирать результаты мониторинговых измерений в точках наблюдения за состоянием АВ, автоматизировать процессы обработки и анализа этой информации, обеспечивать сбор, хранение данных ЭМ, создавать графики, цифровые карты местности, интегрированной с расширенной базой данных с целью повышения эффективности полученных результатов ЭМ и принятия управленческих решений.

Таким образом, в программу ЭМАВ городской среды должны быть включены наиболее информативные показатели, отражающие специфику загрязнения; точки (участки) максимального загрязнения АВ; обоснован регламент проведения мониторинга и отбора проб; определены методики физико-химического и биологического анализа; построена карта-схема исследуемой территории для дальнейшего отображения в ней полученных результатов.

#### **Библиографический список**

1 Рутман В. В., Хето М. Х. Мониторинг атмосферного воздуха городской среды // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 59–64.

2. Рутман В. В., Хето М. Х. Исследование содержания запахообразующих веществ в атмосфере города // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 353–356.

3. Рутман В. В., Хето М. Х., Ашихмина Т. Я. Применение ГИС-технологий для оценки состояния атмосферного воздуха городской среды // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 206–211.

4. Оценка состояния атмосферного воздуха городской среды / В. В. Рутман, М. Х. Хето, В. Н. Кулаков, Т. Я. Ашихмина // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 32–37.

5. Абашев Т. Э., Ашихмина Т. Я., Хето М. Х. Сравнительная экологическая оценка техногенного воздействия на воздушный бассейн территории Кировской области. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-035-047 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 2. С. 35–47.

6. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2023 году: Региональный доклад / под общей ред. Т. Э. Абашева. Киров, 2024. 191 с.

## СОДЕРЖАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ г. КИРОВА

*М. Х. Хето, В. В. Рутман*

*Вятский государственный университет, rutman.slavik@yandex.ru*

Качество воздуха является одним из фундаментальных факторов, влияющих на здоровье человека и окружающую среду. В этой статье содержание в атмосферном воздухе загрязняющих веществ (ЗВ), включая оксид углерода(II), оксид углерода(IV), метан, сероводород и аммиак, были проанализированы в 13 различных точках г. Кирова. Для сбора и анализа данных использовался газоанализатор ГАНК-4.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, газоанализатор, монооксид углерода, диоксид углерода, метан, сероводород, аммиак, городская среда, экологический мониторинг.

Город Киров – крупный промышленный центр и административный центр Кировской области России. Расположен на реке Вятке. Климат города умеренно континентальный, с холодной зимой и тёплым летом. В городе развита промышленность, включая машиностроение, химическую промышленность, лесопереработку. Эти предприятия могут быть существенными источниками выбросов ЗВ в атмосферу. Автотранспорт является одним из основных источников загрязнения воздуха в городе, особенно в центральной части и районах с интенсивным движением. В зимний период значительная часть выбросов связана с работой котельных и индивидуальных систем отопления [1].

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из наиболее острых экологических проблем современности, которая оказывает значительное влияние на здоровье человека и окружающую среду. Загрязненный воздух приводит к различным заболеваниям органов дыхания, сердечнососудистым заболеваниям, сахарному диабету 2 типа и преждевременной смерти в долгосрочной перспективе, а также повышает риск развития онкологических заболеваний [2]. Загрязнение воздуха оказывает негативное воздействие на растительный и животный мир, оно может привести к уничтожению лесов, повреждению сельскохозяйственных культур, а также привести к увеличению расходов на здравоохранение, снижению производительности труда, повреждению зданий и сооружений [3].

Целью исследования является оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха в г. Кирове по общепромышленным ЗВ ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ), и выявление наиболее загрязненных территорий в районах города. Для измерения концентрации ЗВ в атмосферном воздухе использовали портативный газоанализатор ГАНК-4. Данный прибор укомплектован рядом датчиков, основанных на физических методах исследования. В своей работе прибор использует электрохимический, полупроводниковый и термokatалитический мето-

ды. Эти методы не требуют использования расходных материалов, а для измерения отдельных веществ используются сменные химические кассеты, содержащие ленту с нанесённым реактивом. Оптронноспектрофотометрический метод основан на измерении скорости изменения оптической плотности (скорости потемнения) реактивной ленты, пропорциональной концентрации определяемого вещества [4]. Измерения проводили в октябре 2024 г. Замеры проводили два раза в день, во время пиков автотранспортной нагрузки, с 8:00 до 11:00 и с 16:00 до 19:00 час. В качестве объектов было выбрано 10 точек вдоль ул. Ленина, от мкр. Солнечный берег (точка 1) до перекрёстка с ул. Профсоюзная (точка 10), а также 3 ключевые точки в различных местах в г. Кирове. Номера точек, где проводились измерения, показаны на рисунке 1. Результаты исследования представлены на рисунках 2–5.



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

Содержание измеряемых газов в воздухе на исследуемых участках не превышает ПДК среднесуточное. Метан был обнаружен только на одном участке точке и в небольших количествах.

Оксид углерода(II) на исследуемых территориях распространён неравномерно, и содержание его существенно не различается. Наибольшая концентрация CO была определена на участке № 8 возле Центральной гостиницы в вечернее время, со значением  $2,5 \text{ мг/м}^3$ .

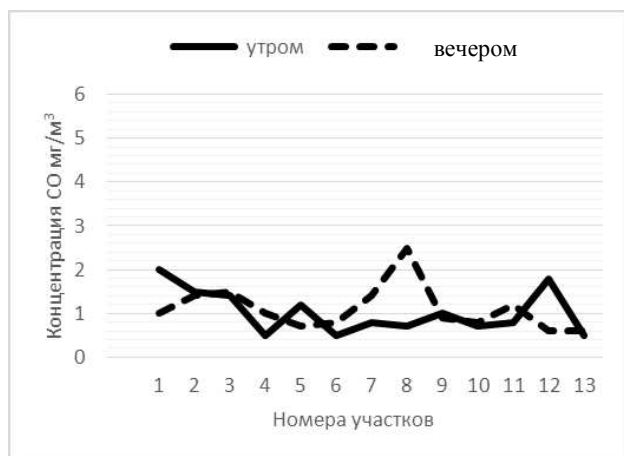


Рис. 2. Графики, отражающие изменения концентрации CO в атмосферном воздухе

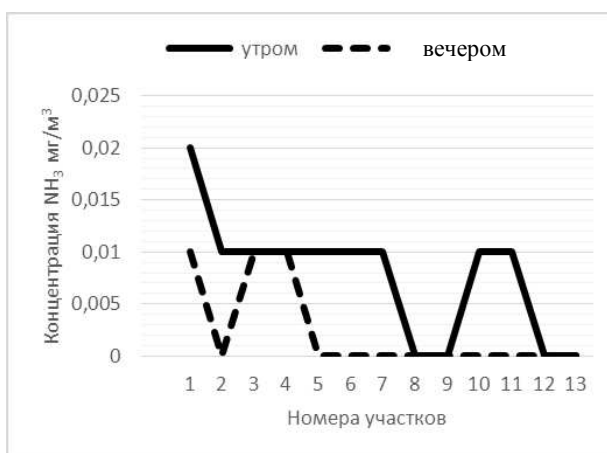


Рис. 3. Графики, отражающие изменения концентрации NH<sub>3</sub> в атмосферном воздухе

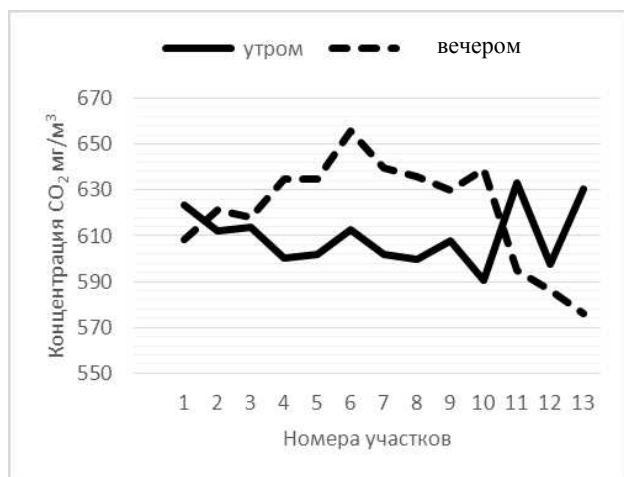


Рис. 4. Графики, отражающие изменения концентрации CO<sub>2</sub> в атмосферном воздухе

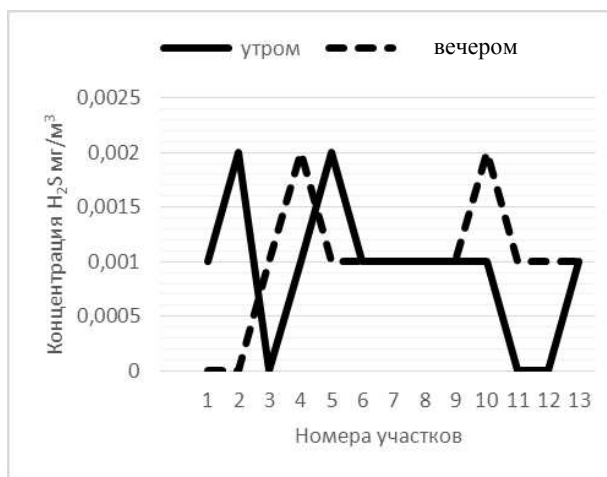


Рис. 5. Графики, отражающие изменения концентрации H<sub>2</sub>S в атмосферном воздухе

Аммиак выявлен в небольших количествах в вечерние часы и на большинстве участков по улице Ленина в утренние часы и не превышает 0,01 мг/м<sup>3</sup>. В центре города аммиак в атмосфере – вне пределов обнаружения.

Сероводород был обнаружен практически на всех исследованных участках утром и вечером. Сероводород является одним из основных газов, вызывающих неприятный запах. Запах можно рассматривать как индикатор обнаружения примесей в газе [5]. Запах сероводорода в атмосферном воздухе постоянно ощущается на территории в районе моста через р. Хлыновку на ул. Ленина (точка 5). Содержание сероводорода на данном участке колеблется от 0 до 0,002 мг/м<sup>3</sup>.

Содержание углекислого газа в атмосферном воздухе исследуемого участка колеблется от 576 мг/м<sup>3</sup> до 656 мг/м<sup>3</sup>, что значительно ниже ПДК



среднесуточного (3900 мг/м<sup>3</sup>). Самая низкая концентрация оксида углерода(IV) в атмосферном воздухе парка имени С. М. Кирова в центре города, а самая высокая на пересечении ул. Ленина и ул. Воровского у филармонии (точка 6).

#### **Библиографический список**

1. Рутман В. В., Хето М. Х., Ашихмина Т. Я. Применение ГИС-технологий для оценки состояния атмосферного воздуха городской среды // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 206–211.
2. Air pollution, physical activity and health: A mapping review of the evidence / M. Tainio, Z. J. Andersen, M. J. Nieuwenhuijsen et. al. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105954 // Environment International. 2021. Vol. 147. No. 8. Article No. 105954
3. Environmental and health impacts of air pollution: A review / I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos, E. Bezirtzoglou. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00014 // Frontiers in Public Health. 2020. Vol. 8. Article No. 14
4. Газоанализатор универсальный ГАНК-4 Руководство по эксплуатации. М., 2019. 53 с.
5. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2022-2-026-034 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 26–34.

## **ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ г. КИРОВА**

***В. В. Рутман, М. Х. Хето***

*Вятский государственный университет, rutman.slavik@yandex.ru*

В статье представлены результаты исследования состояния атмосферного воздуха в г. Кирове за 2022 и 2024 гг. по трём ключевым месяцам года в сравнении. Изучена динамика концентраций в атмосфере углекислого газа, угарного газа, сероводорода, метана и аммиака.

Ключевые слова: атмосферный воздух, городская среда, портативный газоанализатор, загрязняющие вещества: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>.

Ведущими отраслями промышленности г. Кирова (Кировская область) являются машиностроение, металлообработка, металлургия, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность, электроэнергетика, производство пищевых продуктов, резиновых и пластмассовых изделий. В непосредственной близости от города расположены крупные животноводческие комплексы. Как промышленные, так и животноводческие предприятия оказывают существенное влияние на качество атмосферного воздуха городских территорий [1, 2]. К наиболее «проблемным» по уровню загрязнения воздуха относятся юго-западная, южная и северо-западные территории города [3]. Особенно часто от населения города поступают жалобы на неприятный запах

[4]. Следует отметить, что объективный (инструментальный) контроль запаха представляет серьёзную проблему, поэтому уровень запахового загрязнения (ЗЗ) не входит в перечень регламентируемых показателей качества воздуха [5].

Результаты исследований, проведенных на территории города, показали, что приоритетным загрязнителем, формирующим вероятность появления неприятного навязчивого запаха, является диметилсульфид. Запах этого соединения ощущается даже в том случае, если его содержание в воздухе не превышает долей ПДК [3]. Значительный вклад в загрязнение воздуха могут вносить и другие соединения: сероводород, амины, летучие органические кислоты, фенолы, спирты и др., – однако объективных данных, позволяющих судить о вкладе этих веществ в запаховое загрязнение городского воздуха, пока недостаточно.

Мониторинг атмосферного воздуха проводится уже третий год. Для измерений используется газоанализатор ГАНК-4. Проводятся измерения таких важных показателей, как концентрации  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  в атмосфере. Замеры проводились по 13 точкам:

- 1) микрорайон Солнечный берег;
- 2) д. Чижи;
- 3) перекрёсток ул. Ленина с ул. Тимирязева;
- 4) участок ул. Ленина вблизи дендрария академика Н. В. Рудницкого;
- 5) участок ул. Ленина в районе моста через р. Хлыновку;
- 6) перекрёсток ул. Ленина с ул. Воровского;
- 7) участок ул. Ленина рядом с оврагом и ул. Горбачёва;
- 8) перекрёсток ул. Ленина с ул. Московской;
- 9) перекрёсток ул. Ленина с ул. МОПРа;
- 10) перекрёсток ул. Ленина с ул. Профсоюзной;
- 11) район железнодорожного вокзала;
- 12) район автовокзала;
- 13) парк имени С. М. Кирова.

Основным измеряемым веществом был выбран углекислый газ, как общий показатель состояния атмосферы. Изменение его концентрации показано в таблице 1.

Таблица 1

**Концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере с 2022 по 2024 г.,  $\text{мг/м}^3$**

Точка отбора	2022			2023			2024		
	март	июнь	октябрь	март	июнь	октябрь	март	июнь	октябрь
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	577,65	633,95	638,50	553,80	582,30	601,55	543,75	591,05	615,70
2	580,70	642,65	641,60	558,75	588,90	592,25	578,90	596,45	616,85
3	586,75	648,75	637,70	576,25	606,05	595,90	576,80	620,05	615,85
4	582,30	641,35	626,00	597,30	610,15	590,95	596,70	617,85	617,55
5	588,05	645,80	630,40	592,30	630,20	596,35	605,80	619,50	618,35
6	573,70	664,05	631,50	607,75	617,55	593,85	577,55	621,35	634,85
7	568,50	694,60	610,50	626,10	626,85	585,90	623,30	630,85	620,55
8	559,35	668,25	620,80	616,05	620,10	587,65	590,05	636,40	617,80

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	572,30	683,35	631,30	620,20	626,70	597,15	595,65	621,50	618,75
10	564,15	651,45	616,20	619,25	622,10	606,30	601,25	623,30	614,85
11	–	629,20	678,45	626,60	629,85	611,80	594,45	581,80	614,05
12	–	609,55	706,50	611,20	611,85	618,00	602,45	603,60	591,85
13	–	627,40	663,50	621,50	619,40	629,25	596,30	626,00	603,25
Сред- нее	575,35	649,26	641,00	602,08	614,77	600,53	591,00	614,59	615,40

Примечание: в марте 2022 г. измерения в точках 11–13 не проводились.

На рисунке 1 представлена диаграмма изменения среднего значения этого показателя.

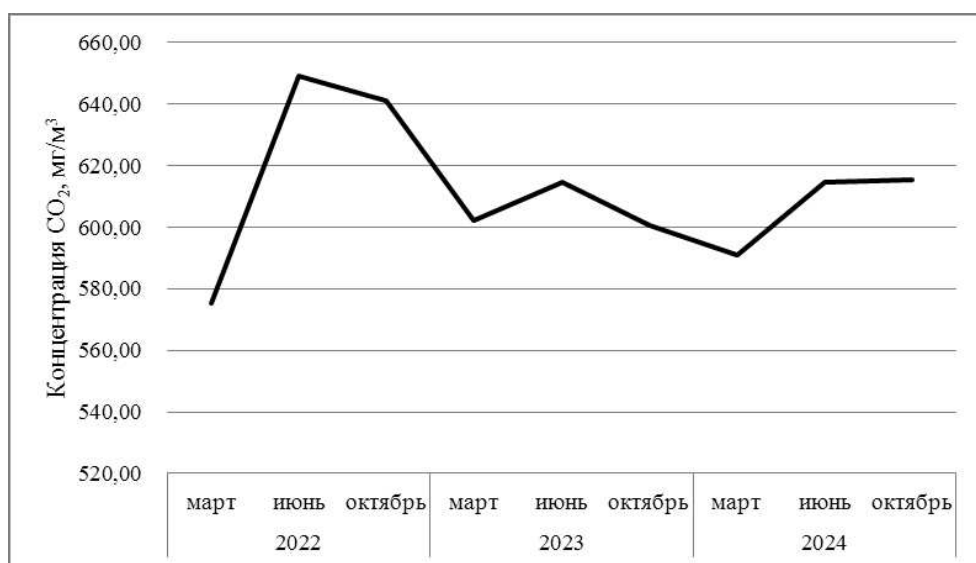


Рис. 1. Изменение средней концентрации CO<sub>2</sub> по годам, мг/м<sup>3</sup>

За три года измерений, значительных изменений концентрации углекислого газа не произошло. Наибольшее значение достигло в июне 2022 г. и составило 649,26 мг/м<sup>3</sup>, наибольшие годовые показатели достигаются именно в этом месяце. Наименьшее значение – в марте, особенно в 2022 г., составило 575,35 мг/м<sup>3</sup>. В 2023–2024 гг., концентрация CO<sub>2</sub> держится в пределах от 600 до 620 мг/м<sup>3</sup>. В октябре и июне 2024 г. эти показатели практически равны.

Ситуация с оксидом углерода(II), который попадает в атмосферу с выбросами автотранспорта и печных труб, несколько отличается. Результаты замеров CO показаны в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2

**Концентрация CO в атмосфере с 2022 по 2024 гг., мг/м<sup>3</sup>**

Точка отбора	2022			2023			2024		
	март	июнь	октябрь	март	июнь	октябрь	март	июнь	октябрь
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,55	0,45	2,05	1,05	0,65	1,15	1,70	0,50	1,50
2	4,10	1,05	1,70	1,15	1,40	1,55	1,80	0,80	1,45
3	2,45	1,05	0,75	0,75	1,35	1,15	4,10	1,05	1,45
4	1,35	0,60	0,70	0,85	0,80	0,70	3,05	1,35	0,75

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1,35	0,60	0,95	0,50	1,30	3,05	1,80	2,30	0,95
6	0,65	1,20	0,95	0,55	1,05	2,80	1,20	1,25	0,65
7	1,15	0,65	0,60	0,95	0,80	0,45	1,55	1,25	1,10
8	0,90	0,75	2,60	0,55	0,90	0,35	1,25	1,15	1,60
9	0,50	0,65	0,60	0,55	1,10	2,20	0,75	0,85	0,95
10	2,35	1,30	2,50	0,85	1,20	1,80	0,85	2,90	0,75
11	–	0,65	0,85	0,9	0,70	1,75	0,95	0,60	1,00
12	–	0,70	0,80	1,25	0,65	1,35	1,00	1,05	1,10
13	–	0,30	0,35	0,55	0,90	0,65	0,45	0,60	0,55
Среднее	1,64	0,77	1,18	0,80	0,98	1,46	1,57	1,20	1,06

Примечание: в марте 2022 г. измерения в точках 11–13 не проводились.

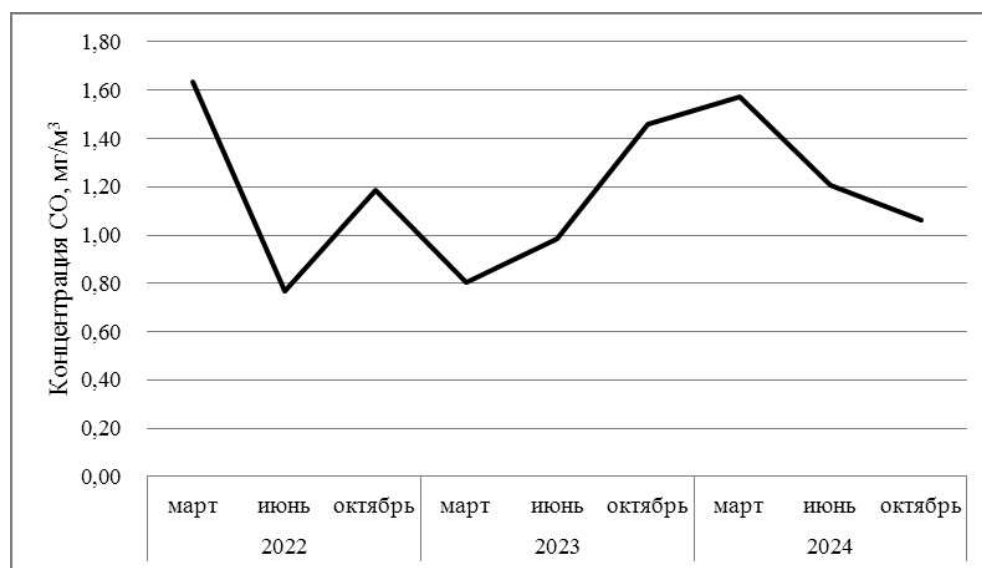


Рис. 2. Изменение средней концентрации СО по годам, мг/м<sup>3</sup>

По данным замеров оксида углерода(II) за три года, закономерностей изменения концентрации по сезонам не наблюдается. Наиболее высокие показатели по оксиду углерода(II) отмечены в марте 2022 г. и 2024 г., самые низкие показатели – в июне 2022 г. и марте 2023 г. С марта 2023 по март 2024 гг. наблюдалось повышение концентрации СО, после которого последовало резкое снижение.

Ещё один важный измеряемый показатель это сероводород – газ, влияющий на запаховое загрязнение окружающей среды. Результаты измерений сероводорода в атмосфере представлены в таблице 3 и на рисунке 3.

Таблица 3

**Концентрация H<sub>2</sub>S в атмосфере с 2022 по 2024 г., мг/м<sup>3</sup>**

Точка отбора	2022			2023			2024		
	март	июнь	октябрь	март	июнь	октябрь	март	июнь	октябрь
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,0020	0,0005	0,0005	0	0,0020	0,0010	0,0005	0,0010	0,0005
2	0,0025	0,0005	0,0025	0,0010	0,0005	0,0015	0,0020	0,0005	0,0010
3	0,0015	0,0015	0,0005	0,0010	0	0,0005	0,0015	0,0005	0,0005
4	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0	0,0020	0,0020	0,0010	0,0015

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,0010	0,0005	0,0010	0,0010	0,0005	0,0010	0,0020	0,0015	0,0015
6	0,0005	0,0020	0,0015	0,0015	0	0,0010	0,0010	0,0015	0,0010
7	0,0015	0,0010	0,0030	0,0015	0,0010	0,0015	0,0020	0,0010	0,0010
8	0,0015	0,0020	0,0020	0,0015	0	0,0015	0,0015	0,0010	0,0010
9	0,0005	0,0020	0,0010	0,0015	0	0,0015	0,0015	0,0005	0,0010
10	0,0005	0,0010	0,0015	0,0020	0,0005	0,0050	0,0015	0,0005	0,0015
11	–	0,0015	0,0005	0,0020	0,0015	0,0005	0,0005	0,0010	0,0005
12	–	0,0010	0,0010	0,0020	0	0	0,0010	0	0,0005
13	–	0,0010	0,0010	0,0005	0,0005	0,0035	0,0010	0	0,0010
Среднее	0,0013	0,0012	0,0013	0,0013	0,0005	0,0016	0,0014	0,0008	0,0010

Примечание: в марте 2022 г. измерения в точках 11–13 не проводились.

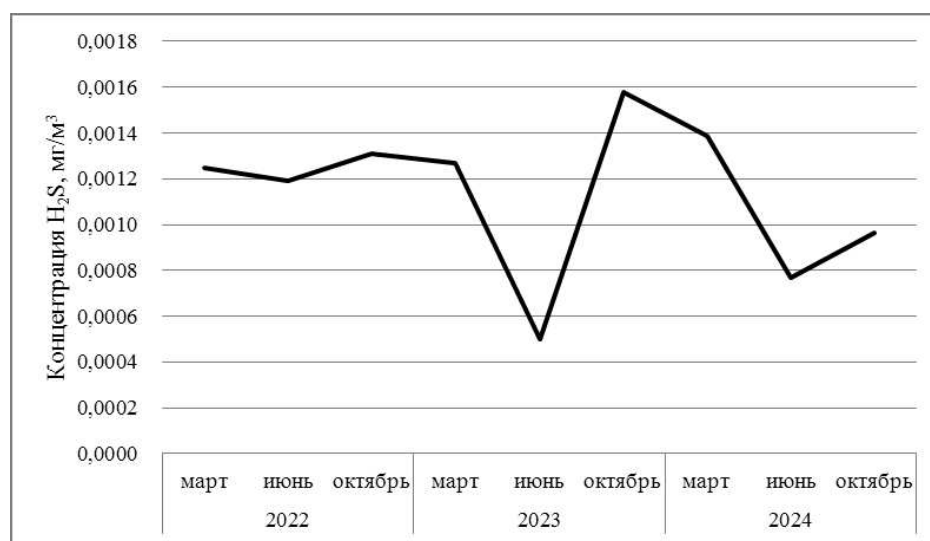


Рис. 3. Изменение средней концентрации H<sub>2</sub>S по годам, мг/м<sup>3</sup>

Концентрация сероводорода в атмосфере остаётся незначительной, но прослеживается динамика изменения его концентрации по сезонам года. Наименьшее содержание H<sub>2</sub>S в атмосферном воздухе городской среды выявлено в июне, а наибольшее – в октябре в 2022 и 2023 г. и в марте в 2024 г. По годам – наибольшее содержание H<sub>2</sub>S составило 0,0016 мг/м<sup>3</sup> в октябре 2023 г., а наименьшее – 0,0005 мг/м<sup>3</sup> в июне того же года. Исходя из полученных данных, следует вывод о том, что в летний сезон года наблюдается спад концентрации сероводорода в атмосферном воздухе.

Концентрации метана и аммиака остаются также низкими и близкими к нулю.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что качество атмосферного воздуха в г. Кирове за последние годы остаётся без значительных изменений. Превышений ПДК по исследуемым загрязняющим веществам также зафиксировано не было. Были выявлены некоторые отличия в динамике загрязняющих веществ по сезонам года. В весенний период содержание CO<sub>2</sub> в атмосферном воздухе на исследуемых территориях было выявлено несколько в меньшем количестве, чем в летний и осенний периоды, и

несколько большее его содержание в атмосферном воздухе отмечается в летний период. По оксиду углерода(II) большее его содержание выявлено, в основном, в осенние периоды. Наиболее высокие концентрации  $H_2S$  выявлены на участке № 7 (у оврага по ул. Горбачёва), на перекрёстках Ленина – Воровского и Ленина – Профсоюзная и в районе железнодорожного вокзала.

#### **Библиографический список**

1. 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.

2. Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха / Е. П. Колеватых, Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-159-165 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 159–165.

3. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2023 году: Региональный доклад / под общей редакцией Т. Э. Абашева. Киров, 2023. 191 с.

4. Сырчина Н. В. Пилип Л. В., Кантор Г. Я. Состояние атмосферного воздуха в районе размещения свиноводческого предприятия // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (Киров, 18 ноября 2020 года.). Киров : Вятский государственный университет, 2020. С. 21–24.

5. Сырчина, Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2022-2-026-034 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 26–34.

## СЕКЦИЯ 2 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

### ГАРМОНИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК НЕОБХОДИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ ЭКОМОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

*Е. В. Шамрикова, Е. В. Ванчикова, Е. М. Лаптева,  
Б. М. Кондратёнок, С. Н. Кострова*

*Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук, shamrik@ib.komisc.ru*

Обострение современных экологических проблем потребовало консолидации усилий всего мирового научного сообщества. В статье представлен опыт работы Российской сети почвенных лабораторий (<https://ib.komisc.ru/rusolan/>) по повышению качества оценки состава почв путем согласования стандартных операционных (рабочих) процедур известных методов и проведения межлабораторных сличительных испытаний.

Ключевые слова: гармонизация методов, контроль качества измерений.

Многообразие научных школ, применяющих разные принципы диагностики и методы изучения природных и природно-техногенных систем (и, прежде всего, почв), препятствует обобщению накопленных историко-географических данных в единые массивы. Для преодоления экспертных разночтений становятся необходимыми разработка гармонизированных стандартов и поиск пересчетных коэффициентов.

Решение вопросов стандартизации и унификации методов измерений показателей почв, повышения качества измерений – важнейшие направления работы Глобальной сети почвенных лабораторий (ГЛОСОЛАН, GLOSOLAN, <http://www.fao.org/global-soil-partnership/glosolan>), созданной в 2017 году в рамках системы Глобального почвенного партнерства Продовольственной и сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций (ФАО). Сегодня ГЛОСОЛАН призвана объединить все почвенные лаборатории, чтобы согласовать действия специалистов мирового научного сообщества по повышению эффективности управления и рациональному использованию почв. На данный момент в ГЛОСОЛАН зарегистрировано около 1000 лабораторий из более, чем 150 стран мира.

ГЛОСОЛАН – это международная многоуровневая аналитическая система. Разветвленная структура сети обеспечивает успешную организацию деятельности и адаптацию к локальным условиям. Скелетом ГЛОСОЛАН

являются региональные сети почвенных лабораторий (РЕСОЛАН), сформированные в соответствии с регионами по классификации ФАО. Начиная с 2021 г. инициирован запуск национальных сетей почвенных лабораторий (НАСОЛАН). Национальные сети создаются путем объединения почвенных лабораторий, работающих в отдельной стране. Деятельность сети координируется национальной референтной лабораторией.

В Российской Федерации данную работу осуществляет Российская сеть почвенных лабораторий (РУСОЛАН), куратором которой является Национальная референтная лаборатория России, действующая на базе Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук.

Лаборатории национальной сети активно заняты разработкой и метрологической аттестацией методик анализа почв. Насущность последнего определяется развитием аналитических подходов, обновлением приборной базы, а также использованием российскими учеными различных модификаций методов, не всегда дающих сопоставимые результаты. Так, национальной референтной лабораторией выполнены масштабные исследования по гармонизации результатов измерений почвенного органического углерода (ПОУ), полученных с использованием отечественной (Тюрин, Т) и международной (Уолкли-Блэк, У-Б) методик. В качестве референтного принят инструментальный вариант метода Дюма – метод высокотемпературного каталитического сжигания (ВКС) органического углерода в присутствии кислорода.

Экспериментально доказано, что используемые в практическом почвоведении модификации метода Тюрина обеспечивают разные условия окисления ПОУ, а отдельные стадии выполнения анализа могут снижать точность измерений данного показателя. Это послужило причиной разработки новой модификации метода и проведения ее аттестации (Свидетельство № 88-17641-001-РА.RU.310657-2020, Центр «СЕРТИМЕТ» АХУ УрО РАН). Установленные пересчетные коэффициенты, учитывающие неполное окисление ПОУ в условиях, регламентированных методами Тюрина и Уолкли-Блэка (1,15 и 1,3 соответственно), при погрешности измерений не более 20%, позволяют интегрировать накопленный за более чем вековой период массив данных о содержании органического углерода в различных типах почв России и ряде стран Евразии в глобальную сеть мониторинга качества почв [1, 2].

В целях распространения и внедрения в практику деятельности лабораторий единых подходов по измерению содержания органического углерода почв, проведения внешнего контроля качества измерений Национальная референтная лаборатория организовала и провела I-е Евроазиатские Межлабораторные сличительные испытания (МСИ) ГЛОСОЛАН-2023. В МСИ приняли участие 15 российских лабораторий, а также коллеги из Беларуси, Грузии, Казахстана, Узбекистана. Участникам были предложены четыре метода: Т и У-Б со спектрофотометрическим окончанием, ВКС и измерение массы почвы при прокаливании.



Анализ результатов измерений участников МСИ позволил дать следующие рекомендации по повышению качества измерений ПОУ методами Т и У-Б.

1. Выбор массы пробы. Необходимо учитывать, что оптическая плотность раствора после обработки почвы хромовой смесью должна соответствовать оптимальному диапазону значений – от 0,1 до 0,4.

2. В отличие от титриметрического варианта метода жестким требованием фотометрии является прозрачность фотометрируемых растворов (отсутствие взвесей, коллоидных частиц и т.д.). В этой связи качество разделения твердой и жидкой фазы – ключевой фактор точности результатов измерений. Самый надежный способ получения прозрачного раствора – использование рекомендуемых в прописи скорости вращения и времени разделения фаз центрифугированием.

3. Правильность оценки коэффициентов градуировочной функции. В лаборатории должен быть установлен контроль значений этих коэффициентов. Превышение границ не допустимо, поскольку это приводит к дополнительной погрешности результата измерений оптической плотности, а, следовательно, углерода органических соединений почв. Колебания коэффициентов могут быть связаны с чистотой кювет, правильностью приготовления холостого раствора и раствора восстановителя.

4. Контроль значений коэффициента корреляции ( $r$ ) – показателя отклонения координат градуировочных растворов от линейной зависимости. Значение  $r$  показывает, насколько точно приготовлен каждый из градуировочных растворов.

В ходе проведения МСИ была подтверждена корректность выбора значений пересчетных коэффициентов, «выравнивающих» содержание ПОУ, измеренное методами Тюрина, Уолкли-Блэка и ВКО. Кроме того, обращено внимание на необходимость стандартизации метода измерения массы почвы при прокаливании в виду отсутствия такового.

Проведение сравнительных исследований позволяет обосновать внедрение в практику почвенных и агрохимических лабораторий России протоколов и прописей ФАО, а также модифицированных отечественных методик, гармонизированных с международными стандартами. Продвижение унифицированных методов измерений на законодательном уровне будет способствовать экспериментально обоснованному пересмотру устоявшихся подходов с целью глобализации знаний. Единообразное выполнение аналитических процедур метода Тюрина и введение пересчетного коэффициента позволило бы без проведения специальных исследований объединять сведения, полученные не только на национальном уровне, но и в глобальном масштабе.

*Авторы выражают благодарность инженеру I категории Н. Н. Бондаренко, ведущим инженерам А. П. Давыдовой, Т. В. Зоновой, Е. И. Лю-Лян-Мин, Е. А. Тумановой. Исследования выполнены в рамках бюджетной темы НИР «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных*

*антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов» (№ 122040600023-566 8).*

#### **Библиографический список**

1. Transferability between soil organic matter measurement methods for database harmonization / E. V. Shamrikova, B. M. Kondratenok, E. A. Tumanova et al. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115547 // Geoderma. 2022. Vol. 412. Article No. 115547.
2. Which method to choose for measurement of organic and inorganic carbon content in carbonate-rich soils? Advantages and disadvantages of dry and wet chemistry / E. V. Shamrikova, E. V. Vanchikova, E. I. Lu-Lyan-Min et al. DOI: 10.1016/J.CATENA.2023.107151 // Catena. 2023. Vol. 228. Article No. 107151.

### **ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)**

*Е. Д. Лодыгин*

*Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук, lodigin@ib.komisc.ru*

В статье представлен опыт применения геоинформационных систем для оценки концентраций различных потенциально токсичных поллютантов на фоновых территориях. Рассмотрены результаты исследований на примере гетерогенных (почвы) объектов окружающей среды.

Ключевые слова: мониторинг, почва, тяжелые металлы, углеводороды.

Глобальность экологических проблем, связанных с трансграничными переносами поллютантов, а также с региональными и локальными источниками загрязнения окружающей среды, требует новых подходов к оценке конкретной экологической ситуации в экосистемах. Вопросы контроля экологического состояния почв, изучение содержания широкого круга потенциально токсичных для живых организмов поллютантов (ПТП) являются весьма актуальными [1].

В современных условиях загрязнения окружающей среды почвы являются основным депозитарием ПТП – тяжелых металлов (ТМ) и углеводородов (УВ) и биогеохимическим барьером их транспорта в растения, в организмы животных и человека [2]. Региональные фоновые концентрации ПТП в почвах должны служить «точкой отсчета» при определении нагрузки на окружающую среду. В частности, при оценке загрязнения почв ТМ по существующим нормативам требуется определение превышения массовой доли данных поллютанта над ПДК. В Российской Федерации утверждены ПДК для ТМ, но их список ограничен [3]. В ряде случаев разработанные нормативы для некоторых ТМ оказались в логическом несоответствии с их фоновым со-

держанием в почвах. На такие ПДК, по нашему мнению, невозможно ориентироваться, поскольку верхний предел фонового содержания ТМ иногда бывает выше, чем ПДК. В настоящее время в существующих нормативных документах при оценке загрязнения почв при отсутствии ПДК (ОДК) по ТМ рекомендуется использовать региональное фоновое содержание.

Современная нормативная база по содержанию нефтяных углеводородов (УВ) в почвах практически отсутствует. Единственным отечественным нормативом содержания нефтепродуктов в почвах является ПДК бензина – 0,1 мг/кг. Существуют нормативы допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Республики Коми, утвержденные постановлением Правительства РК. Анализ немногочисленных данных по нормативам фонового содержания углеводородов в почвах свидетельствует, что их регламентация относится только к отдельным районам в регионе [4]. Поэтому оценка естественного фона УВ является актуальной задачей для всей территории Республики Коми, решение которой позволит объективно определять загрязнение почв, что дает возможность вводить ограничения, как на промышленные, так и сельскохозяйственные технологии.

Следовательно, имеющаяся информация по инструктивно-методической литературе, регламентирующей допустимые нагрузки ПТП на почвы, позволяет констатировать, что существующие нормативы в области антропогенных нагрузок не дифференцированы по природно-климатическим зонам и ландшафтно-геохимическим условиям региона, поэтому не могут быть использованы в конкретном районе при оценке загрязнения почв.

Цель работы – оценка регионального фона ТМ и УВ в почвах Республики Коми с учетом ландшафтно-геохимических и природно-климатических особенностей территорий.

Объектами исследований послужили почвы таежной и тундровых зон Республики Коми. Для ландшафтно-геохимической оценки экологического состояния почвенного покрова была оцифрована Государственная почвенная карта Республики Коми (1:1000000) (рис. 1).

На основе почвенной карты составлен систематический список почв районов исследований, рассчитаны их площади, определены точки закладки реперных разрезов и отбора смешанных образцов основных типов и подтипов почв. При отборе почвенных образцов был использован маршрутный метод, позволяющий учитывать закономерности формирования почвенного покрова в ландшафтах: от водораздела (автоморфные почвы) до геохимически подчиненных ландшафтов – понижений (гидроморфные почвы). Анализы выполнены в экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) Росстандарта России, сертификат РОСС RU.0001.511257 от 26 февраля 2014 г.

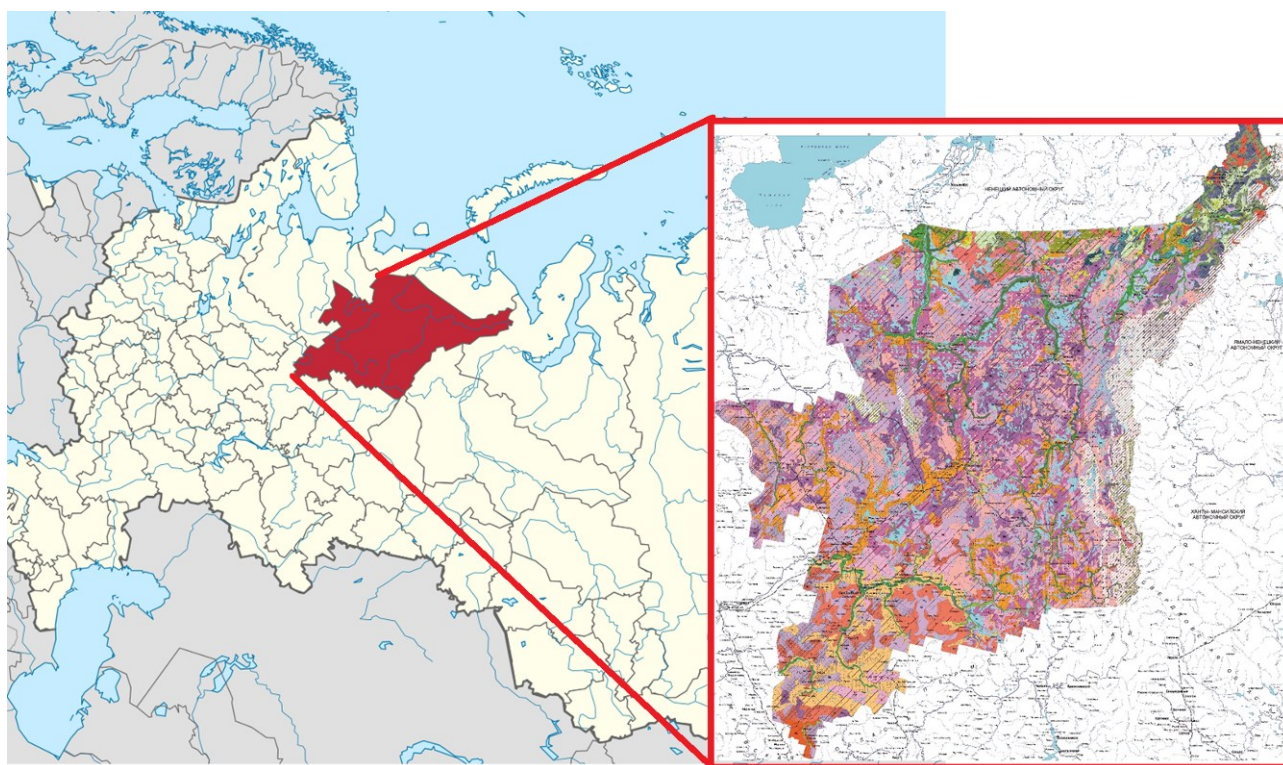


Рис. 1. Карта почв Республики Коми

Результатами проведенных исследований установлено, что в почвах фоновых ландшафтов Республики Коми массовая доля ТМ и УВ согласуется с нормальным законом распределения или близка к нему. Для них характерна положительная асимметричность, в большинстве случаев свидетельствующая о том, что наибольшее число вариаций приходится на величины меньше среднего арифметического. Диапазоны фоновых колебаний содержания ТМ и УВ с уровнем значимости 0.5 близки для почв равнинных ландшафтов – болотно-подзолистых, болотных, тундровых поверхностно-глеевых и глееподзолистых почв. Это связано с единством почвообразующих пород, близким гранулометрическим составом почв на суглинках и едиными закономерностями миграции в ландшафте. Аналогичные закономерности массовой доли ТМ и УВ отмечены в почвах, сформированных на древнеаллювиальных и водноледниковых песчаных отложениях (подзолы иллювиально-гумусовые) и на слабодренированных равнинных водоразделах увалов, флювиогляциальных террасах, покрытых песчаными отложениями (торфянисто-подзолистые иллювиально-гумусовые), но абсолютное их содержание в этих почвах ниже, чем в почвах, образованных на суглинистых почвообразующих породах. В горной части накопление ТМ и УВ в почвах и их массовые доли среднеарифметических показателей варьируют, но статистически достоверно не различаются.

Показано, что накопление ПТП происходит главным образом в органических горизонтах и в незначительных количествах – в иллювиальных горизонтах. Органические горизонты служат геохимическим барьером элементов и, как результат, накопление их (концентрирование) практически во всех изу-



чаемых почвах отмечается в гумусово-аккумулятивных горизонтах (подстилках) (рис. 2).

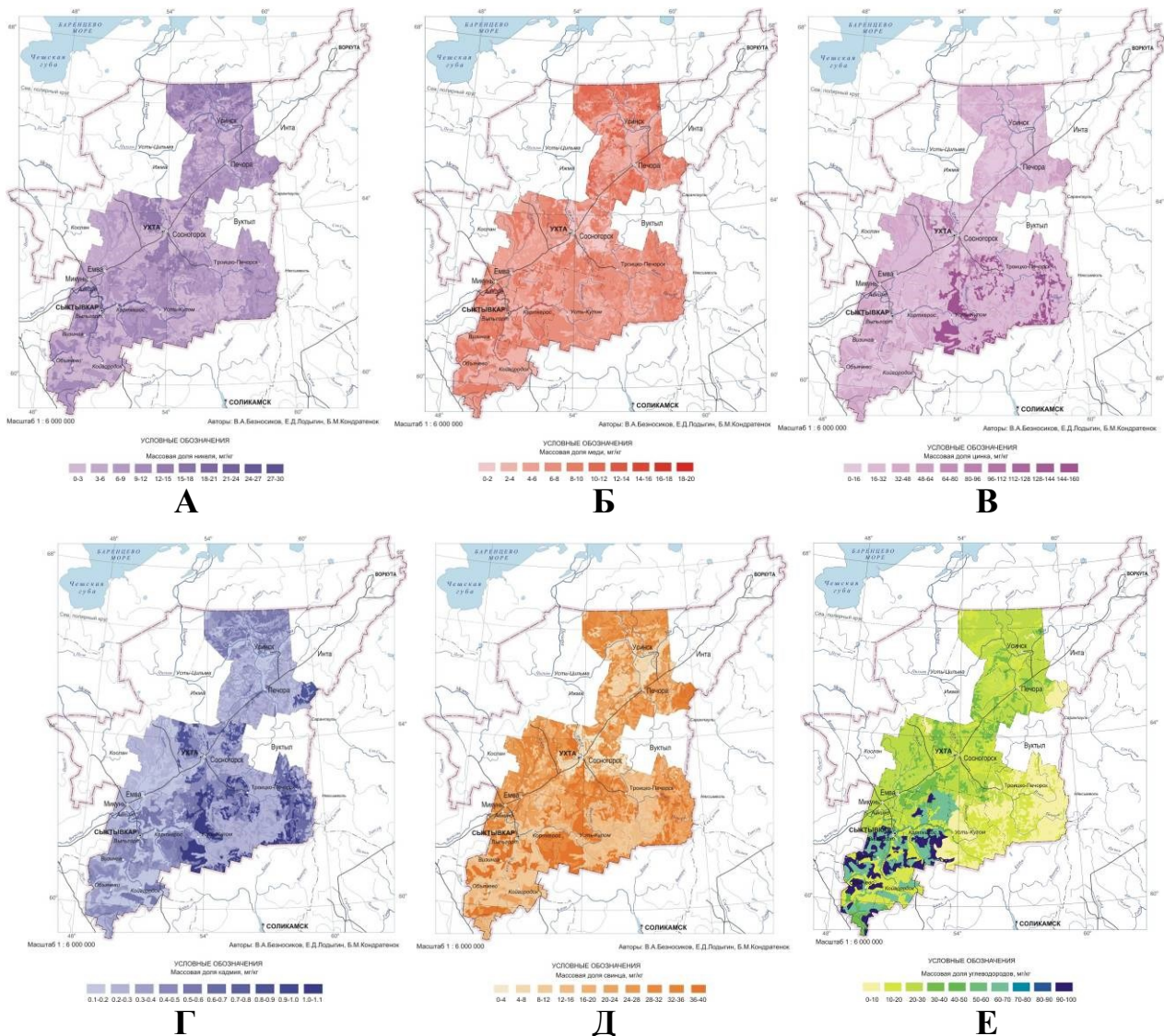


Рис. 2. Карты распределения ПТП в почвах Республики Коми:  
 А – никель, Б – медь, В – цинк, Г – кадмий, Д – свинец, Е – углеводороды

«Геохимическая судьба» ТМ и УВ определяется ландшафтными особенностями территории. На территории Республики Коми развиты ландшафты (ландшафтно-экологические условия) с различной топографией, гранулометрическим составом почвообразующих пород и др., которые определяют особенности накопления и миграции тяжелых металлов, углеводородов и радионуклидов. Наиболее распространенными ландшафтами в республике являются моренные (слабозавалуненные) и покровные (пылеватые) слабодренированные равнины, представленные полого-холмистыми цепями и межувалистыми понижениями. Для этих территорий характерны болотно-подзолистые почвы, развивающиеся в центральной части водоразделов и по периферии болот, в межувалистых понижениях – торфяно-болотные почвы верховых болот. Эти почвы переувлажнены, их геохимическая подчинен-

ность обуславливает латеральный сток и аккумулятивный характер накопления нуклидов ТМ и УВ в органогенных горизонтах. В ряду автоморфных почв к дренированным ландшафтам приречных увалов приурочены: в крайнесеверной и северной тайге глееподзолистые, в средней – типичные подзолистые, в южной подзоне тайги – дерново-подзолистые почвы, для которых характерна умеренная миграция элементов с преимущественным их накоплением в грубогумусных аккумулятивных и маломощных дерновых горизонтах.

На равнинных водоразделах преимущественно преобладают двучленные почвообразующие породы: флювиогляциальные супеси и пески, подстилаемые моренными суглинками (болотно-подзолистые иллювиально-гумусовые почвы), на древнеаллювиальных борových террасах: в среднетаежной подзоне выделяются железистые подзолы, в северотаежной – подзолы иллювиально-гумусово-железистые. Основное количество поллютантов сосредотачивается в маломощных слаборазвитых подстилках, слаборазложившихся сырых торфянистых (торфяно), мохово-торфянистых подстилках. Пойменные ландшафты характеризуются сравнительно активной миграцией естественных и искусственных радионуклидов ТМ и УВ из почв (аллювиальные почвы: аллювиальные слоистые, аллювиальные дерновые и аллювиальные дерново-перегнойные), для пойменных почв характерно сравнительно равномерное профильное распределение поллютантов.

Результаты геохимической оценки экологического состояния почв позволили установить нормативы регионального фона ТМ и УВ в почвах Республики Коми. На основании полученного массива данных с использованием ГИС-технологий (ArcView GIS 3.2a) создана база данных и картосхемы пространственного фонового распределения элементов (веществ) в почвах и издан Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми от 25 ноября 2009 г. № 529 «Об установлении нормативов фонового содержания химических элементов и углеводородов в почвах Республики Коми». Данный приказ будет систематически дополняться (корректироваться) новыми данными. В настоящее время результаты проведенных исследований являются региональными нормативами, которые служат основой для проведения систематических мониторинговых исследований и комплексной оценки экологической ситуации территории в зонах возможного загрязнения почв. Полученные нормативы используются при составлении проектов по инженерно-экологической экспертизе территорий, предлагаемых под новое освоение различных месторождений.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФ № 24-24-00144.*

#### **Библиографический список**

1. Ишкова С. В., Троц Н. М., Горшкова О. В. Влияние нефтяных установок на загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами и нефтепродуктами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 5. С. 217–222.
2. Безносиков В. А., Лодыгин Е. Д. Геохимическая оценка экологического состояния почв // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 7. С. 623–628.

3. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (с изменениями на 30 декабря 2022). М. : Минздрав России, 2022.

4. Содержание тяжелых металлов и углеводородов в почвах населенных пунктов Ямало-Ненецкого автономного округа / И. И. Алексеев, Е. В. Абакумов, Г. А. Шамилишвили, Е. Д. Лодыгин // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 9. С. 818–821.

## **К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ ТЕКСТУРНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ С БИНАРНЫМ ГУМУСОВЫМ ПРОФИЛЕМ ВЯТСКОГО ПРИКАМЬЯ**

*А. М. Прокашев<sup>1,2</sup>, А. С. Матушкин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, amprokashev@gmail.com,*

<sup>2</sup> *Вятский государственный агротехнологический университет*

Представлены данные о балансе илистых частиц в профиле дерново-подзолистых почв со вторыми (реликтовыми) гумусовыми горизонтами на покровных суглинках смешанных лесов востока европейской России. Исследования гранулометрического состава с привлечением расчетных изообъемных и статистических методов свидетельствуют о педогенно обусловленной трансформации минеральной части и наличии абсолютных потерь ила из профилей почв в размере около 10% за последние 5 тыс. лет.

Ключевые слова: гранулометрический состав почв, изообъемные балансовые методы, элювиальные процессы.

Природа текстурной дифференциации почв с элювиальным профилем – подзолистых, дерново-подзолистых, серых и других – была и остаётся предметом дискуссий. На более ранних этапах она объяснялась влиянием кислотного гидролиза, возможно в сочетании с элювиально-глеевым процессом [1]. Позднее эти процессы были дополнены лессиважем [2]. Параллельно с ними существует взгляд на ведущую роль не педогенных, а литогенных факторов в происхождении вертикальной элювиально-иллювиальной неоднородности [3].

Целью работы является проверка последней из упомянутых точек зрения на примере рода дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом (ВГГ) смешанных лесов южной части Вятских Увалов – объекта настоящих исследований. Предмет изучения – минеральная часть почв с ВГГ, сформированных на покровных бескарбонатных и карбонатных суглинках [4, 5]. Основные методы исследования – анализ гранулометрического состава в комбинации с пересчётами по Коссовичу и на обезыленную массу с дополнительными вариационно-статистическими способами оценки степени однородности исходных пород и расчетно-балансовыми вычислениями.

Исследуемые целинные почвы в обобщенном виде имеют следующее строение профилей: O + AY + AEL[hh] + (EL + BEL) + BT1 + BT2 + BC(ca) +

С(са). ВГГ, или AEL[hh]-горизонты, находятся в среднем на уровне 15–30 см от поверхности; переход к материнской породе – на глубине около 90–100 см, причем выше у почв на карбонатных субстратах. Анализ гранулометрического состава почв (по Коссовичу) выявил резкую дифференциацию профилей на обоих подразядах материнских пород с дефицитом ила в аккумулятивно-элювиальной толще почв относительно породы в размере около 70–80% (табл.). В срединной – текстурной – толще, напротив, зафиксировано его повышенное (по сравнению с породой) количество в размере до 30% у почв на карбонатных и до 10% – на бескарбонатных породах. С позиции «литогенной» гипотезы это могло быть следствием исходной неоднородности почвообразующей породы.

Таблица

**Баланс илистой фракции в дерново-подзолистых почвах с ВГГ**

Горизонт	Глубина, см	ОМ, г/см <sup>3</sup>	Частицы < 0,001 мм	Вынос/накопление ила (±), %	Запасы ила, кг/м <sup>2</sup> (и в %)			
					исходные	реальные	Баланс ила (±)	
							в кг/м <sup>2</sup>	в %
Разрез Я-1: дерново-подзолистая почва с ВГГ								
AY	5–14	0,96	7,8	-73	38,22	6,74	-31,48	-82,36
AEL[hh]	14–24	1,23	5,6	-80	42,46	6,89	-35,57	-83,77
EL	24–32	1,42	11,8	-59	33,97	13,40	-20,57	-60,55
BEL	32–41	1,47	30,3	+6	38,22	40,09	+1,87	+4,89
BT1	41–50	1,48	37,9	+33	38,22	50,48	+12,26	+32,08
BT1	50–58	1,48	37,6	+32	33,97	44,52	+10,55	+27,78
BT2	58–94	1,49	34,4	+21	152,87	184,52	+31,65	+20,70
BCca	94–135	1,49	28,5	0	–	–	–	–
Слой 5–94	–	–	–	–	377,94	346,64	-31,29	-8,28
Разрез С-8: дерново-подзолистая почва с ВГГ								
AY	5–17	1,24	7,8	-82	58,75	8,78	-49,97	-85,05
AEL[hh]	17–25	1,52	5,6	-70	39,17	11,79	-27,37	-69,87
BT1	25–35	1,53	11,8	-12	48,96	43,30	-5,66	-11,56
BT1	35–51	1,53	30,3	+5	78,34	82,50	+4,16	+5,31
BT2	51–81	1,53	37,9	+8	146,88	159,27	+12,39	+8,43
BC	81–103	1,53	37,6	+5	107,71	113,10	+5,39	+5,00
С	103–145	1,53	34,4	0	–	–	–	–
Слой 5–103	–	–	–	–	479,8	418,74	-61,08	-12,73

Однако пересчеты гранулометрического состава за вычетом илистой фракции показали высокую степень однородности обезыленной минеральной матрицы. Коэффициент вариации содержания частиц физического песка в различных горизонтах профилей оказался ниже 10%. Это косвенно указывает на гомогенность исходных материнских пород и на педогенные механизмы вертикальной – элювиально-иллювиальной – дифференциации илстых частиц с образованием текстурного по природе срединного горизонта BT.



В целях более объективной оценки судьбы илистой фракции были произведены расчёты её баланса в составе педогенно измененных толщ профилей, представленные на примере двух разрезов, развитых на карбонатных и бескарбонатных покровных суглинках. Они выполнены по изообъёмной методике с использованием следующей формулы расчета [6]:

$$X = \frac{V_s \cdot D_s \cdot P_s}{100}$$

где:  $V_s$  – объем исходной породы, или горизонта, в  $\text{см}^3$ ;  $D_s$  – плотность (объёмная масса) исходной породы, или горизонта, в  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $P_s$  – весовой процент ила в исходной породе, или в горизонте.

За «нуль-момент» были приняты объемная масса и количество ила, соответствующее его содержанию в современной материнской породе, не затронутой педогенной трансформацией. Они спроецированы нами на объем каждого из горизонтов в пересчете на площадь  $1 \text{ м}^2$  и его мощность в см. Полученные результаты сопоставлены с реальной плотностью горизонтов и процентным содержанием ила в них. На основании этого определен баланс ила в каждом из горизонтов в  $\text{кг}/\text{м}^2$  с учётом занимаемого объёма и переведён в весовое выражение для оценки выноса или накопления илистой фракции (табл.).

Результаты анализа в целом свидетельствуют о педогенной природе текстурной дифференциации профилей исследуемых почв. Они указывают, во-первых, на корелляцию данных, полученных методами оценки относительных и абсолютных потерь ила и, во-вторых, на абсолютную потерю тонкодисперсной фракции из профилей почв в размере 8–13%. При этом в почве на карбонатной породе зафиксированы меньшие потери ила, объяснимые барьерной ролью щелочного геохимического барьера. Прделанные в целях унификации мощностей профилей обеих почв пересчеты на 1 см толщи профиля показали почти вдвое большие размеры выноса ила из почвы на бескарбонатных суглинках:  $0,35 \text{ кг}/\text{м}^2$  для разреза Я-1 и  $0,62 \text{ кг}/\text{м}^2$  для разреза С-8.

Таким образом, балансовый метод в его изообъёмном варианте позволяет дать достаточно объективную оценку реальной судьбы тонкодисперсных компонентов почвы, несмотря на присущие ему недостатки. Он свидетельствует о высокой степени вероятности реальной потери илстых частиц из профилей дерново-подзолистых почв с ВГГ широколиственно-хвойных лесов Вятского Прикамья в абсолютном, т. е. весовом выражении в размере до 10% и более. Последнее обеспечивается за счёт свойственного региону периодически промывного водного режима. Открытым остается вопрос, за какой период и в какой форме произошла потеря илистой фракции в указанных размерах. Судя по имеющимся в нашем распоряжении палеопочвенным данным, это могло произойти в последние 5 тыс. лет голоцена, когда наметилась тенденция усиления бореально-гумидных черт климата и элювиальных процессов педогенеза [5]. Принимая во внимание однородность объёмной массы срединных и нижележащих горизонтов материнских пород можно сделать предположение о вероятности участия, наряду с лессиважем, кислотного гидроли-

за и элювиально-глеевого процесса в формировании текстурной дифференциации рассматриваемых почв.

#### Библиографический список

1. Роде А. А. Подзолообразовательный процесс. М. – Л. : Изд-во АН СССР, 1937. 454 с.
2. Роде А. А. К вопросу об оподзоливании и лессиваже // Почвоведение. 1965. № 7. С. 9–23.
3. Макеев А. О. Поверхностные палеопочвы лёссовых водоразделов Русской равнины. М. : Молнет, 2012. 260 с.
4. Прокашев А. М. Баланс вещества в почвах на покровных суглинках Вятского Прикамья // Актуальные проблемы регионального экологического мониторинга: теория, методика, практика : сб. материалов Всерос. научной школы (г. Киров, 13–15 ноября 2003 г.). Киров, 2003. С. 122–124.
5. Прокашев А. М. Генезис и эволюция почв бассейна Вятки и Камы (по палеопочвенным данным). Киров : Изд-во ВятГГУ, 2009. 386 с.
6. Розанов Б. Г. Генетическая морфология почв. М. : Изд-во МГУ, 1975. 294 с.

### РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВ НА ДВУЧЛЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ЗАКАЗНИКА «ЛЯЛЬСКИЙ», РЕСПУБЛИКА КОМИ)

*Е. А. Скребенков<sup>1,2</sup>, Ю. В. Холопов<sup>1</sup>, С. В. Денева<sup>1</sup>,  
А. А. Рудь<sup>1</sup>, Е. М. Лантева<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, [lapteva@ib.komisc.ru](mailto:lapteva@ib.komisc.ru),*

<sup>2</sup> *Сыктывкарский государственный университет  
имени Пютирима Сорокина*

В статье приводятся результаты исследований почвенного покрова заказника «Ляльский» (Республика Коми), на территории которого создан полигон для мониторинга парниковых газов. Приведены характеристики основных типов почв, развитых на двучленных отложениях в авто- и полугидроморфных условиях. Показано, что рассмотренные почвы относятся к двум отделам (альфегумусовые почвы, элювиальные почвы) и семи типам (подзолы, подзолы глеевые, торфяно-подзолы глеевые, подзол-элювоземы, дерново-подзол-элювоземы, дерново-элювоземы, торфяно-элювоземы глеевые).

Ключевые слова: почвы, почвообразующие породы, двучленные отложения.

Особенностью почв на двучленных отложениях является резкая смена гранулометрического состава в пределах первого метра профиля. В природе встречаются различные комбинации смены пород – и подстиление отложений легкого гранулометрического состава (пески, супеси, легкие суглинки) тяжелыми (тяжелые суглинки, глины), и обратные варианты – подстиление тяжелых по гранулометрическому составу пород легкими [1]. В случае залегания

под песками и супесями тяжелых суглинков и глин, последние могут служить водоупором, создающим устойчивое сезонное переувлажнение верхней части профиля, а также могут служить своего рода «водоотводом», если такие почвы формируются на склоновых поверхностях рельефа [2]. Ранее, с учетом принципов эколого-генетической классификации почв [3], подобные почвы относили к типу подзолистых почв, подтипам глееподзолистых (северная тайга), подзолистых (средняя тайга), дерново-подзолистых (южная тайга) почв. При этом, в зависимости от того, на каких породах шло формирование почв, выделяли две группы почв (на суглинках – подзолистые почвы, на песках – подзолы) и несколько родов почв.

В начале XXI века была разработана и предложена современная классификация почв России [4, 5], базирующаяся на субстантивно-генетической основе и профильно-генетическом принципе, в которой был учтен огромный накопленный материал о почвах России, полученный в течение второй половины XX в. В Республике Коми почвы, формирующиеся на двучленных почвообразующих породах, занимают около 22% площади региона [6], что требует оценки их классификационного положения с точки зрения современных классификационных подходов к диагностике и идентификации почв.

Характеристика классификационного положения почв, сформированных на двучленных отложениях, проведена нами на примере почвенного покрова государственного природного заказника республиканского значения «Ляльский» (Республика Коми, Княжпогостский р-н). На территории этого резервата создан тестовый полигон для мониторинга парниковых газов в рамках 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» [7]. Площадь полигона 2×2 км, почвообразующие породы – ледниковые отложения неоднородного гранулометрического состава (пески, подстилаемые суглинками) с присутствием гравийно-галечникового материала и карбонатов. В зависимости от условий рельефа, крутизны склонов, характера дренированности территории, особенностей растительного покрова, мощность песчаной толщи в профиле почв варьирует от нулевых значений до 50–80 см. В различных растительных сообществах (ельниках, сосняках и мелколиственных сообществах из осины и березы) заложены в совокупности 30 постоянных пробных площадей (ППП), где в 2023–2024 гг. описаны и определены свойства почв на примере 30 полнопофильных разрезов и 60 полуразрезов.

Полученный материал показал, что почвы, развитые в границах полигона на двучленных отложениях в относительно дренированных (авто- и полугидроморфные) условиях, относятся (без учета заболоченных лесов с торфяно-глееземами и торфяными почвами) к разным отделам, типам и подтипам ствола постлитогенных почв (табл.).

**Классификационное положение почв на двучленных отложениях,  
выделенных в границах тестового полигона «Ляльский»**

Отдел	Тип	Подтип, формула профиля	Номер ППП*	
Альфегумусовые почвы	Подзолы	иллювиально-железистые грубогумусированные контактно-осветленные контактно-элювиированные остаточо-карбонатные: Oao-E-BF-BCek-Del-D-Dca	104	
		иллювиально-железистые контактно-элювиированные остаточо-карбонатные: O-Ehi-BF-Del-Dca	319	
		иллювиально-железистые перегнойные глееватые постпирогенные остаточо-карбонатные: Oh-Ehi,pyr-BFg-BCg-Del,g-Dca,g	298	
	Подзолы глеевые	иллювиально-железистые постпирогенные: Opyr-Eg-BF-BCg-CG	243	
		иллювиально-гумусовые постпирогенные: Opyr-Epyr-BHg-BFg-BCg-DG	237	
		иллювиально-железистые перегнойные окисленно-глеевые: Oh-EG-BF-Gox-DG	280	
	Торфяно-подзолы глеевые	иллювиально-гумусовые окисленно-глеевые: T-Ehi,g-BH-BCg-DGox-DG	228	
		иллювиально-железистые перегнойные окисленно-глеевые, в т.ч. остаточо-карбонатные: Th-Ehi,g-BF(g)-(BCg)-DGox-DG(ca)	114, 38	
		иллювиально-железистые перегнойные постпирогенные: Th(pyr)-Ehi(g),pyr-BFg-Cg-DG-G	270, 208	
		иллювиально-гумусовые перегнойные постпирогенные: Th,pyr-Eg-BH-BCg-Cg-G	86	
		иллювиально-гумусовые перегнойные T-H-Eg-BH-Bg-Cg-DG	233	
	Элювиальные почвы	Подзол-элювоземы	контактно-элювиированные: O-E-Del-D	266
			грубогумусированные контактно-элювиированные остаточо-карбонатные: Oao-E-Df-Del-D-Dca	293
			грубогумусированные глееватые: Oao-E(hi)g-(Cg)-Del,g-Dg	88, 284
			грубогумусированные глееватые постпирогенные остаточо-карбонатные: Oao-Ehi,pyr-Del-D-Dca,g	145
Дерново-подзол-элювоземы		грубогумусированные остаточо-карбонатные: Oao-AYe-E-C-B-Dca	115	
		перегнойные глееватые остаточо-карбонатные: Oao-AYh,e-Eg-Dg,ca	157	
Дерново-элювоземы		Грубогумусированные постагрогенные остаточо-карбонатные: Oao-AYe-BELca-Vca-Cca-Dca	163	
Торфяно-элювоземы глеевые		перегнойные остаточо-карбонатные: Th-ELh,g-DG-DGca	180	
		Перегнойные постпирогенные остаточо-карбонатные: Th,pyr-ELhi,g-BELg-DG-DGca	179	

Примечание: \* ППП – постоянная пробная площадь.

На двучленах с мощностью песчаной толщи от 30–40 см и более, как правило, формируются почвы, имеющие характерное для отдела альфегумусовых почв строение – сочетание в профиле почвы оганогенного (подстилочно-торфяного или торфяного), подзолистого (E) разной степени оглеения и иллювиально-гумусово-железистого горизонтов. Подстиляется песчаная толща тяжелыми суглинками и глинами, верхняя часть которых, как правило, преобразована под влиянием процессов почвообразования (имеются признаки элювиирования в виде зон более светлой окраски на буром фоне). Чем больше мощность песчаной толщи в профиле таких почв, тем четче выражен иллювиально-железистый (BF) и иллювиально-гумусовый (BH) горизонты и ярче их специфическая ржаво-охристая и кофейно-коричневатая окраска. В наиболее дренированных условиях под пологом ельников и осинников кустарничково-зеленомошных представлены различные подтипы подзолов, в условиях застоя влаги в сосняках кустарничково-долгомошных и кустарничково-сфагновых формируются различные подтипы подзолов глеевых и торфяно-подзолов глеевых (табл.). Альфегумусовые почвы, развитые на двучленных отложениях, охарактеризованы на примере среднетаежных почв Республики Коми в ранее опубликованных работах [8, 9].

Наряду с альфегумусовыми почвами нами описаны почвы, в профиле которых отсутствуют ярко выраженные иллювиальные горизонты (BH и BF). Наличие под органогенным горизонтом отбеленного подзолистого горизонта E (на песках) или элювиального EL (на суглинках) позволяет отнести такие почвы, в соответствии с принципами диагностики современной классификации почв России [4, 5], к отделу элювиальных почв. Ранее такие почвы в классификации не выделяли, их диагностировали в составе подтипов подзолистых и глее-подзолистых почв (на двучленных породах) [3].

Почвы отдела элювиальных почв в границах рассматриваемого полигона формируются под пологом осиновых и еловых лесов вторичного происхождения на двучленных отложениях с мощностью песчаной толщи от 14 до 55 см. Диагностируются по наличию органогенного (подстилочно-торфяного и торфяного) горизонтов в сочетании с подзолистым (E) или элювиальным (EL) горизонтами, сменяющимися подстилающей породой. Место срединных генетических горизонтов занимает субстрат с отсутствием или слабо выраженными признаками педогенной проработки.

Данные почвы развиты преимущественно под пологом осиновых и еловых лесов вторичного происхождения. В зависимости от условий дренированности они могут иметь признаки оглеения в верхней или нижней частях профиля и, соответственно, мощность органогенного горизонта от 4-5 до 20-30 см. Следы ранее прошедших пожаров зафиксированы в виде углистых частиц в нижних слоях лесных подстилок и верхних минеральных горизонтах, что позволило выделить в ряду типов отдела элювиальных почв постпирогенные подтипы. Специфика состава напочвенного покрова (травянистый и/или травяно-моховый) и особенности землепользования в разные периоды освоения данной территории (в первую очередь, подсечно-огневое земледелие в

дореволюционный период) нашли свое отражение в формировании в профиле почв маломощного серогумусового горизонта АУ с характерной серой окраской и мелкокомковатой структурой, который может иметь признаки перегнойности (в более влажных условиях) и/или оподзоленности. Это позволило выделить, помимо типа подзол-элювоземов на территории полигона «Ляльский», типы дерново-подзол-элювоземов (на песках, подстилаемых суглинками и глинами) и дерново-элювоземов (на супесях и легких суглинках, подстилаемых тяжелыми суглинками и глинами).

Следует отметить, что на двучленных отложениях, представленных на территории полигона «Ляльский», формируются сложные подтипы альфегумусовых и элювиальных почв (табл.). Это обусловлено сложным сочетанием природных и антропогенных факторов почвообразования в ландшафтах рассматриваемой территории: различной дренированностью ландшафтов, наличием склоновых и выровненных поверхностей в рельефе местности, разнообразием растительных сообществ, наличием последствий подсечно-огневого земледелия, пожаров и рубок. В связи с этим генетические горизонты в профилях описанных нами почв модифицированы проявлениями различных генетических признаков – постпирогенности (руг), грубогумусированности (ао), перегнойности (h), глееватости (g), остаточной карбонатности (са), оподзоленности (е), элювиированности (el) и т. д. Сочетание нескольких генетических признаков в профиле почв не позволяет подтиповое название почвы представлять добавлением одного признака к названию типа почвы, в данном случае его приходится составлять сочетанием нескольких подтиповых названий.

Таким образом, на данный момент в пределах исследованного тестового полигона «Ляльский», выделенного в границах государственного природного заказника регионального значения «Ляльский», классификационное положение почв, формирующихся на двучленных отложениях, представлено как минимум двумя отделами постлитогенного ствола – альфегумусовые и элювиальные почвы, семью типами и 18 подтипами. Подтипы почв имеют сложное название, составленное из нескольких подтиповых признаков. Последнее обусловлено формированием профиля рассматриваемых почв в результате сложного сочетания различных природных и антропогенных факторов, определяющих развитие ведущих (элювиальный, альфегумусовый, глеевый, подстилкообразование, торфообразование) и сопутствующих почвообразовательных процессов.

*Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).*

### Библиографический список

1. Тонконогов В. Д., Каверин Д. А., Забоева И. В. Особенности почв на двучленных отложениях северо-востока Европейской России // Почвоведение. 2004. № 3. С. 261–270.
2. Генезис и миграция веществ в почвах на двучленных породах ЦЛГПБЗ Тверской области / И. М. Яшин, Л. П. Когут, И. И. Васнев и др. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2014. № 3. С. 5–20.
3. Классификация и диагностика почв СССР / Сост.: В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова и др. М. : Колос, 1977. 223 с.
4. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 341 с.
5. Полевой определитель почв России. М. : Почвенный ин-т имени В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
6. Атлас почв Республики Коми / под ред. Г. В. Добровольского, А. И. Таскаева, И. В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
7. 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, 15 ноября 2023 года). Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 14–17.
8. Каверин Д. А. Автоморфные почвы на двучленных породах в средней тайге европейского Северо-Востока : спец. 03.00.27 : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2004. 26 с.
9. Градусов Б. П., Тонконогов В. Д., Каверин Д. А. О происхождении гранулометрической дифференциации таежных почв на двучленных суглинистых отложениях // Почвоведение. 2004. № 10. С. 1157–1162.

## СОСТОЯНИЕ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ВОКРУГ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ЖИДКОЙ ФРАКЦИИ НАВОЗНЫХ СТОКОВ

*Е. В. Дабах<sup>1</sup>, Н. В. Сырчина<sup>2</sup>, Е. А. Домнина<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, dabakh@mail.ru,*

<sup>2</sup> *Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru*

Изучено состояние почв и растительности на территории вокруг лагун с навозными стоками. Показано, что антропогенное воздействие привело к формированию почв со слабо дифференцированным профилем, с нейтральной реакцией, невысоким содержанием органического вещества и азота, но с чрезвычайно высоким содержанием подвижных соединений калия и фосфора. Нарушение почвенного покрова и баланса элементов питания в почвах стало причиной изменения растительности: в травянистом покрове – распространения рудеральных сорных растений, отличающихся значительной высотой и высоким коэффициентом размножения, в древесно-кустарниковом ярусе – засыхания деревьев.

Ключевые слова: навозные стоки, лагуны, почвы, элементы питания растений, рудеральные растения.

Защита почв от загрязнения и поддержание высокого плодородия входят в число важнейших проблем современного сельского хозяйства. Интенсивная эксплуатация земельных ресурсов, нарушение естественного растительного покрова, широкое использование удобрений и пестицидов приводят к деградации почв, утрате естественного биологического разнообразия, масштабному загрязнению природной среды опасными соединениями и микроорганизмами [1, 2]. В зону экологического риска попадают не только земли сельскохозяйственного назначения, но и прилегающие к ним территории [3, 4]. Важным элементом обеспечения экологической безопасности сельского хозяйства является мониторинг, позволяющий отслеживать, фиксировать и прогнозировать динамику состояния сельскохозяйственных объектов, оценивать вероятные последствия их воздействия на окружающую среду, своевременно принимать необходимые меры по предупреждению возможных экологических рисков.

Цель настоящего исследования состояла в оценке влияния систем накопления и обезвреживания жидкой фракции навозных стоков на почвы и растительность прилегающих территорий.

В настоящее время для обработки навозных стоков (НС) на животноводческих предприятиях широко используют технологию, включающую разделение удаляемых из подпольных навозонакопительных ванн стоков на жидкую и твердую фракции с последующим обезвреживанием жидкой фракции в лагунах, а твердой – на специально оборудованных гидроизолированных площадках [5]. Конструкция и размещение лагун на местности осуществляются таким образом, чтобы предотвратить загрязнение почвы, поверхностных и подземных вод. После обезвреживания, как жидкую, так и твердую фракции, вносят в почву в качестве удобрений. Годовые нормы внесения стоков под культуры севооборота не должны превышать норм, рассчитанных по общему азоту. Концентрации калия и фосфора в животноводческих стоках не лимитируются [6].

Изучение состояния почв и растительности вокруг лагун проводили на одном из животноводческих предприятий Кировской области. Обследование территории и отбор проб почв для химического анализа выполняли в мае 2024 г. Анализ проб проводили в аккредитованной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Кировский». Карта-схема обследованной территории приведена на рисунке.

Результаты обследования показали, что почвы вокруг лагун формируются на отвалах рыхлых осадочных пород, появившихся в результате планировки местности при строительстве самого объекта, прокладке линии электропередач, сооружении ограждений и других техногенных воздействиях. В профиле почв не наблюдается отчетливой дифференциации на горизонты. На фоне красновато-бурой толщи лишь корнеобитаемый слой выделяется как гумусовый горизонт по более темной окраске (Д-2). Этот факт свидетельствует об отсутствии вмешательства в почвообразовательный процесс, по крайней



мере, в последнее десятилетие. Как и следовало ожидать, в молодых слабо дифференцированных почвах на рыхлых породах свойства по глубине почти не отличаются (табл., образцы Д-3–Д-5).

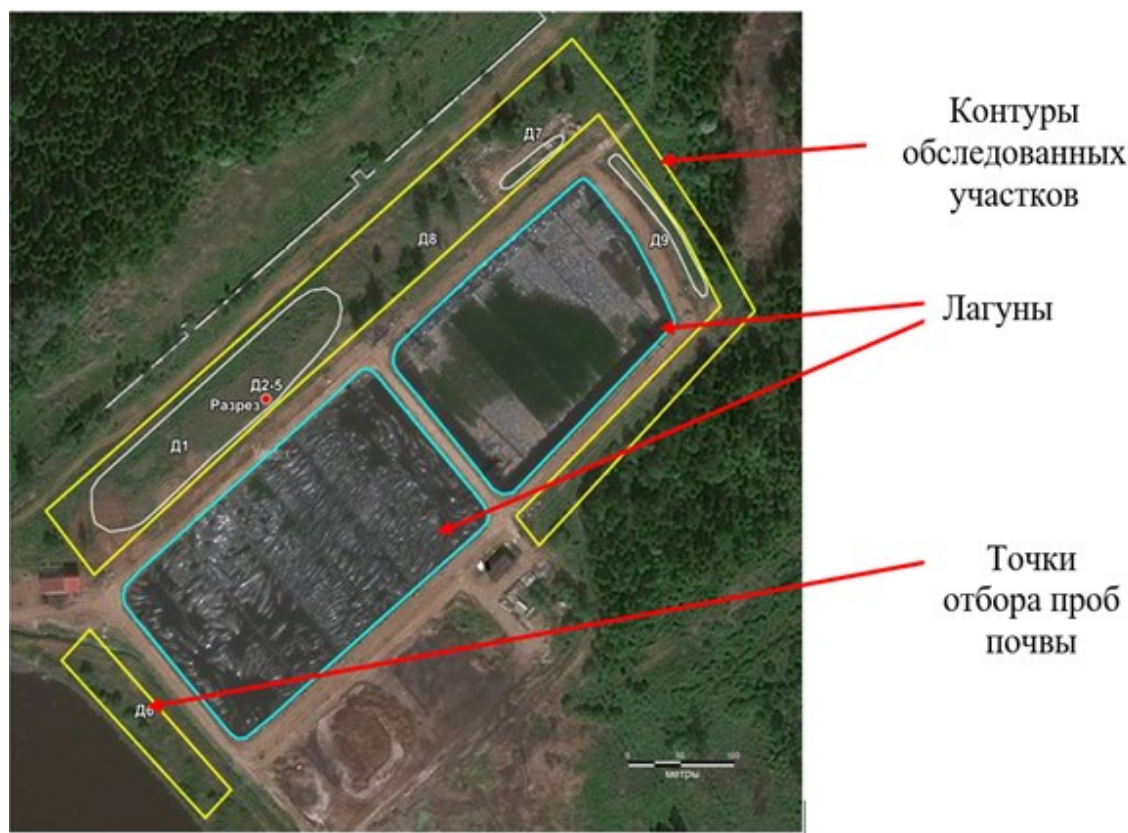


Рис. Схема обследованных участков

Таблица

**Свойства почв на обследованной территории**

Образец	Место отбора (рис.)	Показатели					
		pH <sub>KCl</sub> (ГОСТ 26483-85)	Органическое вещество, % (ГОСТ 26213-2021 п.6.1)	Азот аммонийный, мг/кг (ГОСТ 26489-85)	Азот нитратный, мг/кг (ГОСТ 26951-86)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> подвижный, мг/кг (ГОСТ Р 54650-2011)	K <sub>2</sub> O подвижный, мг/кг (ГОСТ Р 54650-2011)
1	2	3	4	5	6	7	8
Д-1	Смешанный образец С-3 периметр до деревьев	6,9	1,95	< 5	6,6	470	420
Д-2	Разрез 1 глубина 0–20 см	7,0	2,7	7,3	7,9	770	300
Д-3	Разрез 1 глубина 30–40 см	7,0	0,5	< 5	4,1	430	180
Д-4	Разрез 1 глубина 50–60 см	7,1	0,77	< 5	3,1	440	180

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Д-5	Разрез 1 глубина 75–85 см	7,1	0,78	5,3	3,4	490	230
Д-6	Дамба у водоема с «чистой» водой	7,1	2,6	5,7	12,0	490	340
Д-7	Смешан- ный обра- зец 4 по- нижение между пли- тами и сет- кой	6,9	3,2	< 5	11,5	> 1000	570
Д-8	Проба у сожженно- го дерева	6,1	1,87	5,6	4,8	> 1000	920

Все пробы из разреза имели нейтральную реакцию ( $pH_{KCl}$  выше 6). Верхний гумусовый слой характеризовался типичным для зоны размещения объекта невысоким содержанием органического вещества (2,7%) и низким содержанием азота [7], очень высоким – более 250 мг/кг [8] содержанием фосфора и калия. В нижележащих слоях содержание органического вещества резко падает, количество аммонийного и нитратного азота снижается до значений, соответствующих градации очень низкой обеспеченности растений азотом [7].

Вниз по профилю снижается и содержание фосфора, однако выявленные значения все равно относятся к очень высоким. Содержание калия в нижних слоях становится оптимальным.

Во всех смешанных образцах, отобранных по периметру лагун (Д-1, Д-6, Д-7, Д-8), отмечается нейтральная среда, небольшое количество органического вещества, очень низкое содержание минеральных форм азота, очень высокие концентрации обменного калия и, особенно, подвижного фосфора.

Если считать, что дополнительными источниками биогенных элементов вокруг лагун являются навозные стоки, то такие высокие концентрации подвижных соединений фосфора и калия, вполне объяснимы. Низкое содержание минеральных форм азота, вероятно, обусловлено рядом причин. Во-первых, в нейтральной среде азот более активно вступает в биологический круговорот, поглощается растениями, во-вторых, при промывном водном режиме на рыхлых породах он интенсивно вымывается, в-третьих, азот улетучивается вследствие процессов нитрификации и денитрификации.

Например, на участке Д-1 большое количество азота выносится распространенным здесь борщевиком Сосновского, создающим огромную биомассу. Более высокое содержание нитратного азота в пониженной части северо-западного участка (Д-7) отражает роль рельефа в распределении азота. Быст-

рое снижение концентрации ионов азотной группы после поступления их в почвы в сверхвысоких дозах показано в работах [9, 10].

Необычайно высокое содержание фосфора в почвах приводит к дисбалансу элементов питания и является препятствием для поступления в почву калия, железа, цинка, меди, молибдена и других важнейших элементов питания; избыток фосфора является причиной повышения восприимчивости растительных клеток к возбудителям вирусных инфекции [11–13].

Нарушение естественного почвенного покрова непосредственно около лагун и развитие на отвалах пород почв с отличными от природных свойствами привели к изменению растительности.

Ненарушенная территория вокруг лагун с северо-западной, северо-восточной и частично юго-восточной стороны покрыта естественной древесной растительностью, характерной для подзоны южной тайги. В составе древесного яруса преобладает ель финская, берёза повислая, осина. К северо-западу от лагун естественная древесная растительность находится на расстоянии 100 м. На этой территории имеются отдельно стоящие деревья (ель финская, береза повислая, осина) и кустарники (рябина обыкновенная, ирга овальная, бузина красная, ива sp.), некоторые из них засохли или находятся в стадии засыхания. Из травянистых растений преобладает борщевик Сосновского, полынь чернобыльник, одуванчик лекарственный, бодяк полевой, лопух паутинистый, крапива жгучая, чистотел большой, кипрей узколистный, пустырник пятилопастной.

С северо-восточной и восточной стороны естественная древесная растительность находится на расстоянии 20–30 м от дороги, окружающей лагуны. Перед древесными растениями произрастают кустарники: ива, бузина. Травянистая растительность представлена крапивой жгучей и пыреем ползучим.

К юго-западу от лагун проходит асфальтированная дорога, за которой находится дамба водоема с «чистой» водой. На дамбе произрастает древовидная облепиха крушиновидная и кустарники: бузина красная, малина обыкновенная. Из травянистых растений преобладает борщевик Сосновского, крапива жгучая и кипрей узколистный.

На основании проведенных исследований можно сделать следующее заключение: антропогенное воздействие привело к изменению почвенного покрова и свойств почв на прилегающей к системам накопления и обезвреживания жидкой фракции навозных стоков территории. Это воздействие особенно ярко проявилось в северо-западном направлении, где сформировались антропогенные почвы со слабо дифференцированным профилем. В отличие от распространенных на данной территории подзолистых и дерново-подзолистых почв они характеризуются нейтральной реакцией среды, очень высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия, что является следствием поступления в почву навозных стоков. Однако, содержание минеральных форм азота в почвах низкое, это стало причиной нарушения в почвах баланса элементов питания растений.

Большинство травянистых растений вокруг лагун относится к группе рудеральных сорных, отличающихся значительной высотой и высоким коэффициентом размножения. Обычно они произрастают на нарушенных почвах с повышенным содержанием в ней органических остатков, азота и нередко посторонних примесей. Видовой состав древесных растений и кустарников типичен для лесорастительных условий Кировской области. Однако многие деревья вдоль северо-западного периметра объекта засохшие или находятся в стадии засыхания, что, по-видимому, является следствием несбалансированного питания.

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

### **Библиографический список**

1. Влияние навозных стоков на почвенные фототрофные микроорганизмы / Л. В. Кондакова, Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, И. А. Кондакова. DOI 10.25750/1995-4301-2023-2-190-197 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 190–197.
2. Маркина Е. О., Григорьев В. В., Сырчина Н. В. Влияние различных добавок на подвижность тяжелых металлов в почвах // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 2. Киров : ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 87–90.
3. Сырчина Н. В. Шубин А. С., Береснева Т. П. Дезодорация свиного навоза, предназначенного для производства удобрений // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 1. Киров : «Изд-во «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 394–397.
4. Биологическое загрязнение почв побочными продуктами животноводства / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-201-210 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 2. С. 201–210.
5. Методические рекомендации по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета РД-АПК 3.10.15.01-17. [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293744/4293744156.pdf> (дата обращения: 04.10.2024).
6. Методические рекомендации по технологическому проектированию оросительных систем с использованием животноводческих стоков РД-АПК 1.30.03.01-20 [Электронный ресурс]. – URL: <https://biokompleks.ru/upload/medialibrary/da9/7rvxng0i0hak5b7fojioe49-nwz4y4tms.pdf> (дата обращения: 04.10.2024).
7. Гамзиков Г. П. Рекомендации по диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений. Новосибирск, 1983. 30 с.
8. Агрохимия / Б. А. Ягодин, П. М. Смирнов, А. В. Петербургский и др. под ред. Б. А. Ягодина. М. : Агропромиздат, 1989. 639 с.
9. Кислицына А. П., Дабах Е. В., Домнина Е. А. Восстановление растительности на переувлажненных почвах поймы после воздействия высоких доз минерального азота // Мелиорация почв для устойчивого развития сельского хозяйства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения профессора Александра Филипповича Тимофеева. Киров : ВГСХА, 2019. С. 117–121.
10. Кислицына А. П., Дабах Е. В., Домнина Е. А. Мониторинг состояния опытного полигона утилизации загрязненных азотом вод // Актуальные вопросы аграрной науки:

теория, и практика : материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию агрономического факультета. Киров : ВГСХА, 2014. С. 83–85.

11. Штиканс Ю. А., Визла Р. Р. Справочник агрохимика Нечерноземной полосы. Л. : Колос. Ленинградское отделение, 1981. 328 с.

12. Минеев В. Г., Егоров В. С. Баланс меди, цинка и марганца в дерново-подзолистой почве с разными уровнями содержания подвижного фосфора // Агрохимия. 1997. № 8. С. 5–9.

13. Экотоксикологическая оценка повышенного содержания фосфора в почвогрунте по тест-реакциям растений на разных стадиях развития / В. А. Терехова, Д. Б. Домашнев, М. А. Каниськин и др. // Проблемы агрохимии и экологии. 2009. № 3. С. 21–26.

## **РАЗЛОЖЕНИЕ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ ПЕСТИЦИДОВ В ПОЧВЕ С ПОМОЩЬЮ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА**

*Д. Д. Индоиту*

*Институт микробиологии и биотехнологии,  
Технический университет Молдовы, [diana.indoitu@imb.utm.md](mailto:diana.indoitu@imb.utm.md)*

Наночастицы магнетита использовали для ремедиации почвы, долго-временно загрязненной хлорорганическими пестицидами. В результате ГХЦГ полностью разложился, а концентрация метаболитов ДДТ снизилась в 13 раз. Также наблюдалось снижение бактериальной активности и рост мицелиальных грибов. Данные подтверждают потенциал наномангнетита для очистки почв.

Ключевые слова: пестициды, наночастицы, наномангнетит, микроорганизмы почвы, ДДТ, ГХЦГ, биоремедиация.

Накопление в почве различных стойких органических загрязнителей (СОЗ) было признано глобальной экологической проблемой. Хлорорганические пестициды (ХОП), относящиеся к таким загрязнителям, токсичны для людей, животных и водных организмов, могут повреждать иммунную и репродуктивную системы, накапливаться в жировых тканях людей, растений и животных, оказывать серьезное долгосрочное воздействие. Опасность ХОП также заключается в их устойчивости к деградации химическими, физическими или биологическими способами, могут потребоваться десятилетия для их разложения [1, 2]. ХОП относятся ко 2-му классу опасности по отношению к человеку и согласно Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях запрещены во многих странах мира (с 2001–2004 гг.). На территории Молдовы применение данных пестицидов прекратилось с 1970 года, однако присутствие ХОП до сих пор обнаруживается в почвах. Поэтому разработка эффективных технологий рекультивации загрязненных пестицидами почв очень актуальна [2–4].

Разложение сорбированных в почве ХОП протекает довольно сложно и зависит от вида пестицидов, типа почвы и её влажности и множества других

факторов, что и обуславливает сложность поиска наиболее эффективного способа ремедиации почвы [4]. Проведение исследований с применением нанотехнологий, позволяющих управлять веществами на атомном и молекулярном уровне, открывает большие возможности. Исследования с применением железосодержащих наночастиц, продемонстрировали способность данных веществ очищать почву и грунтовые воды, загрязненные промышленными веществами, благодаря способности железа легко окисляться и в присутствии СО<sub>2</sub> образовывать сложные молекулы, которые распадаются на более простые и менее токсичные углеродные компоненты [5, 6].

Целью данного исследования было оценить потенциал наночастиц магнетита для восстановления почвы, длительное время подвергавшейся воздействию устаревших пестицидов (ГХЦГ, ДДТ и их метаболитов).

В опыте изучалась почва из фруктового сада Кэларашского района Республики Молдова, загрязнённая ХОП. Сумма ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан + родственные соединения) составляла от 3,0 до 5,0 мг/кг сухой почвы, сумма ГХЦГ (изомеры гексахлорциклогексана) – до 1,2 мг/кг сухой почвы. Опыты по нанобиоремедиации почвы были заложены *ex situ*: в аэробных условиях, с чередованием анаэробных и аэробных условий. При анаэробных условиях в почву вносили коллоидный водный раствор наночастиц магнетита (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Было определено содержание ГХЦГ и двух основных изомеров, из которых состоит ДДТ: *n,n'*-ДДТ и *o,n'*-ДДТ [7]. Определение остатков пестицидов в почве подтверждали методом газожидкостной хроматографии с масс-спектрометрией ГХ/МС. Также был изучен групповой состав и численность микроорганизмов.

В результате опыта ГХЦГ, представленный преимущественно персистентным изомером бета-ГХЦГ, полностью разложился. Концентрация суммы метаболитов ДДТ снизилась в 13 раз, распад ДДТ происходил как аэробным, так и анаэробным путем (рис. 1).

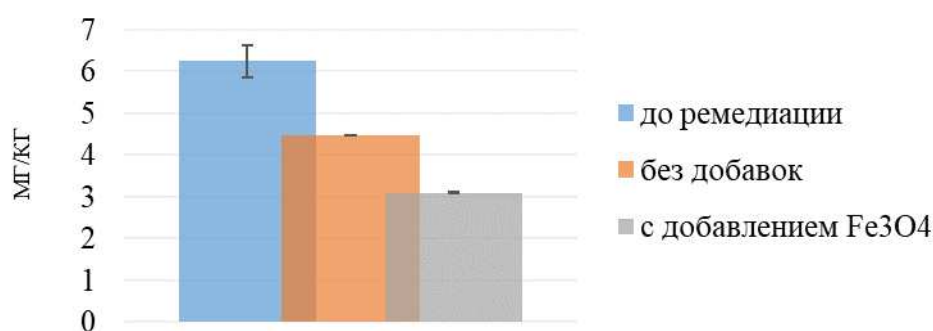


Рис. 1. Концентрация суммы метаболитов ДДТ, ДДЕ и ДДД

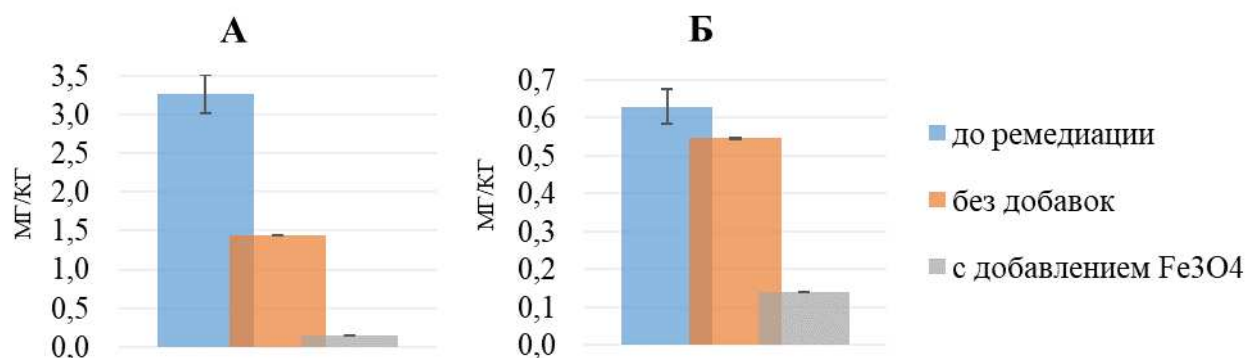


Рис. 2. Концентрация составляющих ДДТ: А – *n,n'*-ДДТ, Б – *o,n'*-ДДТ

В исследуемой почве были выделены следующие группы микроорганизмов, участвующих в процессах превращения азота: бактерии, ассимилирующие минеральный азот; олигонитрофилы; аммонификаторы; микромицеты (табл. 1). Наблюдалось изменение численности микроорганизмов по вариантам. После внесения наночастиц магнетита в загрязненной почве снизилась доля бактериальной микробиоты, участвующей в процессах превращения азота, наблюдалась существенная активизация роста мицелиальных грибов (табл. 1).

Таблица 1

### Содержание микроорганизмов в почве

Группы микроорганизмов	Численность, м-о/г почвы	Варианты опыта		
		контроль, аэробные условия	контроль, с чередованием анаэробных и аэробных условий	добавление Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , с чередованием анаэробных и аэробных условий
Бактерии, ассимилирующие минеральный азот	$\times 10^{-6}$	7,85±1,18	6,89±1,14	2,64±0,38
Олигонитрофилы	$\times 10^{-6}$	9,65±1,71	9,81±1,22	5,04±0,39
Аммонификаторы	$\times 10^{-6}$	10,87±1,82	4,20±0,81	3,53±1,10
Микромицеты	$\times 10^{-3}$	18,91±2,08	1,65±0,97	211,43±15,56
Сумма	$\times 10^{-6}$	28,39±4,71	20,90±3,18	11,42±1,89

Железосодержащие наночастицы, в частности магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), обладающий выраженными окислительно-восстановительными свойствами, могут быть успешно использованы в качестве активного компонента при нанобиоремедиации загрязненных почв.

Исследования финансировались Правительством Республики Молдова, Министерством образования и науки в рамках исследовательской подпрограммы 020101 «InBioS – Innovative biotechnological solutions for agriculture, medicine and environment».



### Библиографический список

1. Jayaraj R., Megha P., Sreedev P. Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. DOI: 10.1515/intox-2016-0012 // *Interdiscip Toxicol.* 2016. Vol. 9. No. 3–4. P. 90–100.
2. Lallas P. L. The Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. DOI: 10.2307/2668517 // *The American Journal of International Law.* 2001. Vol. 95. No. 3. P. 692–708.
3. Focşa V., Bruma M., Popritac R. Managementul deşeurilor şi substanţelor chimice // *Anuarul IPM – 2019 Protecţia mediului în Republica Moldova.* Chişinău : Pontos, 2020. P. 98–156.
4. Ghadiri H., Rose C. W., Connell D. W. Degradation of organochlorine pesticides in soils under controlled environment and outdoor conditions. DOI: 10.1016/S0301-4797(95)90123-X // *Journal of Environmental Management.* 1995. Vol. 43. No. 2. P. 141–151.
5. Тарасова Е. Ю., Коростелева В. П., Пономарев В. Я. Применение нанотехнологий в сельском хозяйстве // *Вестник Казанского технологического университета.* 2012. № 21. С. 121–122.
6. Nanobioremediation of soils contaminated by persistent organic pollutants / S. Corcimar, A. Tănase, V. Cozma et al. // *Life sciences in the dialogue of generations: connections between universities, academia and business community.* Chişinău, 2019. P. 131–132.
7. Toxicological Profile for DDT, DDE, and DDD. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US), 2022. 510 p.

## ГЕНОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВ г. РОСТОВА-НА-ДОНУ

*И. А. Загребина, К. В. Жданов, К. А. Коркишко, Т. Н. Ажогина*  
*Южный федеральный университет, izagrebina@sfned.ru*

В статье представлен материал по оценке генотоксичности почв г. Ростова-на-Дону, определенной при помощи lux-биосенсоров *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux) и *E. coli* MG1655 (pRecA-lux). Было изучено 18 проб почв г. Ростова-на-Дону. Установлено, что в 5 из 18 проб (27,8%) обнаружен средний токсический эффект.

Ключевые слова: генотоксичность, биотестирование, lux-биосенсоры, экомониторинг, почва.

Ростов-на-Дону – крупнейший город на юго-западе России, административный центр Южного федерального округа и Ростовской области. Развитие промышленности, урбанизация, сопровождающиеся ростом населения, обуславливают значительные экологические проблемы: загрязнение атмосферного воздуха, воды и почвы, неэффективную утилизацию отходов производства, нехватку зеленого фонда в крупных городах и другие [1].

Для оценки степени негативных изменений в окружающей среде и своевременного реагирования осуществляют экологический мониторинг. Изучение и контроль состояния окружающей среды предполагают исследования атмосферного воздуха, воды, почвы с целью определения в них поллютантов, нарушающих экологическое равновесие в почве [2].



В настоящий момент существует множество современных методов оценки загрязнения окружающей среды. Одним из наиболее перспективных методов мониторинга окружающей среды является анализ с использованием цельноклеточных бактериальных lux-биосенсоров. Применение биолюминесцентных тестов позволяет проводить первичный скрининг больших массивов природных образцов с целью выявления групп для последующего химического анализа, являющегося классическим методом оценки токсичности почв. При этом исследования, в которых применяют методы химических анализов, трудоемки, занимают много времени, ограничены лабораторными условиями, что существенно влияет на стоимость их реализации [3, 4].

В связи с этим целью данной работы являлась оценка генотоксичности почв г. Ростов-на-Дону.

Для исследования были отобраны 18 проб на территории г. Ростова-на-Дону: 6 проб были взяты на территории парков, 6 – у магистралей и 6 – с территории производственных предприятий.

Для оценки токсичности почв были использованы lux-биосенсоры *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux) и *E. coli* MG1655 (pRecA-lux). Мерой токсичности служил фактор индукции (I), рассчитываемый как отношение биолюминесценции опытной пробы к биолюминесценции контрольной пробы. При достоверном отличии опыта от контроля  $I < 2$ , обнаруженный токсический эффект оценивали как «слабый». При  $2 \leq I \leq 10$  – как «средний». При  $I > 10$  – как «сильный».

Результаты исследования с использованием штамма *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux) показали, что все исследованные образцы почв обладают средним токсическим эффектом. Максимальная степень токсичности зарегистрирована в почве, отобранной на пересечении ул. Малиновского и пр. Стачки  $6,14 \pm 0,02$ . Также установлен максимальный фактор индукции в группе проб, отобранных с территорий производственных предприятий (на территории Ростсельмаш  $I = 5,35 \pm 0,18$ ). Максимальный фактор индукции проб почв парковой зоны выявлен в парке Авиаторов, он составляет  $5,96 \pm 0,09$ .

Максимальный генотоксический эффект, определенный с помощью биолюминесцентного штамма *E. coli* MG1655 (pRecA-lux), был зарегистрирован в пробе почв из парка Сказка –  $2,23 \pm 0,58$ . При исследовании проб дорожной инфраструктуры максимальный фактор индукции обнаружен в пробе, отобранной у Площади Советской конституции с показателем равным  $2,07 \pm 0,02$ . В группе проб, отобранных с территорий производственных предприятий, максимальным фактором индукции обладает проба почвы, отобранная у ПАО «Ростсельмаш»  $1,94 \pm 0,10$ , что соответствует слабому токсическому эффекту.

Таким образом, при изучении 18 проб почв наиболее загрязненными оказались пробы, отобранные у парка Дружба и у площади Советской конституции на ул. Нагибина. Установлено, что в 5 из 18 проб (27,8%) обнаружен средний токсический эффект при использовании обоих биосенсоров. Наиболее высокие показатели токсичности выявлены у проб почв дорожной

инфраструктуры. Полученные данные свидетельствуют о необходимости дальнейшего мониторинга.

*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. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2008 году». Ростов н/Д, 2008. 355 с.
2. Аналитические методы экологического мониторинга : учебное пособие / Е. В. Сотникова, Н. Ю. Калпина, Е. В. Ряховская, Б. В. Смирин М. : МТГУ «МАМИ», 2011. 120 с.
3. Применение батареи бактериальных цельноклеточных lux-биосенсоров в экотоксикологическом анализе / М. А. Сазыкина, И. С. Сазыкин, Е. М. Кудеевская и др. // VII Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 100-летию кафедры генетики СПбГУ и ассоциированные симпозиумы. СПб., 2019. С. 497.
4. Мониторинг загрязнения экосистем Ростовской области методом биотестирования / М. А. Сазыкина, Ш. К. Карчава, М. В. Журавлева и др. // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : материалы междунар. науч. конф. (г. Киров, 16–18 апреля 2019 г.). Киров : ВятГУ, 2019. С. 267.

### **ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ОРГАНОГЛИНЫ НА ОСНОВЕ КОКОИМИНОДИПРОПИОНАТА НАТРИЯ НА КРЕСС-САЛАТ**

*М. М. Герцен, В. А. Мещерякова, А. А. Гусейнова,  
Ю. В. Каледин, Л. В. Переломов*

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

Методом биотестирования проведено исследование токсичности органоглин на основе бентонита и амфотерного ПАВ — кокоиминодипропионата натрия, установлено их положительное влияние на параметры роста тест-культуры – кресс-салата: всхожесть составила от  $95,4 \pm 2,0\%$  до  $111,5 \pm 1,0\%$ , энергия прорастания –  $103,3 \pm 1,0\%$  до  $110,0 \pm 1,0\%$  по сравнению с бентонитом.

Ключевые слова: органоглины, бентонит, кокоиминодипропионат натрия, тяжелые металлы, модифицированные глины.

Глинистые минералы представляют собой удобную основу для создания сорбционных материалов, способных адсорбировать различные органические и неорганические вещества, включая тяжелые металлы [1]. Модификация таких глинистых минералов с использованием ПАВ позволяет повысить их эффективность, что открывает новые возможности для применения в экологически чистых технологиях.

Были проведены фитотесты с использованием кресс-салата, которые позволяют оценить влияние исследуемых материалов на сельскохозяйственные культуры, включая параметры всхожести и биомассу проростков [2]. Для синтеза органоглин использовали моноионную форму бентонита Саригюхского месторождения (Армения) (BentoGroupMinerals) и амфотерный ПАВ (ГК ЕТС): кокоиминодипропионат натрия [3].

Для изучения фитотоксичности разработанной органоглины на сельскохозяйственные растения был заложен фитотест с биоиндикатором – кресс-салатом (*Lepidium sativum* L.) в 3-х кратной повторности. Органоглины в количестве 10 г помещали в чашки Петри, и проводили высев кресс-салата по 20 семян на чашку. Растения выращивали в течение недели при комнатной температуре ( $25 \pm 2$  °С), поддержании влажности на уровне  $60 \pm 2\%$  путем добавления дистиллированной воды и освещении фотолампой (цикл свет-темнота 16/8 ч, ФФП – 35 мкмоль/с, 660 нм, 24В). Через 72 ч проводили учёт проросших семян для определения энергии прорастания по ГОСТ 10968-88. По истечению 7 суток с момента посева измеряли всхожесть, длину корней и стеблей, суммарную фитомассу тест-культуры согласно ГОСТ 12038-84 [4].

Эксперимент проводился в следующих вариациях: вода; контроль (бентонит); раствор  $Pb(NO_3)_2$ ; бентонит + Pb (II); бентонит, модифицированный кокоиминодипропионатом натрия; бентонит, модифицированный кокоиминодипропионатом натрия + Pb(II).

Результаты представлены на рисунке 1.

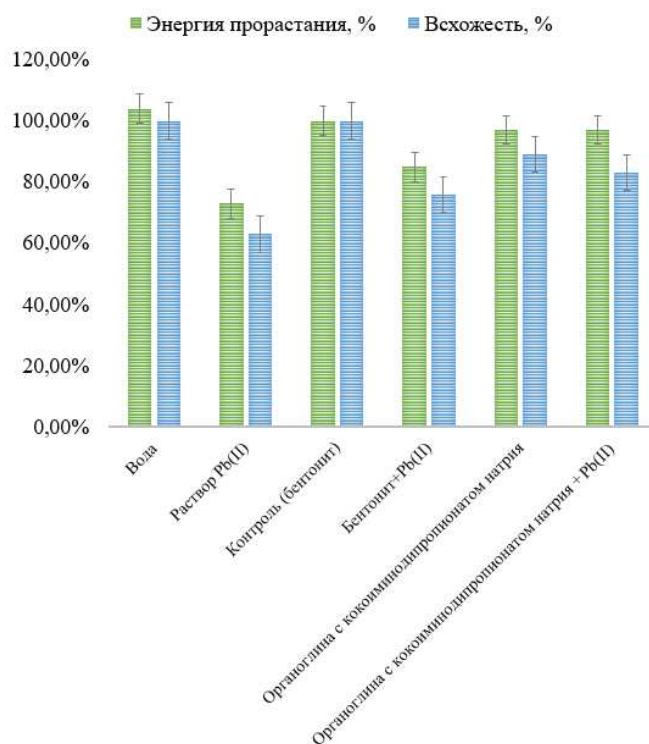


Рис. 1. Влияние органоглин и продуктов их взаимодействия с  $Pb^{2+}$  на посевные качества семян кресс-салата

Установлено, что по сравнению с контролем (бентонит) органоглина не оказывала ингибирующего влияния на энергию прорастания проростков кресс-салата: энергия прорастания увеличивалась до  $107,8 \pm 1,0\%$  (рис. 1). Для продуктов взаимодействия органоглины с  $Pb^{2+}$  энергия прорастания увеличивалась от  $103,3 \pm 1,0\%$  до  $110,0 \pm 1,0\%$ . Всхожесть изменялась для органоглины от  $95,4 \pm 2,0\%$  до  $111,5 \pm 1,0\%$ . Для продуктов взаимодействия органоглины с  $Pb^{2+}$  энергия прорастания изменялась от  $95,4 \pm 2,0\%$  до  $114,9 \pm 1,0\%$  для кресс-салата.

По истечению 7 суток с момента посева измеряли длину корней, гипокотила и биомассу проростков. Результаты представлены на рисунке 2.

Изучение морфометрических характеристик тест-объектов показало различное влияние анализируемых сорбентов: для кресс-салата длина корня изменялась от  $1,2 \pm 0,1$  см до  $10,6 \pm 0,5$  см в зависимости от варианта эксперимента; (рис. 3). Длина гипокотила кресс-салата изменяется от  $2,89 \pm 0,06$  см до  $5,98 \pm 0,05$  см.

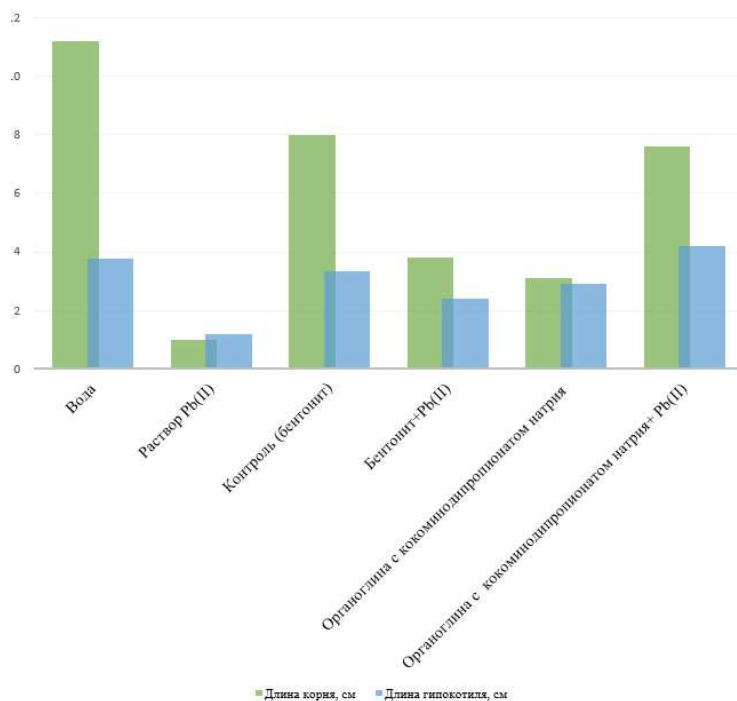


Рис. 2. Влияние органоглины и продукта ее взаимодействия с  $Pb^{2+}$  на морфометрические характеристики семян кресс-салата

Анализ биомассы проростков показал схожую тенденцию влияния внешних сорбентов, что и анализ морфометрических характеристик (рис. 3).

Установлено, что для кресс-салата биомасса проростков изменялась от  $0,16 \pm 0,02$  г до  $2,35 \pm 0,04$  г в зависимости от выбранного варианта.

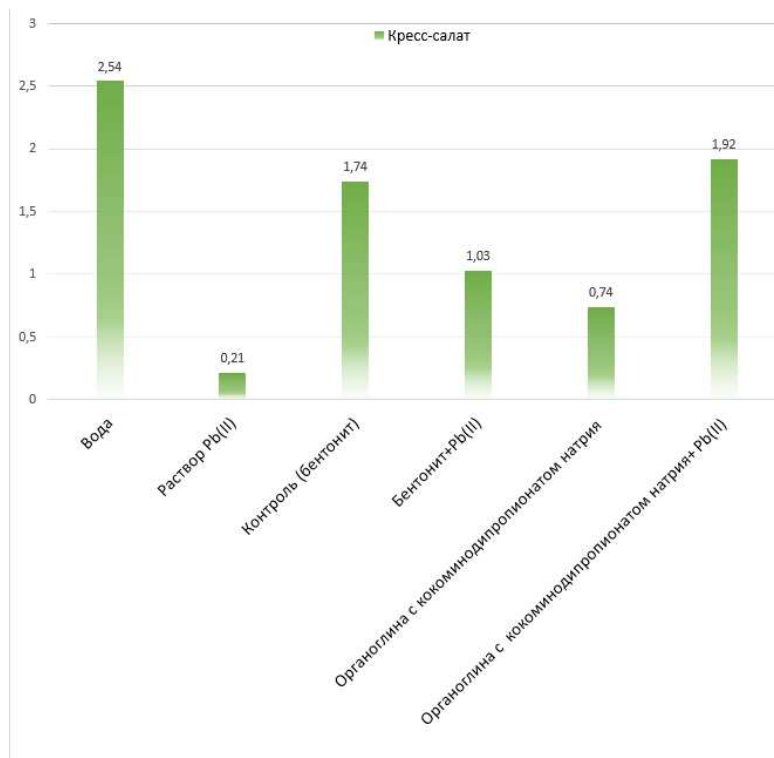


Рис. 3. Влияние органоглины и продукта ее взаимодействия с  $Pb^{2+}$  на биомассу проростков относительно контроля (чистый бентонит)

Проведенное исследование расширяет представления о возможностях и ограничениях использования модифицированных глин как сорбентов. В результате исследования влияния органоглин и их взаимодействия с ионами свинца ( $Pb^{2+}$ ) на биомассу проростков кресс-салата было установлено, что использование модифицированных бентонитов существенно улучшает показатели роста, указывая на их перспективность для применения в экологических проектах при условии внимательного подхода к оценке их воздействия на живые организмы [5].

*Статья подготовлена в рамках государственного задания по теме: «Иммобилизация тяжелых металлов продуктами взаимодействий слоистых силикатов с почвенным органическим веществом и микроорганизмами» (Соглашение на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) № 073-00033-24-01 от 9.02.2024, заключенным с Минпросвещения России).*

#### Библиографический список

1. Murray H. H. Bentonite applications // Developments in Clay Science. 2006. Vol. 2. P. 111–130.
2. Use of surfactants for the remediation of contaminated soils: a review / X. Mao, R. Jiang, W. Xiao, J. Yu // Journal of Hazardous Materials. 2015. Vol. 285. P. 419–435.
3. Removal of lead cations by novel organoclays de-rived from bentonite and amphoteric and nonionic surfactants / M. Gertsen, L. Perelomov, A. Kharkova et al. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.12.009 // Toxics. 2024. Vol. 12. No. 10. Article No. 713.

4. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/12883> (дата обращения: 02.11.2024).

5. Dyes adsorption using clay and modified clay: A review / A. Kausar, M. Iqbal, A. Javed et al. DOI:10.1016/j.molliq.2018.02.034 // Journal of Molecular Liquids. 2018. Vol. 256. P. 395–407.

## **ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ОРГАНОГЛИНЫ НА ОСНОВЕ ЛАУРАМИНОКСИДА НА РЕДИС**

*М. М. Герцен, А. А. Гусейнова, В. А. Мещерякова, Ю. В. Каледин,  
Л. В. Переломов*

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

Методом биотестирования проведено исследование токсичности органоглин на основе бентонита и неионогенного ПАВ — лаураминооксида, установлено их влияние на параметры роста тест-культуры – редиса: всхожесть составила  $93 \pm 3,00\%$ , энергия прорастания –  $96,8\% \pm 2,0\%$  по сравнению с бентонитом.

Ключевые слова: органоглины, токсичность, модификация, глинистые минералы, поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Современные исследования в области природоохранных технологий все чаще обращаются к разработке и синтезу новых композитных материалов, обладающих уникальными сорбционными свойствами [1]. Одним из перспективных направлений является модификация глинистых минералов, таких как бентонит, с использованием органических веществ. Бентонит, благодаря своей высокой катионной обменной способности и слоистой структуре, представляет собой идеальную основу для создания органоглин — композитов, в которых органические молекулы интеркалируются между слоями алюмосиликатов [2].

Для синтеза органоглин использовали моноионную натриевую форму бентонита Саригюхского месторождения (Армения) (BentoGroupMinerals, Moscow, Russia) и неионогенный ПАВ – лаураминоксид [3]. Оценку токсичности синтезированной органоглины проводили согласно схеме (рис. 1).

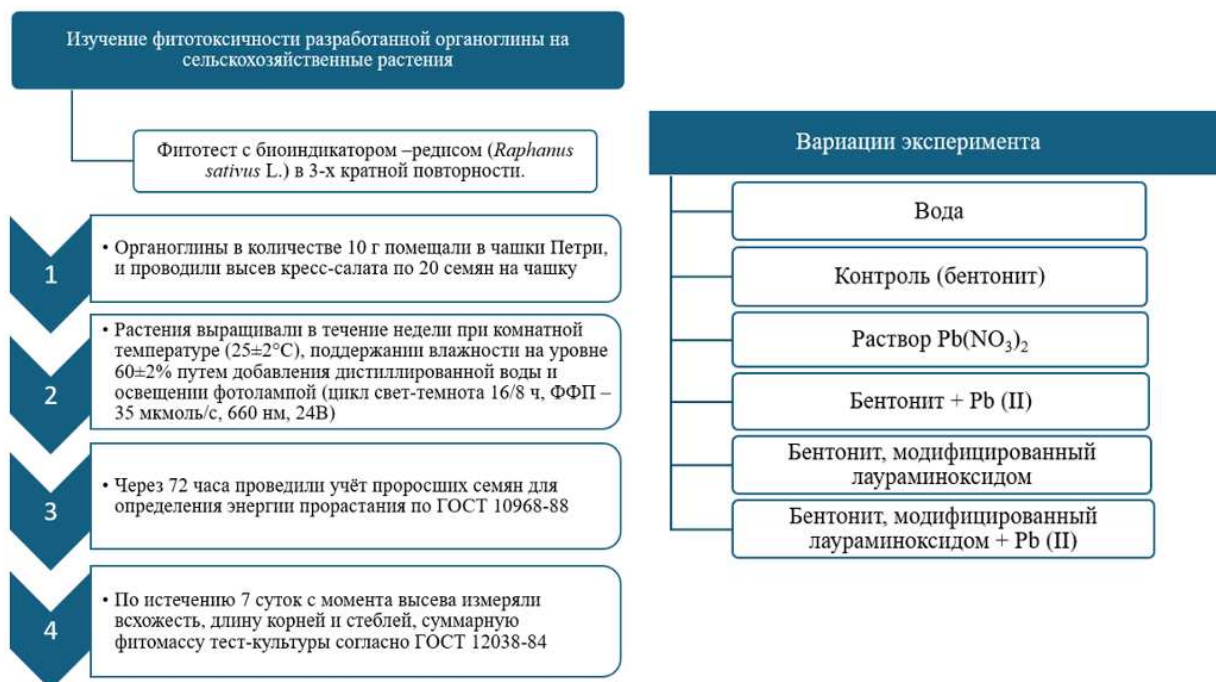


Рис. 1. Схема проведения эксперимента

Результаты представлены на рисунке 2.

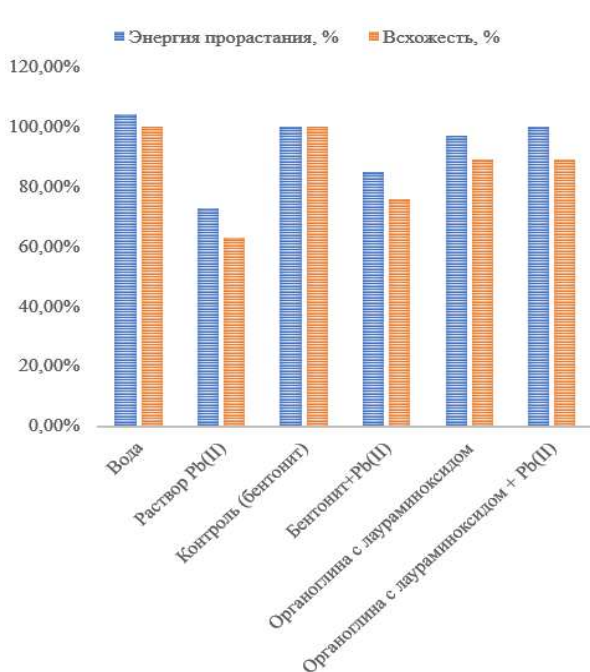


Рис. 2. Влияние органоглины и ее комплекса с  $\text{Pb}^{2+}$  на посевные качества семян редиса относительно контроля (чистый бентонит)

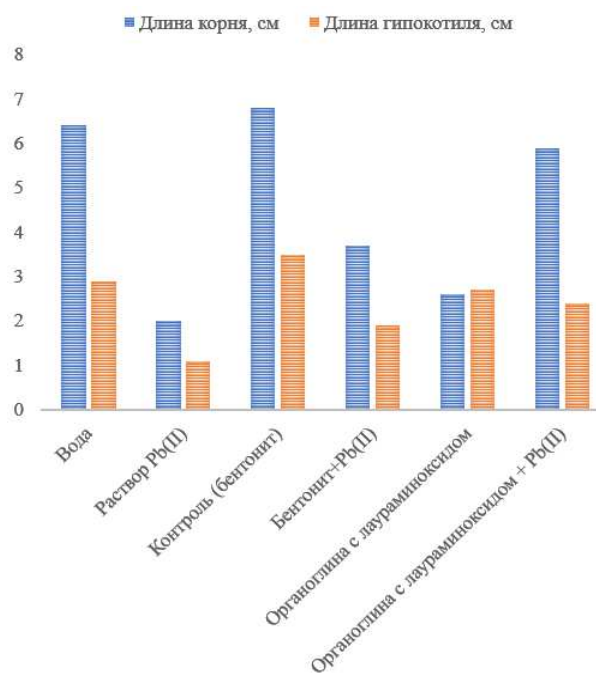


Рис. 3. Влияние органоглин и продуктов их взаимодействия с  $\text{Pb}^{2+}$  на морфометрические характеристики семян редиса относительно контроля (чистый бентонит)

Установлено, что в сравнении с контролем (бентонит) ( $100,0 \pm 3,0\%$ ) органоглина с лаураминоксидом и органоглина с лауроминоксидом и  $\text{Pb}^{2+}$  оказывали незначительное ингибирующее действие на энергию прорастания



проростков редиса: данный параметр уменьшался для органоглины с лаураминоксидом до  $96,8\% \pm 2,0\%$ , для органоглины с лаураминоксидом и  $Pb^{2+}$  до  $99,7\% \pm 1,50\%$ , (рис. 2). Всхожесть по сравнению с контролем ( $100 \pm 2,0\%$ ) уменьшалась для органоглины с лаураминоксидом до  $93 \pm 3,00\%$ , для органоглины с лаураминоксидом и  $Pb^{2+}$  до  $89\% \pm 2,0\%$ .

По истечению 7 суток с момента посева измеряли длину корней, гипокотыля и биомассу проростков. Изучение морфометрических характеристик тест-объектов показало различное влияние анализируемых сорбентов. Результаты представлены на рисунке 3. Уменьшение длины корня редиса по сравнению с контролем ( $6,8 \pm 0,3$  см) наблюдалось для органоглины с лаураминоксидом (до  $2,6 \pm 0,2$  см) и органоглины с лаураминоксидом и  $Pb^{2+}$  (до  $5,9 \pm 0,4$  см); уменьшение длины гипокотыля редиса по сравнению с контролем ( $3,5 \pm 0,1\%$ ) наблюдалось в случае органоглины с лаураминоксидом ( $2,7 \pm 0,2$  см), а также органоглины с лаураминоксидом и  $Pb^{2+}$  (до  $2,4 \pm 0,2$  см).

Анализ биомассы проростков показал схожую тенденцию влияния внешних сорбентов, что и анализ морфометрических характеристик (рис. 4).

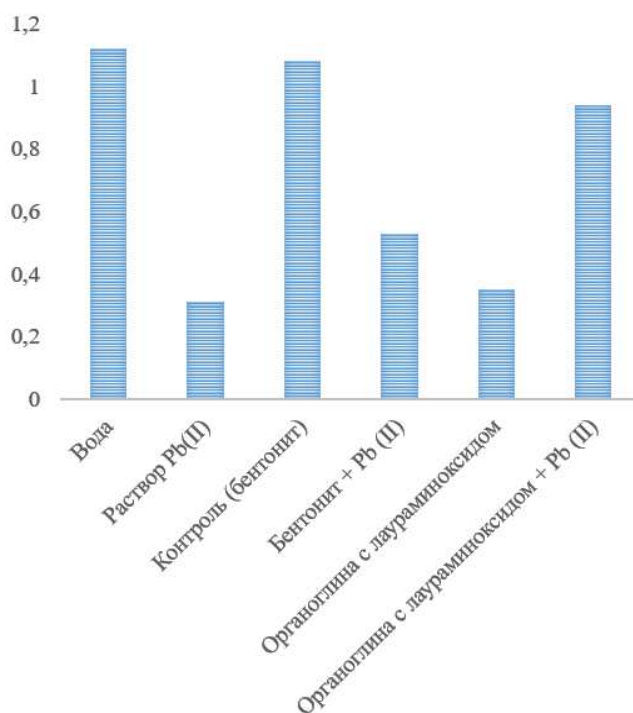


Рис. 4. Влияние органоглин и продуктов их взаимодействия с  $Pb^{2+}$  на биомассу проростков семян редиса относительно контроля (чистый бентонит)

Установлено, что биомасса проростков редиса изменялась от  $0,35 \pm 0,02$  г до  $1,08 \pm 0,02$  г (рис. 4).

Проведенные исследования показали, что органоглины с лаураминоксидом оказывают значительное влияние на морфометрические характеристики и биомассу проростков редиса. Несмотря на негативное воздействие на рост растений в условиях присутствия  $Pb^{2+}$ , использование органоглин может



быть полезным для разработки методов очистки почвы от тяжелых металлов и улучшения качества сельскохозяйственных культур. Дальнейшие исследования для оптимизации применения органоглин в агрономии и экологии могут способствовать повышению устойчивости растений к загрязнениям и улучшению их роста.

*Статья подготовлена в рамках государственного задания по теме: «Иммобилизация тяжелых металлов продуктами взаимодействий слоистых силикатов с почвенным органическим веществом и микроорганизмами» (Соглашение на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) № 073-00033-24-01 от 9.02.2024, заключенным с Минпросвещения России).*

#### **Библиографический список**

1. Clays and clay minerals for pollution control / G. D. Yuan, B. K. G. Theng, G. J. Churchman, W. P. Gates. DOI:10.1016/B978-0-08-098259-5.00021-4 // Developments in Clay Science. 2013. Vol. 5. P. 587–644.
2. Organoclays based on bentonite and various types of surfactants as heavy metal remediants / L. Perelomov, M. Gertsen, M. Burachevskaya, S. Hemalatha et al. DOI:10.3390/su16114804 // Sustainability. 2024. Vol. 16. No. 11. Article No. 4804.
3. Removal of lead cations by novel organoclays de-rived from bentonite and amphoteric and nonionic surfactants / M. Gertsen, L. Perelomov, A. Kharkova et al. DOI: 10.3390/toxics12100713 // Toxics. 2024. Vol. 12. No. 10. Article No. 713.

## **ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ**

*Э. Х. Сакаева, Д. Р. Юдина, М. П. Шабалина*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
elya2182@mail.ru*

В статье приведены результаты исследований биологической активности дерново-подзолистых супесчаных почв, загрязненных нефтяными углеводородами. Установлена зависимость развития основных групп микроорганизмов: сапрофитные бактерии, углеводородокисляющие микроорганизмы, актиномицеты от концентрации нефтяных углеводородов в почве.

Ключевые слова: нефть, нефтепродукты, почва, микроорганизмы, бактерии.

В настоящее время по данным Росстата наблюдается общий тренд роста объемов добычи нефти с газовым конденсатом в России (рис. 1). В результате этого нефтяные углеводороды попадают в окружающую среду, вызывая изменение физико-химических и микробиологических характеристик почвы, что приводит к ее деградации и замедляет процессы естественного самоочищения. Нефть обладает токсичными свойствами, и ее попадание в почву и во-

доемы подавляет важнейшие жизненные процессы, нарушая санитарно-гигиеническое состояние окружающей среды [1, 2].

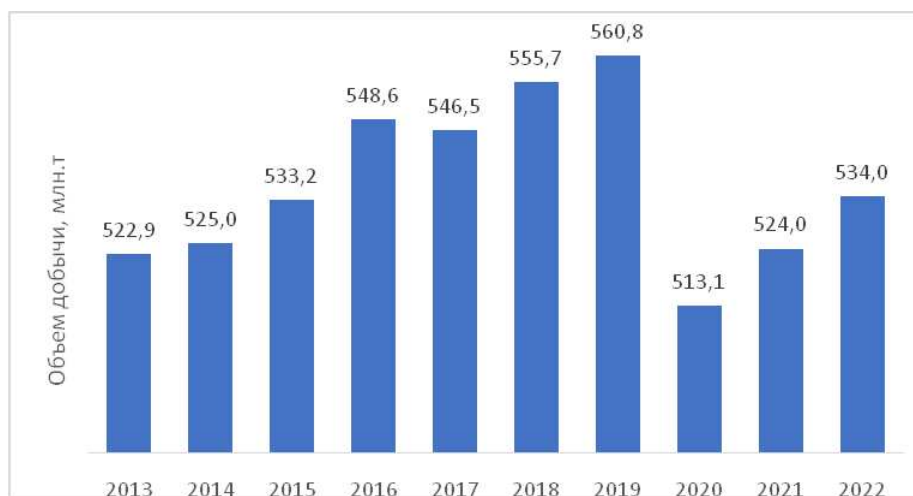


Рис. 1. Динамика добычи нефти с газовым конденсатом в Российской Федерации [3]

По анализу существующих исследований есть данные, что нефтепродукты активируют деятельность различных микроорганизмов, включая бактерии, грибы и дрожжи, а также углеводородокисляющие, спорообразующие, азотфиксирующие, аммонифицирующие и денитрифицирующие микроорганизмы. В то же время они ингибируют функции нитрифицирующих и целлюлозоразлагающих организмов. Воздействие нефти на актиномицеты может проявляться как в форме стимулирования, так и в виде ингибирования их активности.

Цель настоящей работы – изучить влияние углеводородов нефти на микробный состав дерново-подзолистых супесчаных почв.

Для изучения влияния углеводородов нефти на биологическую активность почв, в частности, на различные группы микроорганизмов, была использована дерново-подзолистая супесчаная почва. В качестве поллютанта была использована нефть плотностью при 20 °С – 0,72 г/см<sup>3</sup>, которую добавляли к почве в концентрациях 5; 15 и 50 г/кг. Контрольным образцом была дерново-подзолистая супесчаная почва без загрязнения.

Для определения влияния нефтепродуктов на микробный состав почв были выбраны следующие группы микроорганизмов: сапрофиты, углеводородокисляющие микроорганизмы (УВОМ), актиномицеты.

Определение количественного состава определяли путем посева почвенной болтушки на элективные среды: мясопептонный агар (МПА), среду Таусона, крахмалоаммиачный агар (КАА).

На рисунке 2 представлены результаты экспериментальных исследований по изучению микробного состава нефтезагрязненных почв.

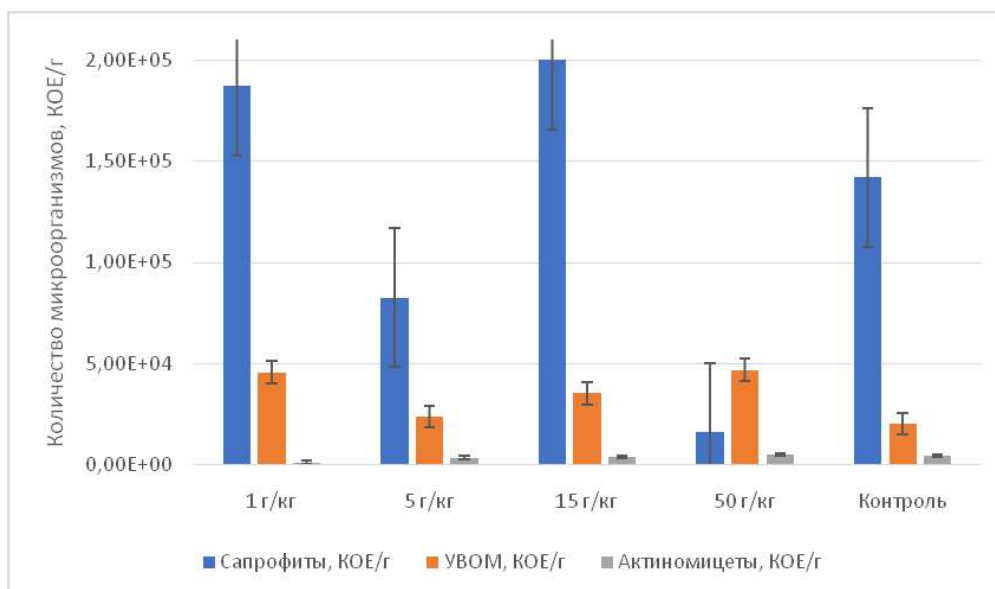


Рис. 2. Микробный состав опытных образцов почв

По результатам экспериментальных исследований установлено, что численность сапрофитов варьируется в зависимости от уровня загрязнения. Наибольшее значение наблюдалось при концентрации нефти 1 и 15 г/кг. Данное явление свидетельствует о том, что данная группа микроорганизмов использует нефтепродукты как дополнительный источник питательных веществ. При дальнейшем увеличении концентрации нефти происходит снижение количества данных микроорганизмов. Уменьшение количества микроорганизмов связано с токсическим эффектом тяжелой фракции нефти на данную группу микроорганизмов.

При изучении влияния нефтепродуктов на углеводородокисляющие микроорганизмы выявлено, что при увеличении концентрации наблюдается увеличение УВOM. Рост УВOM связан с увеличением содержания нефтепродуктов, т. к. данная группа использует углеводороды нефти в качестве источника питания.

По результатам исследований влияния ксенобиотиков на актиномицеты выявлено, что при увеличении нефтепродуктов до 50 г/кг наблюдается рост актиномицетов, что объясняется поступлением питательных веществ, необходимых для развития данной группы.

Результаты проведенных исследований подчеркивают сложные взаимодействия между различными группами микроорганизмов и нефтепродуктами. С одной стороны, сапрофитные микроорганизмы демонстрируют способность к использованию нефтепродуктов как источника питания при низких концентрациях, но их численность значительно снижается при высоком уровне загрязнения из-за токсического воздействия. С другой стороны, углеводородокисляющие микроорганизмы и актиномицеты проявляют активный рост в условиях повышенной концентрации углеводородов, что может иметь важное значение для процессов биоремедиации.

### **Библиографический список**

1. Донерьян Л. Г., Водянова М. А., Тарасова Ж. Е. Микроскопические почвенные грибы – организмы-биоиндикаторы нефтезагрязненных почв // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95, № 9. С. 891–894.
2. Афанасьев Р. А., Мерзлая Г. Е. Пригодность почв, загрязненных нефтью, для сельскохозяйственного использования // Плодородие. 2006. № 3. С. 33–34.
3. Добыча нефти сырой, включая газовый конденсат природный // Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 01.11.2024).

## **ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПЕСЧАНЫХ ПУСТЫННЫХ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНЫЙ УРТАБУЛАК (УЗБЕКИСТАН)**

*М. Ф. Дорохова, А. Д. Шайдурова, А. В. Якушев*

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
dorochova@mail.ru*

На территории крупнейшего нефтегазового месторождения Узбекистана Северный Уртабулак впервые проведены эколого-географические исследования и изучена биологическая активность почв и техногенных поверхностных образований. В результате механического нарушения почв и загрязнения их нефтью и промышленными сточными водами в почвенном покрове появляются техногенные поверхностные образования (ТПО) и антропогенно преобразованные почвы. В сфере влияния технических объектов (нефтяных амбаров, аварийных скважин, установки подготовки нефти) в почвах и ТПО наблюдаются высокие и очень высокие уровни содержания битуминозных веществ и разные уровни засоления. Изменение физико-химических свойств почв вызывает изменение их биологической активности – соотношения основных групп гетеротрофных микроорганизмов, состава и количественных характеристик микрофауны (что показано на примере нематод). Характер трансформации микробиоты отражает направленность техногенного изменения свойств песчаных пустынных почв, полученные данные могут быть использованы для диагностики их состояния и разработки методов рекультивации аридных почв.

Ключевые слова: нефть, водорастворимые соли, почвы, почвенные микроорганизмы, нематоды.

Исследования проведены на территории крупнейшего нефтегазового месторождения Узбекистана Северный Уртабулак, которое эксплуатируется с 1973 года. Месторождение расположено в южной части пустыни Кызылкумы (пески Сундукли). Несмотря на неослабевающий интерес во всем мире к проблемам охраны и восстановления ландшафтов, подверженных воздействию нефтегазового производства, до настоящего времени на территории место-

рождения Северный Уртабулак эколого-географических исследований не проводилось. Представления о влиянии добычи нефти на аридные почвы (в том числе на их биологическую активность) были получены, в основном, в ходе исследований на Апшеронском полуострове с преобладающими серо-коричневыми почвами [1–3]. Сведения о влиянии нефтедобычи на песчаные пустынные почвы, занимающие большие площади, фрагментарны.

Это определяет актуальность выполненного исследования и научную новизну полученных результатов.

Целью исследования было изучение физико-химических свойств песчаных пустынных почв и их биологической активности в районе нефтепромысла.

Месторождение Северный Уртабулак расположено в пределах Среднеазиатской пустынно-равнинной физико-географической страны, в зоне субтропических средиземноморских песчаных пустынь Туранской низменности [4]. В почвенном покрове преобладают песчаные пустынные почвы. Они не засолены, в составе водорастворимых солей преобладают сульфаты натрия и кальция, по всему профилю почвы имеют слабощелочную реакцию. Объектами исследования были ненарушенные пустынные песчаные почвы, техногенные поверхностные образования (ТПО) и пустынные песчаные почвы, загрязненные сырой нефтью, сточными водами и аварийными сбросами от установки подготовки нефти (УПН) на территории нефтегазового месторождения.

Определение типа битумоида и общей концентрации нефтепродуктов в почвах и ТПО выполнено с помощью модифицированного люминесцентно-битуминологического анализа [5] в Лаборатории углеродистых веществ биосферы МГУ. Щелочно-кислотные свойства определены потенциметрическим методом, электропроводность – кондуктометрическим методом, состав ионов водной вытяжки – общепринятыми в почвенно-геохимических исследованиях методами [6], элементный состав проб почв и ТПО – с помощью рентгено-флуоресцентного анализа (РФА) в Эколого-геохимическом научно-образовательном центре МГУ.

Для изучения биологической активности применялся метод стекол обрастания по Росси – Холодному. Предметные стёкла ( $n = 6-7$ ) закладывались в почвенные микрокосмы (чашки Петри) с образцами почвенных проб и инкубировались при  $t = 23-25$  °C и влажности 60% от полной влагоемкости [7]. Для микроскопии стекол обрастания использовался флуоресцентный микроскоп «Биомед 6 люм». Для лучшего выявления микроорганизмов было применено окрашивание стекол обрастания флуоресцентным красителем SYBR Green I. Для каждого стекла обрастания делалась серия микрофотографий. Для получения количественных характеристик биологической активности почв и ТПО были выбраны почвенные нематоды, так как они весьма чувствительны к нефтяному загрязнению и методика их подсчета на стеклах обрастания достаточно простая. Нематоды (количество особей/см<sup>2</sup>) подсчитывались при микроскопировании стекол обрастания в проходящем свете (для каждой пробы повторность счета 6–7).

На загрязненных участках преобладают химически преобразованные почвы – хемо-песчаные пустынные почвы и хемоземы с горизонтами накопления битуминозных веществ и легкорастворимых солей.

В загрязненных сырой нефтью и промышленными водами с нефтепродуктами почвах и ТПО на территории месторождения отмечены очень высокие и высокие уровни содержания битуминозных веществ (за исключением р. 5) – таблица. Преобладают нефтепродукты с большим содержанием смолистых компонентов различной степени окисления, что свидетельствует о давнем загрязнении.

Во всех изученных объектах битуминизация сочетается с засолением: для района исследования характерно появление в почвенном покрове солончаковых видов почв с максимумом содержания солей в верхнем горизонте. При этом уровни засоления сильно различаются – от очень высокого (> 1% солей, р. 4) до среднего (0,2–0,4% солей, р. 2, 3) и низкого (< 0,2% солей, р. 5). В составе водорастворимых солей возрастает доля ионов натрия и хлора, что обусловлено ионным составом нефтяных и промышленных сточных вод. С этими водами поступают и некоторые микроэлементы, из них Sr, Zn накапливаются в сильно засоленных почвах и ТПО: их валовые содержания превышают фоновые значения в незагрязненных песчаных пустынных почвах в 1,7 (р. 4) – 3,9 (р. 1) раза для Zn и в 2,2 (р. 4) – 2,6 (р. 1) для Sr.

Таблица

**Содержание нефтепродуктов и типы битумоидов в почвах и техногенных поверхностных образованиях района исследования**

Разрез (р.), №	Наименование объекта	Глубина отбора проб, см	Содержание нефтепродуктов, мг/кг	Тип битумоида*
1	Хемозем битуминозный, в 1 м от нефтяного амбара	18–20	234800	3
2	Хемо-песчаная пустынная битуминозная солончаковая почва, в сфере влияния УПН	5–11	18100	3
		12–36	315	2
3	Хемозем битуминозный солончаковый, в сфере влияния УПН	0–5	71400	3
		5–16	23200	2
		26–44	2025	2
4	Абралит битуминозный солончаковый, в сфере влияния УПН	0–50	99000	3
5	Хемо-песчаная пустынная солончаковая почва, краевой участок аварийного сброса нефти	0–12	520	2
		13–23	1001	3
		24–44	60	2
6	Песчаная пустынная почва (фон, 9 км от месторождения)	0–88	50	1

*Примечание:* \*типы битумоида: 1 – легкие нефтепродукты с незначительным содержанием смолистых компонентов; 2 – нефтепродукты типа масел различной степени окисления; 3 – нефтепродукты с большим содержанием смолистых компонентов различной степени окисления.

Трансформация почв и уничтожение растительности в районе нефтепромысла приводит к изменению комплекса почвенных микроорганизмов и нематод. Резко сокращается количество гидролитических микроорганизмов, разлагающих растительные остатки – в условиях лабораторных почвенных микрокосмов при оптимальной температуре и влажности микроскопические грибы и актиномицеты обнаруживаются на стеклах обростания в пробах только с фоновой или низкой концентрацией нефтепродуктов (не более 2 г/кг). При этом возрастает обилие бактерий (основных агентов деструкции нефти в изученных почвах) на стеклах обростания, а при низких и умеренных концентрациях нефтепродуктов в почве (до 5 г/кг) – возрастает также количество нематод (рис.), что отмечалось ранее [8, 9]. Изменяется состав их трофических групп: растительоядные нематоды (в том числе *Ephippiodera turcomanica*) в фоновой почве сменяются при загрязнении почв и ТПО нефтью на бактериоядные из родов *Cephalobus* и *Acrobeles* (устное сообщение К. О. Бутенко) в связи с увеличением количества их пищи – бактерий [10, 11].

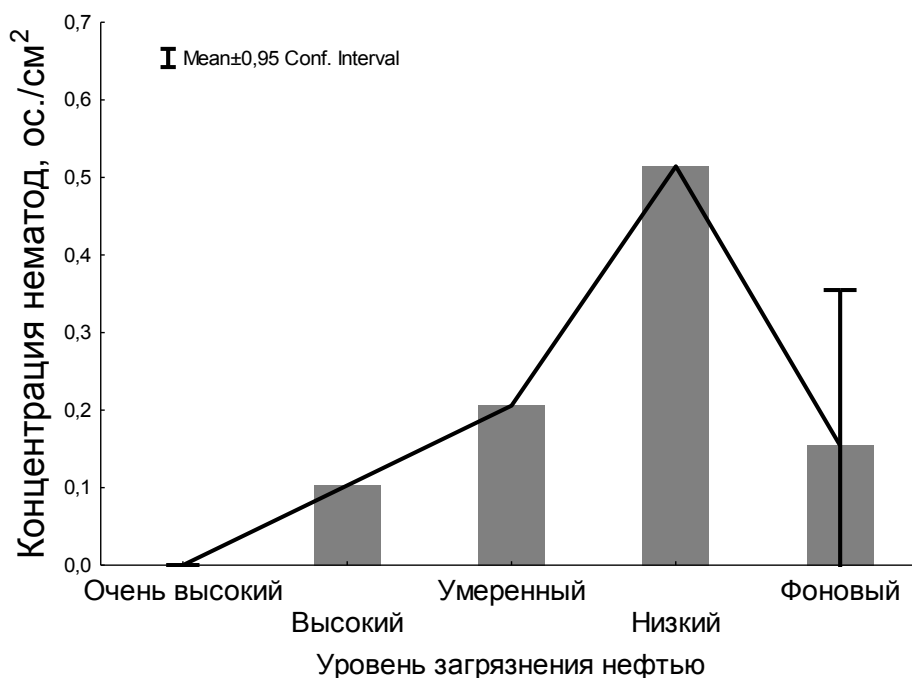


Рис. Концентрация нематод на стеклах обростания при разном содержании нефти в почве

Перестройка комплекса почвенных гетеротрофных микроорганизмов и обитающих в почвах нематод отражает основную направленность трансформации почв в районе нефтепромысла – механическое нарушение и битуминизацию. Наряду с почвенно-геохимическими показателями данные о биологической активности почв могут быть использованы для диагностики состояния трансформированных аридных почв в районах нефтепромыслов и при разработке методов их рекультивации.

*Геохимические исследования выполнены в рамках темы государственного задания «Антропогенная геохимическая трансформация компонентов*

ландшафтов». *Микробиологические и зоологические исследования выполнены в рамках темы государственного задания №121040800174-6 «Почвенные микробиомы: геномное разнообразие, функциональная активность, география и биотехнологический потенциал».*

#### **Библиографический список**

1. Глазовская М. А., Пиковский Ю. И., Коронцевич Т. И. Комплексное районирование территорий СССР по типам возможных изменений природной среды при нефтедобыче // Вопросы географии. Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана среды. М. : Мысль, 1983. Т. 120. С. 84–108.
2. Изучение нефтяных углеводородов в почвенном покрове Балаханинского участка Апшеронского полуострова / С. Р. Гаджиева, З. Т. Велиева, Т. И. Алиева, Р. Я. Мамедов // Молодой ученый. 2016. № 23. С. 173–177.
3. Пиковский Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М. : Изд-во МГУ, 2018. 207 с.
4. Гвоздецкий Н. А., Михайлов Н. И. Физическая география СССР. Ч. 2. Азиатская часть. М. : Высшая школа, 1987. 448 с.
5. Флоровская В. Н., Пиковский Ю. И., Грачева Н. С. Люминесцентно-битуминологические методы диагностики органических веществ в природной среде и техногенных потоках // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М. : Наука, 1981.
6. Воробьева Л. А. Теория и практика химического анализа почв. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.
7. Якушев А. В., Грачева Т. А. Почвенная альгология : учебное пособие к курсу лекций и практическим занятиям «Почвенные водоросли». М. : Дашков и К°, 2022. 135 с.
8. Yeates G. W. Soil nematodes in terrestrial ecosystems // The Journal of Nematology. 1979. Vol. 11. No. 3. P. 213–229.
9. Oil degradation and variation of microbial communities in contaminated soils induced by different bacterivorous nematodes species / J. Zhou, X. Xu, G. Huang et al. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.113079 // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2022. Vol. 229. No. 12. Article No. 113079.
10. Бутенко К. О., Титова С. В., Пунсалпаамуу Г. Нематоды растений и почв Монголии. Улан-Батор : Изд-во LAP Lambert, 2014. 61 с.
11. Канкина В. К., Клишина Г. Н. Растительоядные нематоды заповедника «Тигровая балка» // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2009. Т. 52, №. 12. С. 968–973.



## СЕКЦИЯ 3

# ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### АМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХЕМОЛИТОТРОФНЫХ АЦИДОФИЛЬНЫХ БАКТЕРИЙ *ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS* ВКМ В-3655

*Т. Н. Кувичкина, А. А. Ячкула, М. Б. Вайнштейн, А. Н. Решетилев*  
ФИЦ «Пушчинский научный центр биологических исследований РАН»,  
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов  
имени Г. К. Скрабина РАН, [kuv@ibpm.pushchino.ru](mailto:kuv@ibpm.pushchino.ru)

Впервые предложена лабораторная модель микробного амперометрического биосенсора на основе хемолитотрофных ацидофильных бактерий *A. ferrooxidans* ВКМ В-3655.

Ключевые слова: хемолитотрофный ацидофильный штамм *Acidithiobacillus ferrooxidans*, иммобилизация, кислородный электрод Кларка

*Acidithiobacillus ferrooxidans* — хемолитотрофные бактерии, получающие энергию за счет окисления двухвалентного железа и серных соединений в кислой среде. Эти бактерии вносят важный вклад в биогеохимический цикл окружающей среды и широко применяются для биовыщелачивания металлов и биоремедиации участков, загрязненных металлами. Возрастающие потребности в добыче ценных цветных и редкоземельных металлов обуславливают важность биовыщелачивания металлов из бедных руд. Содержание металлов в бедных рудах мало, но в виду значительных залежей отходов горной промышленности на территориях добычи, их извлечение альтернативными методами (биовыщелачивание) актуально.

Известно, что одним из ключевых микроорганизмов в процессе биовыщелачивания является штамм *A. ferrooxidans*, который обуславливает интенсивное окисление ионов двухвалентного железа в трехвалентное.

Кроме того, одним из перспективных направлений исследований является потенциальное применение *A. ferrooxidans* для переработки использованных элементов питания. Хемолитотрофные ацидофильные штаммы-деструкторы твердого минерального сырья культивируют на жидких минеральных средах [1].

Исследование свойств хемолитотрофных ацидофильных бактерий *A. ferrooxidans* ВКМ В-3655 при помощи биосенсорного амперометрического метода явилось целью работы.

В работе использовали хемолитотрофный ацидофильный штамм *A. ferrooxidans* ВКМ В-3655, любезно предоставленный А. Г. Булаевым (выделен из арсенопиритных руд Казахстан, Бакырчик) [2].

В качестве преобразователя использовался кислородный электрод типа Кларка.

Известно, что применение иммобилизованной биомассы хемолитотрофных ацидофильных клеток значительно увеличивает степень биовыщелачивания. В исследованиях применяли различные типы носителей: активированный уголь, песок, полистирол, полиуретан [3]. В нашей работе клетки *A. ferrooxidans* ВКМ В-3655 также иммобилизовали на носителе (хроматографическая стеклобумага («Whatman GF/A», Великобритания) методом физической абсорбции. Для иммобилизованных клеток реакция биосенсора обусловлена как процессом транспорта субстрата в микробные клетки, так и процессом начального метаболизма субстрата [4]. Например, при введении формиата натрия примерно через 5–10 секунд в клетках культуры-рецептора вырабатывался ответ на введенный субстрат. В ответ на введение субстрата изменялось дыхание микробных клеток, что приводило к изменению концентрации кислорода в измерительном растворе. Регистрируемым параметром являлась максимальная скорость изменения выходного сигнала  $dI/dt$  (нА/с), связанная пропорциональной зависимостью со скоростью изменения концентрации потребленного кислорода (отклик). Максимальную скорость изменения тока электрода рассчитывали, как первую производную изменения тока электрода в ответ на введение субстрата. Измерительную ячейку с микробным электродом промывали для удаления введенного субстрата, затем заполняли измерительную ячейку свежим буферным раствором и проводили следующее измерение. С учетом времени, необходимого для отмывания и стабилизации основного (эндогенного) дыхания культуры-рецептора, в среднем одно измерение занимало около 15 минут при минимальном расходе микробной биомассы (5 мг сырого веса). Это время определяет длительность единичного измерения.

Была выявлена устойчивость хемолитотрофных ацидофильных микроорганизмов к концентрациям солей Ni, Co, Cu, Mg, As в диапазоне 0,5–1,5% [5].

Мы исследовали влияние солей токсичных металлов на дыхательную активность культуры. Показано, что при введении ионов никеля, меди, а также арсената в концентрациях 0,1% сохранялась жизнеспособность культуры, полного ингибирования дыхания не наблюдалось.

Таким образом, лабораторная модель микробного амперометрического биосенсора оказалась подходящим инструментом для исследования свойств биорецептора на основе хемолитотрофных ацидофильных бактерий *A. ferrooxidans* ВКМ В-3655. Регистрировали ответы при введении сульфата железа и формиата натрия. При введении ионов никеля, меди, арсената в концентрациях 0,1% полного ингибирования дыхания не наблюдалось. Время единичного измерения 15 минут.

### Библиографический список

1. Шаихова Д. Р. Перспективы использования *Acidithiobacillus ferrooxidans* в биовыщелачивании металлов из отходов производства. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-90-97 // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 6. С. 90–97.
2. Physiological properties of *Acidithiobacillus ferrooxidans* strains isolated from sulfide ore deposits in Kazakhstan Z. K. Kanaev, A. G. Bulaev, A. T. Kanaev, T. F. Kondrat'eva. DOI: 10.1134/S002621715030091 // Microbiology. 2015. No. 84. P. 370–376.
3. Хайнасова Т. С., Левенец О. О., Трухин Ю. П. Применение иммобилизации микроорганизмов в биовыщелачивании // ГИАБ. 2016. № S31. С. 235–246.
4. Emelyanova E. V. Microbial biosensor for characterization of a microorganism: A review focusing on the biochemical activity of microbial cells. DOI: 10.3390/mi14040733 // Micromachines. 2023. Vol. 14. No. 4. Article No. 733.
5. Хомченкова А. С. Исследование влияния различных концентраций солей тяжелых металлов на рост культуры ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов // ГИАБ. 2016. № S31. С. 217–222.

### ЭПИФИТНАЯ МИКРОБИОТА ЛИСТЬЕВ ИНТРОДУЦИРУЕМЫХ ХВОЙНЫХ И ЛИСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

*Л. И. Домрачева*<sup>1,2</sup>, *А. И. Фокина*<sup>3</sup>, *А. Р. Киреева*<sup>3</sup>, *С. С. Козачок*<sup>3</sup>,  
*А. Л. Ковина*<sup>1</sup>, *Л. В. Трефилова*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Вятский государственный агротехнологический университет,*  
*nm-flora@rambler.ru,*

<sup>2</sup> *ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ecolab2@gmail.com,*

<sup>3</sup> *Вятский государственный университет*

Определена численность двух групп микроорганизмов (бактерий-аммонификаторов и микромицетов) на листьях восьми видов растений – четырех хвойных и четырех лиственных. В каждой группе данных древесных растений три были представителями не местной флоры, которые пытаются интродуцировать в условиях Кировской области и по одному представителю местных хвойных и лиственных пород. Установлено, что максимальная суммарная численность микроорганизмов на листьях характерна для представителей местной флоры и составляет у пихты сибирской 121700 КОЕ/г, а у черемухи обыкновенной 114400 КОЕ/г. У интродуцируемых хвойных этот показатель колеблется от 7800 у псевдотсуги – минимальное значение до 41530 КОЕ/г – максимальное у пихты корейской. Для лиственных интродуцируемых растений колебание численности микроорганизмов не столь значительны от 45000 до 78000 КОЕ/г. Также отмечается разница в структуре микробных популяций у хвойных растений, так во всех вариантах преобладают бактерии достигая максимума 92% у местной пихты сибирской. У разных лиственных растений доминирующими группировками являются и бактерии у катальпы бигнониевидной и гледичии трёхколочковой и грибы – у бобовника альпийского и черемухи обыкновенной.

Предполагается, что основным регулятором численности микроорганизмов на листьях растений является характер выделяемых ими экзометаболитов.

Ключевые слова: эпифитная микробиота, бактерии-аммонификаторы, микромицеты, интродуцируемые растения.

Наземные части растений (стебли, листья, цветы, плоды, семена) являются своеобразной эконишей для различных групп микроорганизмов. Эти микроорганизмы получили название эпифитная микробиота, они обладают рядом особенностей, которые позволяют им выживать в конкретных чаще всего неблагоприятных условиях [1–3]. К таким особенностям относятся избыточная инсоляция, резкие скачки температур, небольшое количество питательных веществ и главное выделение фитонцидов растением хозяином [4, 5].

Поэтому теоретически численность различных групп эпифитных групп микроорганизмов у разных растений различна и тесно связана с условиями метаболизма высшего растения. В сельскохозяйственной практике чаще всего определяют численность эпифитов-микробов на семенах и плодах, так как сохранность собранного урожая определяется тем насколько хорошо провели послеуборочное его высушивание. Как правило, например, показатели численности микроорганизмов на зерновках различных злаков колеблются в пределах  $10^5$ – $10^6$  КОЕ/г и высушивание зерна от 10 до 14% [6].

Гораздо меньше данных о численности эпифитных микроорганизмов на листьях, хотя эта микробиота выполняет роль первичного защитного барьера от фитопатогенов. Вероятно, при интродукции растений адаптация местных микроорганизмов к веществам выделяемым интродуцентами может занимать определенный промежуток времени, поскольку аборигенные воздушные микробы, попадающие на листья могут оказаться слишком чувствительными к эфирным маслам или другим веществам вторичного происхождения, которые выделяют интродуценты.

Цель работы: сравнить численность и структуры эпифитных микробных комплексов различных интродуцируемых и местных растений с одновременным определением ряда биохимических показателей.

Для исследования в стерильные пакеты были отобраны образцы листьев восьми растений, в том числе из хвойных интродуцируемых: псевдотсуга Мензиса (*Pseudotsuga menziesii*) сем. Сосновые (Pinaceae); метасеквойя глиптостробовидная (*Metasequoia glyptostroboides*) сем. Кипарисовые (Cupressaceae); пихта корейская (*Abies koreana*) сем. Сосновые (Pinaceae) и местное – пихта сибирская (*Abies sibirica*) сем. Сосновые (Pinaceae) из листовых интродуцируемых гледичия трёхколочковая (*Gleditsia triacanthos*) сем. Бобовые (Fabaceae); катальпа бигнониевидная (*Catalpa bignonioides*) сем. Бигнониевые (Bignoniaceae); бобовник альпийский (*Laburnum alpinum*) сем. Бобовые (Fabaceae) и местное – черёмуха обыкновенная (*Prunus padus*), сем. Розовые (Rosaceae).

Для количественного учета микроорганизмов использовали метод предельных разведений с последующим посевом на среду ГРМ-агар для аммонификаторов и Чапека – для микромицетов. Определяли концентрацию хлорофилла а, хлорофилла б [7] и полифенолов (стандарт – галловая кислота) [8] методом спектрофотометрии, для определения суммы антиоксидантов использован метод инверсионной вольтамперометрии, где в качестве окислителя использован пероксид водорода (стандарт – галловая кислота), аскорбиновая кислота определена методом кулонометрического титрования [9].

Определение численности эпифитных микроорганизмов на листьях хвойных пород показало очень сильное различие между микробиотой псевдотсуги и другими растениями с минимальными значениями как по численности бактерий, так и по численности микромицетов, суммарное значение которых едва превышает 7000 КОЕ/г (табл. 1).

Таблица 1

**Численность эпифитной микробиоты на листьях различных хвойных растений (КОЕ/г)**

Вариант	Бактерии	Микромицеты	Общее
1. Псевдотсуга Мензиса	4010±800	3070±850	7080±1650
2. Метасеквойя глиптостробовидная	13300±100	7600±100	20900±200
3. Пихта корейская	39300±5000	5230±320	44530±5320
4. Пихта сибирская	112000±6000	9700±200	121700±6200

Общий ряд численности микроорганизмов по возрастающей выглядит с минимальной численностью у псевдотсуги Мензиса, второй по значимости результат у метасеквойи глиптостробовидной, на третьем месте – пихта корейская и максимальное значение оказалось у пихты сибирской. При этом у всех растений доминирующей группой микроорганизмов являются бактерии (табл. 2). Таким образом, для эпифитной МФ и в первую очередь для бактерий максимально комфортные условия существования обнаружены для хвой местной пихты сибирской.

Таблица 2

**Структура эпифитной микробиоты на листьях различных хвойных растений (%)**

Вариант	Бактерии	Микромицеты
1. Псевдотсуга Мензиса	56,6	43,4
2. Метасеквойя глиптостробовидная	63,6	34,4
3. Пихта корейская	88,2	11,8
4. Пихта сибирская	92,0	8,0

Несколько иные результаты получены при количественном учете эпифитной микробиоты на образцах листовенных деревьев. Во-первых, нет такой существенной разницы между интродуцируемыми и местными листовенными как у хвойных (табл. 3).

Таблица 3

**Численность эпифитной микробиоты на листьях  
различных лиственных растений (КОЕ/г)**

Вариант	Бактерии	Микромицеты	Общее
1. Гледичия трёхколючковая	47700±600	30300±1850	78300±2450
2. Катальпа бигнониевидная	44000±1100	17130±6300	61130±7400
3. Бобовник альпийский	21000±600	24150±8900	45250±9500
4. Черёмуха обыкновенная	54300±1200	60600±10400	114900±11600

Второе, у разных лиственных доминантами среди эпифитов выступают как бактерии (гледичия трёхколючковая и катальпа бигнониевидная), так и микромицеты (бобовник альпийский).

При этом по структуре популяций бобовник альпийский ближе всего к местной черёмухе обыкновенной (табл. 4).

Таблица 4

**Структура эпифитной микробиоты на листьях  
различных лиственных растений (%)**

Вариант	Бактерии	Микромицеты
1. Гледичия трёхколючковая	60,9	39,1
2. Катальпа бигнониевидная	72,0	28,0
3. Бобовник альпийский	45,9	54,1
4. Черёмуха обыкновенная	47,2	52,8

Анализ общей численности эпифитной микробиоты хвойных и лиственных выявил одинаковую тенденцию – существенное превышение значений этого показателя у представителей местной флоры пихты сибирской и черёмухи обыкновенной. При этом, не смотря на разницу морфологии листьев пихты и черёмухи, показатели общей численности микробов у этих растений практически одинаковые. Однако имеются существенные структурные различия в доминирующих группировках у пихты сибирской 92% составляют бактерии у черёмухи обыкновенной доля бактерий и микромицетов близка (47,2 и 52,8%). Таким образом, количественный учет микроорганизмов на листьях хвойных и лиственных пород показал, что интродуцируемые растения обладают существенно меньшим пулом микробов эпифитов.

Косвенным подтверждением сильного воздействия выделяемых экзометаболитов растениями интродуцентами является выявление в варианте с псевдотсугой мензиса максимальной концентрации полифенолов, обладающих сильным микробоцидным действием, что и приводит к минимальной численности бактерий и грибов на листьях этого растения (табл. 5).

**Содержание некоторых веществ в образцах листьев растений  
(мг/г в пересчете на сухое вещество)**

Вариант	Аскорбиновая кислота	Полифенолы	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Сумма антиоксидантов
1. Псевдотсуга Мензиса	5,5	73,9	1,5	0,7	514
2. Метасеквойя глиптостробовидная	12,5	29,9	2,0	0,9	327
3. Пихта корейская	9,6	39,5	1,3	0,8	348
4. Пихта сибирская	7,3	35,6	2,8	1,8	364
5. Гледичия трёхколючковая	9,1	54,9	2,1	0,8	548
6. Катальпа бигнониевидная	10,1	71,2	2,1	1,0	485
7. Бобовник альпийский	7,3	17,6	4,8	2,0	245
8. Черёмуха обыкновенная	5,7	14,8	2,7	1,0	316

Примечание: ошибка определения содержания аскорбиновой кислоты, хлорофиллов *a* и *b* не превышает 5%, полифенолов – 25%, антиоксидантов – 4%.

Высокая корреляционная взаимосвязь установлена между содержанием полифенолов и суммой антиоксидантов: хвойных  $R = 0,99$ , для лиственных –  $0,88$ . При этом величины сумм антиоксидантов значительно превышают содержание полифенолов, а в пересчете на кверцетин становится в 2–5 раз меньше, чем на галловую кислоту. Все это указывает на то, что полифенолы изучаемых растений имеют большие, чем у галловой кислоты, молекулярные массы с большей антиоксидантной активностью. Более всего антиоксидантов в образцах псевдотсуги Мензиса, гледичии трёхколючковой и катальпе бигнониевидной. Менее всего полифенолов и суммы антиоксидантов в образцах бобовника альпийского и черемухи. Следует отметить достаточно высокое, по сравнению с другими образцами, содержание хлорофиллов в бобовнике. Содержание хлорофиллов в целом соответствует литературным данным, в том числе по тенденции большего их содержания в лиственных [10]. Установить достоверное различие между величинами содержания веществ в пересчете на сухое вещество между хвойными и лиственными не удалось.

**Библиографический список**

1. Возняковская Ю. М. Микрофлора растений и урожай. Л. : Колос, 1966. 240 с.
2. Галиева Г. Ш., Галицкая П. Ю., Селивановская С. Ю. Растительный микробиом: происхождение, состав и функции // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2023. Т. 165, № 2. С. 231–262.
3. A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application / S. Compant, A. Samad, H. Faist, A. Sessitsch. DOI: 10.1016/j.jare.2019.03.004 // Journal of Advanced Research. 2019. Vol. 19. P. 29–37.
4. Communication in the phytobiome / J. E. Leach, L. R. Triplett, C. T. Argueso, P. Trivedi. DOI: 10.1016/j.cell.2017.04.025 // Cell. 2017. Vol. 169. No. 4. P. 587–596.
5. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants / D. Bulgarelli, K. Schlaeppli, S. Spaepen et al. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050312-120106 // Annual Review of Plant Biology. 2013. Vol. 64. P. 807–838.

6. Влияние способов предпосевной обработки семян лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) на всхожесть и интенсивность образования клубеньков / Л. И. Домрачева, Л. В. Трефилова, А. Л. Ковина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2014-3-067-072 // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 67–72.

7. Шлык А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М. : Наука, 1971. С. 154–171.

8. Определение показателей окислительного стресса в мелиссе лекарственной при действии микромицета *Fusarium culmorum* и его антагонистов / А. И. Фокина, С. Г. Скугорева, Л. В. Трефилова, Л. В. Даровских. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-2-077-083 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 77–83.

9. Фокина А. И., Фоминых Е. Г., Южанин К. И. Электрохимические методы определения аскорбиновой кислоты в биологически активных добавках. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-034-040 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 34–40.

10. Дымова О. В., Головкин Т. К. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таёжной зоны европейского северо-востока России // Физиология растений. 2019. Т. 66, № 3. С. 198–206.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКТИНОМИЦЕТОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕРЕСНЯТСКОГО БОТАНИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

*И. Г. Широких*<sup>1</sup>, *А. А. Широких*<sup>2</sup>, *Л. В. Кондакова*<sup>1</sup>, *Т. Я. Ашихмина*<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, *ecolab2@gmail.com*,  
<sup>2</sup> Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого, *irgenal@mail.ru*

На берегу р. Немда вблизи г. Советска, в границах территории Буржатский утес – Береснятский водопад, определены численность, долевое участие в прокариотном комплексе и таксономический состав актиномицетов рифовых известняков пермского периода; современных почв, формирующихся на выходах карбонатных пород, и ассоциированных с ними растительных субстратов.

Ключевые слова: почвенные бактерии, актинобиота, обнажение, рифовые известняки, пермский период.

Актиномицеты – грамположительные бактерии с высоким содержанием в геноме пар Г+Ц, склонные к формированию ветвящегося мицелия. Актуальность изучения распространения актиномицетов в почвах различных географических областей связана с широким использованием их метаболического потенциала в биотехнологической практике. Актиномицеты находят широкое применение в производстве антибиотиков, противоопухолевых препаратов, биопестицидов, противопаразитарных и противогрибковых препаратов, ферментов. Формирование актинобиоты тесно связано с происхождением и свойствами почв и экосистем в целом.

В Советском районе Кировской области на правом берегу р. Немда расположен уникальный природный комплекс. Необычный скальный ландшафт



сформировался благодаря выходам на поверхность известняков пермского периода, которые являются остатками древних рифовых построек. Около 270–267 млн лет назад территория Предуралья медленно опускалась, затапливаясь при этом морскими водами [1]. Юг нашей области оказался прибрежным мелководьем теплого Казанского моря с благоприятными условиями для развития колониальных морских организмов, образовавших подводные известняковые горы – рифы. Рифовые массивы – результат деятельности большой группы организмов, которые извлекали из морской воды кальций и создавали породу – известняк. Среди этих организмов бактерии, различные одноклеточные, большая группа кишечнополостных, мшанки, брахиоподы, водоросли [2]. В дальнейшем осадочные породы девонской, каменноугольной и пермской систем в результате тектонической деятельности были смяты в короткие пологие складки, известные под названием Вятского Увала и Верхнекамской возвышенности [3]. В разрушенных участках Вятского Увала обнажаются известняки и другие породы пермской системы. Такие образования могут являться объектами разработки известняков, геологическими памятниками природы, объектами научного исследования. Раннепермские рифовые постройки известны во многих регионах планеты: в Китае, средней Азии, на островах Баренцева моря, в Арктической Канаде и США. Однако, при распространении пермской системы по всему миру, геологические разрезы западного склона Урала и востока Русской равнины остаются ее мировыми эталонами [4].

Скальные обнажения на берегах р. Немды сложены массивными органогенными известняками желто-серого цвета. Высота скальных обнажений по берегам достигает 30–40 м, из них открытые выступы – до 20–25 м. Нахождение древних морских палеорифов на дневной поверхности предоставляет уникальную возможность исследовать их во всех деталях и восстановить историю зарождения и отмирания этих грандиозных построек далекого прошлого.

Целью исследования являлась сравнительная характеристика актинобиоты, ассоциированной с рифовыми известняками пермского периода и формирующимися на них современными почвами.

Образцы известняковых пород и почв были отобраны в пределах территории Береснятского ботанико-геологического комплекса, расположенного на территории государственного природного заказника регионального значения «Пижемский» (берег р. Немда вблизи г. Советска), где над рекой на 30 м возвышается Буржатский утес. Вдоль дороги под Буржатским утесом расположена покрытая со стороны реки густым хвойным лесом известняковая скальная стенка, которая представляет собой естественный разрез, идущий перпендикулярно речному берегу. В 500 м от утеса находится Береснятский водопад, общая высота всех ступеней которого составляет 25 м. Уступы каменного желоба водопада образованы очень мягким известняком, содержащим множество остатков и следов жизнедеятельности древних морских организмов.

Для селективного выделения и учета численности актиномицетов образцы исследуемых субстратов были прогреты при 70 °С в течение 4 час. Для характеристики каждого образца использовали по две индивидуальных навески. Посев из десятикратных разведений суспензий субстратов осуществляли на казеин-глицериновый агар (КГА) и среду с пропионатом натрия [5]. Чашки с посевами инкубировали при 28 °С в течение 14 сут. Общую численность прокариот и актиномицетов учитывали на КГА, дифференцированный учет численности представителей разных родов актиномицетов проводили на среде с пропионатом натрия путем прямого микроскопирования колоний на чашках. Статистическая обработка выполнена стандартным методом с использованием программы Microsoft Excel 7.

Заселение актиномицетами образцов известняка, отобранных в разных локусах, варьировало от десятков до сотен тысяч колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 г в.-с. субстрата (табл. 1).

*Таблица 1*

**Плотность заселения актиномицетами почв и сопряженных субстратов вблизи Береснятского водопада (Советский район, Кировская область), сентябрь 2024 г.**

№, образец	Общая численность прокариот, тыс КОЕ/г	Численность актиномицетов, тыс КОЕ/г	Доля актиномицетов в прокариотном комплексе, %
1. Известняк из расщелины (грота)	122,2±8,3	32,8±5,4	26,8
2. Известняк из осыпи у водопада	635,9±21,1	205,3±35,1	32,3
3. Моховая подстилка со ступени водопада	2311,0±273,0	299,8±32,1	12,9
4. Прикорневая почва сосны, 0–3 см	1239,1±133,0	47,5±14,8	3,8
5. Почва светло-коричневая супесчаная, 0–3 см	1182,4±46,4	279,7±11,09	23,6
6. Почва темно-буро-серая, комковатая, 0–3 см	4345,1±144,6	1851,4±157,1	42,6
7. Известняк с водорослевым обрастанием поверхности	1081,8±122,7	37,4±5,8	3,5

Доля актиномицетов в прокариотном комплексе известняковой породы составила 27–32%, что соответствует или чуть превышает величины, характерные для комплексов большинства зональных почв [5]. При этом в образце известняка, покрытого водорослевой пленкой, доля актиномицетов от общего количества вырастающих на КГА бактерий снизилась до 3,5%. Это можно объяснить тем, что актиномицеты, реализующие К-стратегию, не могут конкурировать с быстрорастущими г-стратегами в утилизации трофического ресурса, поставляемого водорослями в виде прижизненных органических выделений. Та же ситуация наблюдалась и в прокариотном сообществе ризосферной почвы, отобранной под сосной. Численность актиномицетов (47,5±14,8 КОЕ/г) и доля в комплексе (3,8%) были значительно ниже, чем в

известняках и сопряженных с ними почвах, свободных от живых растений (23,6–42,6%). Более высокой (12,9%) долей актиномицетов в прокариотном комплексе, в сравнении с другими связанными с растениями субстратами, отличалась моховая подстилка, отобранная на одной из ступеней водопада.

Среди всех изученных образцов максимальной численностью (1851,4±157,1 КОЕ/г) и долей актиномицетов (42,6%) отличалась почва, отобранная между Береснятским водопадом и Буржатским утесом (образец № 6). Почва этого образца имела темную окраску, комковатую структуру и включала, наряду с мелкими вкраплениями известковой породы, хвоинки сосны и фрагменты березовых листьев. Наименьшей численностью актиномицетов (32,8±5,4 КОЕ/г) характеризовался образец известняка из расщелины в известняковой стенке между Береснятским водопадом и Буржатским утесом (образец № 1).

Результаты количественной оценки актинобиоты древних рифовых известняков и сопряженных с ними субстратов дополняют данные по качественному составу мицелиальных прокариот (табл. 2).

Таблица 2

**Родовой состав актиномицетов в почвах и сопряженных субстратах вблизи Береснятского водопада (Советский район, Кировская область), сентябрь 2024 г.**

№ образца	Общая численность, тыс. КОЕ/г	Численность представителей, тыс. КОЕ/г		
		<i>Streptomyces</i>	<i>Micromonospora</i>	группы олигоспоровых
1	65,5±5,86	32,8±2,93	4,6±0,8	28,1±2,0
2	351,1±68,0	291,5±49,3	19,9±1	39,7±10,0
3	1367,3±51,3	520,5±5,8	749,7±56,8	97,1±11,5
4	301,3±56,4	208,8±10,8	19,0±1,08	73,5±49,9
5	469,9±73,5	425,0±73,6	5,3±0,9	39,6±7,9
6	3161,8±139,7	2485,4±50,7	93,1±37,8	583,3±11,62
7	230,2±24,5	230,2±2,45	0	0

Примечание. Описание образцов представлено в таблице 1.

Комплекс актиномицетов, населяющих известковые породы рифовых образований пермского периода и формирующиеся на них почвы, представлен видами родов *Streptomyces*, *Micromonospora* и олигоспоровыми актиномицетами. В большинстве собранных образцов доминировали, как и в почвах зональных типов, представители рода *Streptomyces*. Свообразием отличалась актинобиота моховой подстилки (образец № 3), где доминировали, наряду со стрептомицетами, виды рода *Micromonospora*, которые во всех других образцах занимали минорную позицию. В актиномицетном комплексе почвы образца № 6 следует отметить необычное для зональных почв субдоминантное положение олигоспоровых форм. Олигоспоры, наряду со стрептомицетами, занимали доминирующее положение также в актиномицетном комплексе образца № 1 известняковой породы. Водорослевая пленка с поверхности известняка (образец № 7) включала виды только рода *Streptomyces*.

Таким образом, все исследованные образцы, отобранные в границах Березнятского ботанико-геологического комплекса, содержали актиномицеты в количестве, сопоставимом с их содержанием в зональных дерново-подзолистых почвах различного механического состава и были представлены видами из родов *Streptomyces*, *Micromonospora* и олигоспоровыми формами. Обращает на себя внимание снижение в прокариотном комплексе доли актиномицетов при переходе от минеральных субстратов к субстратам, сопряженным с растениями: сосной, мхами, водорослями. Формирующиеся поверх древних карбонатных отложений современные почвы различаются как по количеству мицелиальных прокариот, так и по их таксономическому составу. Особый интерес представляет изучение метаболического потенциала актиномицетов, выделенных в чистые культуры из этих уникальных объектов, что и явится предметом дальнейших исследований.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги» (государственная регистрация в ЕГИСУ № 122040100032-5) и государственного задания FNWE-2022-0005 Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы).*

#### **Библиографический список**

1. Ивановский А. Б., Кузнецов В. Г., Осипова А. И. Рифогенные постройки в палеозое России. М. : Наука, 1997. 160 с.
2. Геолого-геофизические исследования рифовых известняков Предуральяского прогиба / А. В. Кузин, Я. А. Беленко, А. А. Мазухина, Е. Ю. Лобанов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2022. № 5 (42). С. 209–214.
3. Кузнецов В. Г. Карбонатные породы, состав, строение, происхождение, методы изучения : учеб. пособие. М. : ГАНГ имени И. М. Губкина, 2000. 91 с.
4. Иноземцев С. А., Наугольных С. В., Якименко Е. Ю. Верхнепермские палеопочвы на известняках: морфология и генезис (среднее течение р. Волга) // Почвоведение. 2011. № 6. С. 660–674.
5. Звягинцев Д. Г., Зенова Г. М. Экология актиномицетов. М. : Изд-во ГЕОС, 2001. 256 с.

### **СКРИНИНГ ХИТИНОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ У ПЕРСПЕКТИВНЫХ ШТАММОВ СТРЕПТОМИЦЕТОВ**

***Н. А. Боков***

*Вятский государственный университет,  
Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого, nikita-bokov@mail.ru*

Среди 30 культур стрептомицетов, выделенных из различных экологических ниш, обладали хитиназной активностью 43% штаммов. Высокий энзиматический индекс (EI) обычно свидетельствует о потенциале штамма в гидролитическом расщеплении клеточных стенок грибов, содержащих хитин

в качестве структурного компонента. Наиболее высокие значения EI (более 11) показали *Streptomyces* sp. 2ls9, *S. flavogriseus* ТК-5 и *S. antimycoticus* 8A13, ранее проявившие себя в защите сельскохозяйственных растений как антагонисты грибов *Fusarium*, *Alternaria*, *Bipolaris*.

Ключевые слова: стрептомицеты, хитиназная активность, хитин, энзиматический индекс.

Биодеградация хитина является важной частью циклов углерода и азота в природе. Ежегодно в окружающей среде прокариотами и эукариотами производится около  $10^{11}$  тонн хитина [1], что делает его по распространенности вторым после целлюлозы полисахаридом в природе. Он встречается в основном как структурный компонент в клеточных стенках грибов, а также в экзоскелетах насекомых и ракообразных. Хотя только в гидросфере организмами ежегодно производится более 2,3 млн тонн хитина, его существенного накопления в океанических отложениях не наблюдается [2]. Процесс биоконверсии хитина естественным образом осуществляется хитинолитическими бактериями, среди которых в наземных экосистемах много представителей рода *Streptomyces* [3].

Анализ геномов различных представителей рода *Streptomyces* выявил множество генов хитиназ, потенциально позволяющих им гидролизовать хитин. Например, анализ геномной последовательности штамма *S. coelicolor* выявил до 13 предполагаемых генов хитиназ [4].

Многие штаммы стрептомицетов известны своей антагонистической активностью по отношению к грибным фитопатогенам. Один из механизмов подавления роста гриба, заключается в синтезе хитиназ, которые разрушают клеточную стенку гриба, состоящую в основном из хитина [5]. Скрининг природных изолятов на хитиназную активность позволит выявлять штаммы, потенциально обладающие антагонистической активностью против грибных фитопатогенов.

В работе оценивали способность представителей рода *Streptomyces*, выделенных из разных экологических ниш, к разрушению хитина. Всего было протестировано 30 штаммов, ранее показавших высокую антагонистическую активность.

Для качественной оценки способности разрушать хитин штаммы стрептомицетов предварительно наращивали на скошенном овсяном агаре. Тестирование проводили, высевая культуры в чашки Петри уколом на плотную питательную среду следующего состава (г/л):  $\text{NaNO}_3$  – 2,0;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1,0;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,5;  $\text{KCl}$  – 0,5; агар – 20,0; коллоидный хитин – 10,0; pH 5,6 [6]. Коллоидный хитин получали в соответствии с описанной методикой [7]. Культивировали 30 суток при 28 °С, после чего измеряли диаметр зоны гидролиза хитина и диаметр колонии, рассчитывали энзиматический индекс (EI) по следующей формуле:

$$EI = \frac{(D+d)}{D}$$

где D – диаметр колонии в мм, а d – диаметр зоны гидролиза в мм [8].

Статистическая обработка результатов выполнена стандартными методами с использованием программы Microsoft Excel 7.

Хитиназную активность из 30 исследованных штаммов проявили 13 (43%). Наибольшие зоны гидролиза показали штаммы *Streptomyces* sp. 6Из12 (32 мм), *Streptomyces* sp. П 11-10 (32 мм), *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 (25 мм), у остальных штаммов зона гидролиза хитина была менее 20 мм (табл.). Рассчитанный с учетом диаметра колонии EI имел максимальные значения у штаммов *Streptomyces* sp. 2ls9 (19), *S. flavogriseus* ТК-5 (11), *S. antimycoticus* 8А13 (11), каждый из которых ранее продемонстрировал высокую антагонистическую активность по отношению к грибным фитопатогенам [9]. Наряду с другими механизмами, антифунгальная активность этих штаммов могла быть обеспечена продукцией высокоактивных хитиназ, разрушающих грибную клеточную стенку.

Таблица

**Величина зон гидролиза коллоидного хитина и диаметров колоний исследованных культур стрептомицетов**

Штамм	Диаметр зоны, мм	Диаметр колонии, мм	Энзиматический индекс (EI)
1	2	3	4
<i>Streptomyces</i> sp. 2ls9	18	1	19
<i>Streptomyces</i> sp. 4ls18	3	1	4
<i>Streptomyces</i> sp. 4ls6	10	5	3
<i>Streptomyces</i> sp. 4ls8	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. К 8-14	4	4	2
<i>Streptomyces ryensis</i> Н 13-3	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. Т 2-20	–	–	–
<i>Streptomyces flavogriseus</i> ТК-5	10	1	11
<i>Streptomyces</i> sp. 4ls3	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. 4ls1	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. 4ls2	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. 2ls4	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. 4ls7	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. 2ls6	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. 2ls11	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. 2ls7	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. 4ls21	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. 4ls16	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. 3Из7	5	1	6
<i>Streptomyces</i> sp. 4ls3	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. К 8-4	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp. Т 2-25	–	–	–
<i>Streptomyces antimycoticus</i> 8А13	10	1	11
<i>Streptomyces castelarensis</i> А4	5	1	6
<i>Streptomyces hygrosopicus</i> Н 27-25	–	–	–

1	2	3	4
<i>Streptomyces</i> sp. К 8-16	3	3	2
<i>Streptomyces</i> sp. П 11-10	32	30	2,06
<i>Streptomyces griseoaurantiacus</i> Мб 4-2	25	20	2,25
<i>Streptomyces thermocarboxydus</i> Т 1-3	13	8	2,63
<i>Streptomyces</i> sp. биз12	32	10	4,2

*Примечание:* прочерк означает отсутствие у штамма способности утилизировать хитин в качестве единственного источника углерода.

Кроме того, известно, что штаммы, продуцирующие высокоактивные хитиназы, интересны для получения хитоолигосахаридов, которые обладают фармацевтической и биологической активностью [6].

Таким образом, проведенные исследования показали, что способность к гидролизу хитина достаточно широко распространена среди природных изолятов мицелиальных прокариот: 43% исследованных штаммов проявили хитиназную активность. Наиболее высокий энзиматический индекс (EI от 11 до 19) был установлен у культур *Streptomyces* sp. 2ls9, *S. flavogriseus* ТК-5 и *S. antimycoticus* 8A13, ранее продемонстрировавших способность подавлять рост грибных фитопатогенов из родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Bipolaris*. Данный метод скрининга, очевидно, позволит отбирать ценные штаммы стрептомицетов, потенциально пригодные для дальнейшего исследования и использования в качестве биофунгицидов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания FNWE-2022-0005 Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.).*

#### Библиографический список

1. Chitosan chemistry and pharmaceutical perspectives / M. N. V. Ravi Kumar, R. A. A. Muzzarelli, C. Muzzarelli et al. DOI: 10.1021/cr030441b // Chemical Reviews. 2004. Vol. 104. P. 6017–6084.
2. Jeuniaux C., Voss-Foucart M. F. Chitin biomass and production in the marine environment // Biochemical Systematics and Ecology. 1991. Vol. 19. No. 5. P. 347–356.
3. The complex extracellular biology of *Streptomyces* / K. F. Chater, S. Biró, K. J. Lee et al. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2009.00206.x // FEMS Microbiology Reviews. 2009. Vol. 34. No. 2. P. 171–198.
4. Comparison of enzymatic and antifungal properties between family 18 and 19 chitinases from *S. coelicolor* A3(2) / T. Kawase, S. Yokokawa, A. Saito et al. DOI: 10.1271/bbb.70.988 // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 2006. Vol. 70. No. 4. P. 988–998.
5. Антимикробная активность специализированных метаболитов почвенных стрептомицетов-хитинолитиков / Г. А. Терегулова, Н. А. Манучарова, Н. А. Уразбахтина и др. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-1-51-60 // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2024. № 1. С. 51–60.
6. Скрининг микроорганомов с хитиназной активностью / Р. С. Мухаммадиев, Р. С. Мухаммадиев, А. С. Соловьева и др. // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2020. № 22. С. 470–474.

7. Koteshwara A. Simple methods for the preparation of colloidal chitin, cell free supernatant and estimation of laminarinase. DOI: 10.21769/BioProtoc.4176 // Bio-Protocol Journal. 2021. Vol. 11. No. 19. Article No. e4176.

8. Секреция микромицетами внеклеточных протеиназ, активных по отношению к фибриллярным белкам / Е. А. Попова, Д. М. Бедненко, А. А. Осмоловский и др. // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2017. Т. 72, № 4.

9. Новые штаммы стрептомицетов как перспективные биофунгициды / И. Г. Широких, Я. И. Назарова, А. В. Бакулина, Р. И. Абубакирова. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-1-172-180 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 172–180.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФИНГЕРПРИНТИНГА ВОХ-PCR ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЕНОМНЫХ РАЗЛИЧИЙ У СТРЕПТОМИЦЕТОВ С АНТИФУНГАЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ**

*А. В. Бакулина, Е. А. Бессолицына, И. Г. Широких  
Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого, mol-biol@fanc-sv.ru*

Для трех штаммов стрептомицетов одного вида и одного штамма другого вида получены амплификаты с праймером ВОХА1. Профили штаммов 8А13, А4 и П15-2, принадлежащих виду *Streptomyces antimycoticus*, характеризовались значительным сходством и отличались от филогенетически близкого вида *S. hygroscopicus* набором полос на электрофореграмме продуктов ПЦР. Это говорит о возможности использования ВОХ-PCR для идентификации штаммов и анализа генетического родства стрептомицетов.

Ключевые слова: *Streptomyces antimycoticus*, *S. hygroscopicus*, ДНК-фингерпринтинг.

В связи с намеченным на апрель 2025 года пуском в стране нацпроекта по развитию биоэкономики, которая подразумевает новую хозяйственную систему, основанную на использовании биотехнологий и природных биоресурсов для производства товаров, услуг и энергии [1], особую актуальность приобретает задача пополнения коллекционных фондов микробных культур новыми штаммами с биотехнологически ценными свойствами. Представители мицелиальных прокариот рода *Streptomyces* хорошо известны своими широкими метаболическими возможностями, в первую очередь, в отношении продукции антибиотиков и других значимых для здравоохранения соединений [2]. В аграрном производстве практика использования стрептомицетов и их внеклеточных метаболитов пока гораздо скромнее, хотя и постоянно расширяется [3, 4]. Вопросы применения метаболического потенциала стрептомицетов для повышения выхода продукции растениеводства, обеспечения ее качества и поддержания приемлемой экологической обстановки в агроэкосистемах сохраняют свою значимость.



Одним из векторов практического использования стрептомицетов является разработка на их основе биофунгицидов, как альтернативы химическим пестицидам. Антифунгальное действие стрептомицетов чаще всего основано на продукции антигрибных антибиотиков, а также синтезе гидролитических ферментов, например, хитиназ. Сочетанием этих полезных свойств характеризуются полученные в разные годы из почв Вятско-Камского Предуралья штаммы *Streptomyces antimycoticus* 8A13, A4 и П15-2 и штамм близкородственного вида *S. hygrosopicus* H27-25. Для каждого из природных изолятов экспериментально показана способность к угнетению роста фитопатогенных грибов *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) Sacc., *F. oxysporum* Schltdl, *F. avenaceum* (Fr.) Sacc, *F. moniliforme* Sheldon, 1904, *F. proliferatum* (Matsushima) Nirenberg, 1976, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker при выращивании в чистых культурах. Эффективность антифунгального действия для штаммов 8A13 и A4 подтверждена в полевых условиях [5]. Несмотря на близкое филогенетическое положение, согласно результатам секвенирования 16S рРНК, штаммы характеризует определенная изменчивость как культурально-морфологических признаков (рис. 1), так физиолого-биохимических свойств.

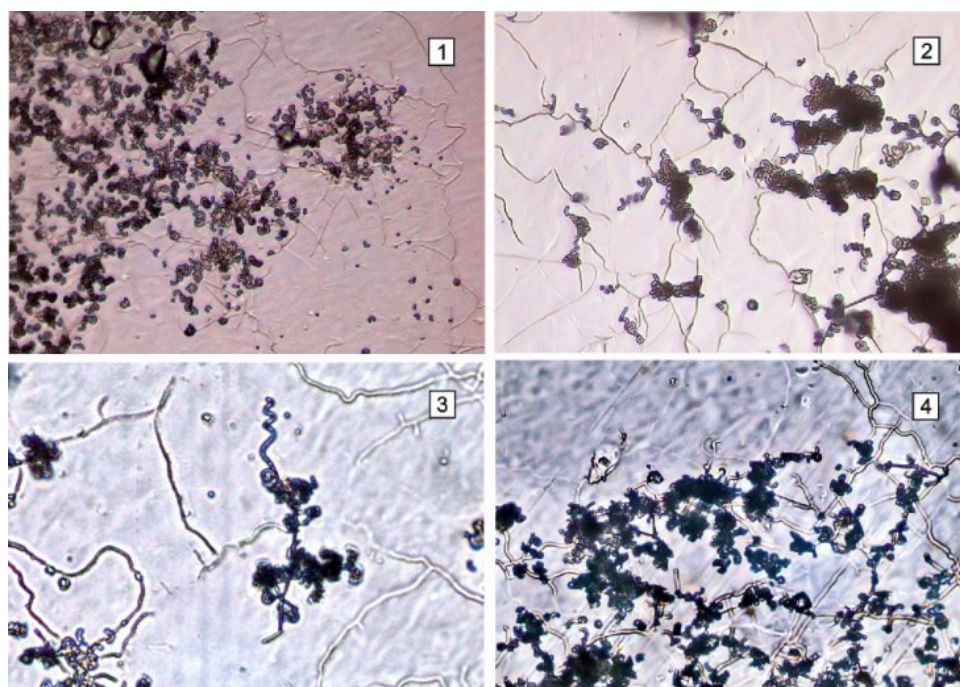


Рис. 1. Микроморфология штаммов 1 – 8A13, 2 – H27-25, 3 – П15-2, 4 – A4 в возрасте 10 сут на минеральном агаре Гаузе 1, 28°C. ×400

Различаются данные штаммы также по наличию в их геномах генов, ассоциированных с продукцией антибиотиков (PKSII, NPRS), гидролитических ферментов (хитиназ А и С) и хитин связывающего белка, установленному в ходе ПЦР-скрининга агробиотехнологически ценных штаммов [6] (табл.).

**Наличие генов, которые могут быть связаны  
с антифунгальной активностью исследуемых стрептомицетов**

Штаммы	Биосинтетические генные кластеры		Хитиназы		Хитин связывающий белок (ChiBP)
	PKSII	NPRS*	chiA	chiC	
8A13	+	–	–	–	–
A4	+	–	+	–	–
П15-2	+	+	+	+	–
H27-25	–	+	+	+	+

Примечание: \* неопубликованные данные.

В настоящее время для точного таксономического диагноза культур стрептомицетов в литературе рекомендован полногеномный анализ, сопряженный с высокими затратами. В то же время, для типирования многих бактерий на начальных этапах разработан менее затратный и простой метод фингерпринтинга, основанный на сравнении электрофоретических продуктов ПЦР рассеянных по всему геному повторяющихся последовательностей [7]. Повторяющиеся последовательности, включая BOX-элементы, длиной 154 п. н., широко распространены в микробных геномах. Они относительно консервативны в эволюционном плане, но различаются по распространению на уровне штаммов, видов и родов [8]. Праймеры, разработанные на основе этих последовательностей, могут после ПЦР-амплификации различать отдельные участки генома, расположенные между элементами BOX. Амплифицированные фрагменты, после электрофоретического разделения в гелевой матрице, позволяют получить уникальный профиль, называемый геномным отпечатком BOX-PCR. Существует высокая корреляция между BOX-PCR-дактилоскопией и данными о гомологии ДНК-ДНК. В применении к бактериям рода *Streptomyces* метод BOX-PCR оказался полезным в выявлении синонимичных видов [9]. На основе BOX-PCR-дактилоскопии продемонстрировано значительное генетическое разнообразие среди фитопатогенных штаммов *Streptomyces*, собранных на Северо-Западе Ирана [10].

Целью настоящей работы являлась проверка методом фингерпринтинга BOX-PCR наличия внутривидовой и межвидовой изменчивости среди антифунгально активных штаммов стрептомицетов Вятско-Камского Предуралья.

Для проведения молекулярно-генетического анализа стрептомицетов суммарные нуклеиновые кислоты выделяли по методике [11] из культур, выращенных в жидкой среде Гаузе 1. Для постановки ПЦР использовали праймер BOX-A1R 5'-CTACGGCAAGGCGACGCTGACG-3' [12], синтезированный НПК «Синтол» (г. Москва). Реакционная смесь (10 мкл) содержала 1 нг ДНК, 200 мкМ dNTPs, 10 рМ каждого праймера, 1×PCR-буфер и 3,75 ед. Taq-полимеразы (ООО «СибЭнзайм», Россия). ПЦР проводили на программируемом термостате ТП4-ПЦР-01 «Терцик» («НПО ДНК-Технология», Россия) при следующем режиме: 1 цикл 95 °С – 5 мин, 35 циклов по 95 °С – 30 сек, 62 °С – 30 сек, 72 °С – 1 мин 30 сек, 1 цикл 72 °С – 10 мин. Продукты реакции

разделяли методом электрофореза в 1,5% агарозном геле, который окрашивали бромистым этидием [11]. Визуализацию результатов электрофореза проводили с помощью трансиллюминатора «Квант-312» («Helicon», Россия). Для определения размера амплифицированных фрагментов использовали ПО Gel Analyzer.23.1.1.

Изучение четырёх штаммов стрептомицетов методом фингерпринтинга ВОХ-PCR показало, что штаммы, принадлежащие к виду *S. antimycoticus* (8A13, A4, П15-2), имели сходные ДНК-профили и значительно отличались от близкородственного вида *S. hygroscopicus* H27-25 (рис. 2). Характерный профиль фрагментов ДНК, полученных при амплификации с праймером ВОХ, для штаммов вида *S. antimycoticus* представлен тремя ампликонами, характеризующихся размерами около 480–500, 365–390 и 260–275 п. н. Большое сходство проявили штаммы 8A13 и A4.

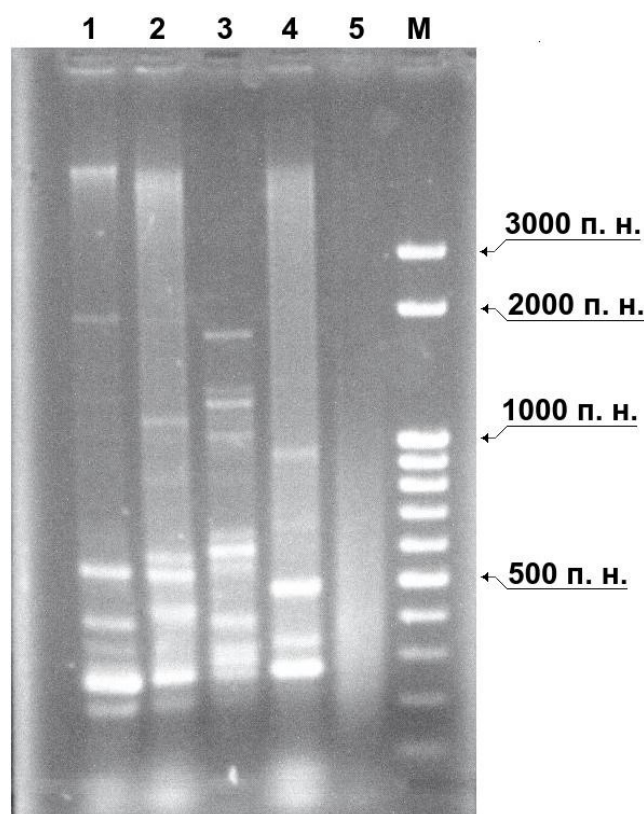


Рис. 2. Электрофореграмма продуктов ПЦР с праймером ВОХА1. Дорожки 1–4 – образцы ДНК штаммов стрептомицетов 8A13, A4, П15-2, H27-25 соответственно; дорожка 5 – отрицательный контроль; М – маркер молекулярного веса («Сибэнзайм»)

В то же время, исследуемые стрептомицеты (8A13, A4, П15-2) имели различия и внутри вида, в особенности, по количеству ампликонов размером от 1 тыс. до 2 тыс. п. н. Также штамм П15-2 отличался от двух других представителей *S. antimycoticus* наличием дополнительных ПЦР-продуктов (295 и 552 п. н.)

Для другого вида *S. hygrosopicus* H27-25 были получены как уникальные ПЦР-продукты (442 и 947 п. н.), так и ампликоны, близкие к таковым у штаммов *S. antimycoticus* 8A13 (около 320 п. н.) и П15-2 (около 290 п. н.).

Полученные данные свидетельствуют о том, что ВОХ-ПЦР-дактилоскопия может быть использована в качестве быстрого и недорогого метода предварительного скрининга изолятов стрептомицетов перед их отбором для углубленных комплексных исследований. Внедрение этого быстрого и простого метода может облегчить предварительную характеристику большого количества изолятов рода *Streptomyces* и исследование филогенетического сходства между генотипами мицелиальных бактерий.

*Работа выполнена в рамках государственных заданий FNWE-2022-0001 и FNWE-2022-0005 Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы).*

### Библиографический список

1. Фрейдкина Е. М. Биоэкономика как новая стратегия экономического развития // Экономические и управленческие технологии XXI века: теория и практика, подготовка специалистов : материалы методич. и науч.-практ. конф.: часть II. СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. С. 41–45.
2. Разнообразие актиномицетов и их роль как продуцентов антибиотиков / С. Д. Жантлесова, А. К. Саданов, Б. Б. Баймаханова и др. DOI: 10.53729/MV-AS.2024.01.01 // Микробиология және вирусология. 2024. № 1 (44). С. 6–21.
3. Vurukonda S. S. K. P., Giovanardi D., Stefani E. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. DOI: 10.3390/ijms19040952 // International Journal of Molecular Sciences. 2018. Vol. 19. No. 4. P. 952.
4. Al-Tammar F. K., Khalifa A. Y. An update about plant growth promoting *Streptomyces* species. DOI: 10.7324/JABV.2023.130126 // Journal of Applied Biology and Biotechnology. 2023. Vol. 10. No. 20. P. 1–10.
5. Эффективность применения лабораторных образцов на основе бактерий рода *Streptomyces* на горохе в условиях Волго-Вятского региона / И. В. Лыскова, И. Г. Широких, Я. И. Назарова и др. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.4.634-644 // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25 (4). С. 634–644.
6. Бакулина А. В., Бессолицына Е. А., Широких И. Г. ПЦР-скрининг бактерий рода *Streptomyces* для целей агробиотехнологии / PLAMIC2024 : материалы IV Междунар. науч. конф. «Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего» и III Всерос. конф. с междунар. участием «Механизмы адаптации микроорганизмов к различным условиям среды обитания». Иркутск : Изд-во ИГУ, 2024. С. 94–96.
7. Methodological and clinical aspects of the molecular epidemiology of *Mycobacterium tuberculosis* and other mycobacteria / T. Jagielski, A. Minias, J. van Ingen et al. DOI: 10.1128/CMR.00055-15 // Clinical Microbiology Reviews. 2016. Vol. 29. No. 2. P. 239–290.
8. Olive D. M., Bean P. Principles and applications of methods for DNA-based typing of microbial organisms. DOI: 10.1128/jcm.37.6.1661-1669.1999 // Journal of Clinical Microbiology. 1999. Vol. 37. No. 6. P. 1661–1669.
9. BOX-PCR fingerprinting as a powerful tool to reveal synonymous names in the genus *Streptomyces*. Emended descriptions are proposed for the species *Streptomyces cinereorectus*, *S. fradiae*, *S. tricolor*, *S. colombiensis*, *S. filamentosus*, *S. vinaceus* and *S. phaeopurpureus* // B. Lanoot, M. Vancanneyt, P. Dawyndt et al. DOI: 10.1078/0723-2020-00257 // Systematic and Applied Microbiology. 2004. Vol. 27. No. 1. P. 84–92.

10. Ahmadi A., Khakvar R., Sokhandan Bashir N. Genetic diversity among plant pathogenic *Streptomyces* strains from potato fields in Northwest of Iran // International Journal of Molecular and Clinical Microbiology. 2015. Vol. 5. No. 1. P. 481–489.

11. Sambrook J., Fritsch T., Maniatis T. Molecular cloning: a laboratory manual. New York : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1982. 545 p.

12. Smith N. C., Hennessy J., Stead D. E. Repetitive Sequence-derived PCR Profiling Using the BOX-A1R primer for rapid identification of the plant pathogen *Clavibacter michiganensis* subspecies *sepedonicus*. DOI: 10.1023/A:1011955811847 // European Journal of Plant Pathology. 2001. Vol. 107. P. 739–748.

## ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЗАЦИИ НА КОЭФФИЦИЕНТ РАЗМНОЖЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ *in vitro* И УРОЖАЙ КЛУБНЕЙ *ex vitro*

С. Э. Мокрушина<sup>1,2</sup>, И. Г. Широких<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Вятский государственный университет, sveta.flouni@gmail.com

<sup>2</sup> Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого, irgenal@mail.ru

Изучено влияние штамма *Streptomyces minoensis* КР-10 на картофель сорта Пранса при инокуляции *in vitro*, а также на урожай клубней растений *ex vitro*. Штамм формировал устойчивые растительно-микробные ассоциации с активной колонизацией стрептомицетом ( $10^5$ – $10^8$  КОЕ/г) всех частей растения. Обработка суспензией благоприятно влияла на коэффициент размножения картофеля (увеличение на 23% к контролю). В условиях *ex vitro* инокуляция привела к увеличению средней массы клубня (на 32%) и его величины (на 15%) по сравнению с контролем.

Ключевые слова: эндофитные бактерии, стрептомицеты, колонизация, урожайность, *Solanum tuberosum* L.

Картофель – одна из культур массового потребления с наиболее высоким уровнем производства. Клубни картофеля являются важнейшим продуктом питания, что обуславливается оптимальным соотношением в них органических и минеральных веществ [1].

Одним из методов повышения урожайности картофеля является оздоровление его от вирусной инфекции путем введения в культуру апикальной меристемы *in vitro*. Для получения оздоровленного посадочного материала применяют метод клонального микроразмножения, позволяющий получать генетически однородный, оздоровленный посадочный материал [2]. Инокуляция растений картофеля РGPR бактериями может стимулировать рост и развитие микрорастений и повышать коэффициент их микроразмножения [3].

Бактерии рода *Streptomyces* проявляют полезные свойства РGPR (стимулируют рост за счет продукции различных метаболитов; подавляют развитие фитопатогенных микроорганизмов; фиксируют атмосферный азот, повы-

шают устойчивость растений к стрессовым условиям), а также могут обладать комплексом данных свойств [4].

Помимо бактерий, обитающих на поверхности корней, а также бактерий филлосферы, существует большое сообщество эндофитных непатогенных микроорганизмов. Эндофиты обитают внутри тканей растения и сосуществуют с ним, принося определенную пользу. Между эндофитными микроорганизмами и растениями складываются более тесные связи, чем между свободноживущими организмами и растениями. Так же, как и ризосферные бактерии, эндофиты способствуют улучшению снабжения растения питательными веществами, положительно влияя на рост, развитие растений и их устойчивость к стрессовым факторам [5]. Подобно другим бактериям, колонизирующим корни, актиномицеты могут проникать в сосудистую систему, а затем продолжать развиваться в тканях растений как эндофиты [6]. Благодаря всем вышеперечисленным свойствам, ризобактерии, способствующие росту растений, могут повышать адаптационный потенциал инокулированных микрорастений, при переносе их из пробирок в естественную среду (*ex vitro*).

Цель работы – изучить способность штамма *Streptomyces minoensis* КР-10 колонизировать ткани микрорастений картофеля, влияние колонизации на морфометрические показатели *in vitro* и урожайность клубней *ex vitro* картофеля сорта Пранса.

В работе использовали микрорастения картофеля сорта Пранса и штамм КР-10 из ризосферы крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.), который был предварительно отнесен к виду *Streptomyces minoensis* согласно ключу Гаузе [7]. Культуру штамма КР-10 выращивали в жидкой питательной среде Гаузе 1 при 24 °С на качалке (120 об/мин) в течение 7 суток. Концентрация клеток бактерий в инокулюме составляла  $10^6$ ,  $10^5$  и  $10^4$  КОЕ/мл в зависимости от варианта. Микрорастения картофеля выращивали на среде Мурасиге и Скуга без гормонов с добавлением 20 г/л сахарозы.

Инокуляцию производили путем обмакивания микрочеренка с одним листом и почкой в жидкую суспензию бактерии. Контролем служили необработанные растения. В каждом варианте инокулировали по 15 растений. Инкубацию микрорастений осуществляли, как описано в [8]. Через 70 суток роста учитывали следующие морфометрические показатели: высоту побега, количество листьев и коэффициент размножения.

Для оценки способности штамма колонизировать ткани картофеля, определяли численность пропагул стрептомицета в нижней и верхней части побега, корнях, листьях инокулированных микрорастений. Для этого производили посев по вариантам из разведений тканевых гомогенатов на агаризированную среду Гаузе 1 в трехкратной повторности. Для каждого варианта брали по три растения. Количество КОЕ в 1 г ткани растения рассчитывали с учетом навески сухой массы, взятой для посева.

Укоренившиеся микрорастения переносили в условия *ex vitro*, помещая их по два в почву вегетационного сосуда в трехкратной повторности. На 61-е



сутки роста учитывали урожайность и фракционный состав полученных миниклубней.

При анализе морфометрических показателей микрорастений картофеля было отмечено положительное влияние инокуляции штаммом *Streptomyces minoensis* КР-10 (табл. 1).

Таблица 1

**Морфометрические показатели картофеля Пранса при инокуляции *Streptomyces minoensis* КР-10**

Вариант	Высота побега, мм	Количество листьев, шт.	Коэффициент размножения
Контроль	77,1±11,22	9,9±1,49	7,3±1,14
Инокуляция титром 10 <sup>6</sup>	82,1±16,59	11,1±1,58	9,0±1,41
Инокуляция титром 10 <sup>5</sup>	82,0±13,58	10,6±1,43	8,3±1,34
Инокуляция титром 10 <sup>4</sup>	70,2±8,12	10,2±1,03	7,5±1,08

В варианте с обработкой микрочеренков суспензией актиномицета с титром 10<sup>6</sup>, наблюдали повышение коэффициента размножения на 23% по сравнению с контролем. В варианте инокуляции с титром суспензии 10<sup>5</sup> коэффициент размножения увеличился на 13%. В обоих вариантах не наблюдалось значимого повышения высоты побега и количества листьев. В варианте инокуляции с титром суспензии 10<sup>4</sup> морфометрические показатели растений достоверно не отличались от контроля.

Анализ способности штамма *S. minoensis* КР-10 колонизировать ткани картофеля показал, что в результате инокуляции микрочеренков пропагулы обнаруживались во всех исследуемых частях микрорастений. Наибольшей заселенностью бактериями отличались корни (от  $(8,3±2,31) \times 10^4$  до  $(2,1±0,33) \times 10^8$ ) и нижняя часть побега (от  $(1,9±0,11) \times 10^7$  до  $(2,1±0,74) \times 10^8$ ). В листьях и верхней части побега количество пропагул уменьшалось. При высеве верхней части побега растений инокулированных суспензией с титром 10<sup>4</sup> колонии стрептомицетов не обнаруживались.

При оценке урожайности клубней картофеля в условиях *ex vitro*, полученные в каждом варианте миниклубни дифференцировали по фракциям в зависимости от диаметра, также учитывали количество и массу клубней (табл. 2).

Наиболее высоким урожаем клубней отличались варианты с инокуляцией титром 10<sup>5</sup> и 10<sup>4</sup> (3,55 г и 3,46 г соответственно). В варианте с титром суспензии 10<sup>6</sup> миниклубни хотя и характеризовались увеличением массы (на 32%) и доли крупной фракции (на 37,5%) по сравнению с контролем, но их количество уступало контрольному варианту.

**Урожай и фракционный состав миниклубней картофеля Пранса, инокулированных *Streptomyces minoensis* КР-10**

Вариант	Средний диаметр клубня, мм	Фракционный состав урожая клубней, %			Средняя масса клубня, г	Урожай клубней, г	Среднее количество клубней по варианту, шт
		1–4 мм	5–7 мм	8–10 мм			
Контроль	6,50±1,93	12,5	75	12,5	0,41±0,33	3,26	2,67±1,15
Инокуляция титром 10 <sup>6</sup>	7,50±2,07	0	50	50	0,54±0,38	3,26	2,00±0
Инокуляция титром 10 <sup>5</sup>	6,55±1,63	9	82	9	0,32±0,27	3,55	3,67±1,15
Инокуляция титром 10 <sup>4</sup>	7,43±1,51	0	71	29	0,49±0,33	3,46	2,33±0,58

Результаты проведенных исследований показали, что бактериализация микрорастений картофеля Пранса штаммом *S. minoensis* КР-10 оказывает положительное влияние на коэффициент размножения *in vitro* и клубнеобразование *ex vitro*. На коэффициент размножения картофеля благоприятно влияла обработка суспензией актиномицета с титром 10<sup>6</sup>, где наблюдали повышение коэффициента размножения на 23% по сравнению с контролем. Высоким урожаем клубней отличались варианты с титрами инокуляции 10<sup>5</sup> и 10<sup>4</sup> (3,55 г и 3,46 г соответственно). Инокуляция титром 10<sup>6</sup> приводила к увеличению массы клубней (на 32%) и размеров (на 15%) по сравнению с контролем. Титр бактериальной суспензии *S. minoensis* КР-10 10<sup>6</sup> КОЕ/мл был выбран оптимальным для инокуляции картофеля в дальнейшей работе.

**Библиографический список**

1. Влияние биопрепаратов комплексного действия на биологическую активность ризосферы и урожайность картофеля / А. И. Черемисин, О. Ф. Хамова, Н. Н. Шулико, Е. В. Тукмачева. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.18 // Плодородие. 2021. № 6 (123). С. 66–68.
2. Лекунович С. Н., Безрученко Н. Н., Шевчук Ю. В. Использование регуляторов роста в клональном микроразмножении картофеля // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2023. № 1. С. 31–38.
3. Устойчивость ассоциации *in vitro* микрорастений картофеля с бактериями *Azospirillum brasilense* / Е. Е. Костина, К. Ю. Каргаполова, Г. Л. Бурьгин, О. В. Ткаченко. DOI: 10.26907/978-5-00130-204-9-2019-232 // Физиология растений – основа создания растений будущего : тезисы докладов IX Съезда общества физиологов растений России. (Казань, 18–24 сентября 2019 года). Казань : Казанский университет, 2019. С. 232.
4. Pang F., Solanki M. K., Wang Z. *Streptomyces* can be an excellent plant growth manager. DOI: 10.1007/s11274-022-03380-8 // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2022. Vol. 38. No. 11. Article No. 193.
5. Эндобитные микроорганизмы в фундаментальных исследованиях и сельском хозяйстве / Е. Н. Васильева, Г. А. Ахтемова, В. А. Жуков, И. А. Тихонович. // Экологическая генетика. 2019. Т. 17, № 1. С. 19–32.
6. Diversity and plant growth-promoting potential of actinomycetes associated with the rhizosphere of *Arnebia euchroma* from Himachal Pradesh (India) / S. Devi, P. Sharma, A. Rana,



J. Pal. DOI: 10.22438/jeb/42/4/MRN-1565 // Journal of Environmental Biology. 2021. Vol. 42. No. 4. P. 964–972.

7. Определитель актиномицетов / Г. Ф. Гаузе, Т. П. Преображенская, М. А. Свешникова и др. М. : Наука, 1983. 246 с.

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

## БАКТЕРИИ РОДА *CLOSTRIDIUM* В НАВОЗНЫХ СТОКАХ СВИНОКОМПЛЕКСОВ

**Н. В. Сырчина<sup>1</sup>, Л. В. Пилип<sup>2</sup>, Е. П. Колеватых<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Вятский государственный университет, [nvms1956@mail.ru](mailto:nvms1956@mail.ru)

<sup>2</sup> Вятский государственный агротехнологический университет,  
[pilip\\_larisa@mail.ru](mailto:pilip_larisa@mail.ru)

<sup>3</sup> Кировский государственный медицинский университет,  
[hibica@mail.ru](mailto:hibica@mail.ru)

Изучен видовой состав бактерий рода *Clostridium* в жидкой фракции свиных навозных стоков (ЖНС), а также в удобряемой ЖНС пахотной почве и почве лесного участка. В ЖНС по численности доминировали *Cl. septicum* и *Cl. perfringens*. Оба вида могут выступать возбудителями опасных клостридиозов у крупного рогатого скота. Видовое разнообразие и численность клостридий были выше в удобряемой ЖНС пашне.

Ключевые слова: навозные стоки, почва, биологическое загрязнение почвы, *Clostridium*, органические удобрения.

Современное промышленное животноводство относится к числу наиболее значимых источников химического и биологического загрязнения окружающей среды (ОС) [1]. Особую опасность представляют навозные стоки животноводческих предприятий (НС), являющиеся богатой питательной средой для развития различных микроорганизмов (МО). Разложение (гниение), содержащихся в НС органических веществ, приводит к эмиссии в ОС разнообразных летучих соединений, включая парниковые газы и соединения с навязчивым неприятным запахом [2, 3]. К типичным представителям гнилостной микробиоты относятся бактерии рода *Clostridium*. Клостридии широко распространены в природных средах и являются обычными представителями кишечной микробиоты. Благодаря способности к образованию эндоспор, МО этого рода проявляют высокую устойчивость к воздействию различных неблагоприятных факторов и хорошо выживают при компостировании навоза или обезвреживании НС в лагунах. Использование побочных продуктов животноводства (ППЖ) в качестве удобрений приводит к переносу

кlostридий в почву. В соответствующей среде эти МО могут сохранять жизнеспособность на протяжении нескольких лет [4].

Род *Clostridium* включает как непатогенные, так и патогенные виды. Такие виды, как *C. septicum*, *C. botulinum*, *C. chauvoei*, *C. sordellii*, *C. haemolyticum*, *C. perfringens*, *C. tetani* являются возбудителями серьезных заболеваний человека и сельскохозяйственных животных. Определенную опасность представляют и обитающие в навозе непатогенные кlostридии, имеющие повышенную устойчивость к антибиотикам. Распространение генов антибиотикорезистентности в ОС существенно затрудняет борьбу с инфекционными заболеваниями. Снижению рисков переноса в природные среды опасных МО может способствовать мониторинг микробиологических характеристик ППЖ (навоза и НС). Исследования в соответствующей области являются актуальными и практически значимыми.

Цель работы – изучить видовое разнообразие рода *Clostridium*, характерное для навозных стоков свиноводческих предприятий, и удобряемых соответствующими стоками почв.

Для выполнения исследований использовали жидкую фракцию свиных навозных стоков (ЖНС), полученную методом сепарирования содержимого подпольных навозонакопительных ванн. Время нахождения НС в ваннах – 10 дней. Пробы ЖНС отбирали в стерильные емкости сразу после сепарирования и в течение суток доставляли в специализированную микробиологическую лабораторию. Пробы почвы для микробиологических исследований отбирали с глубины 0–25 см на пахотном поле, удобряемом обезвреженной ЖНС, и на заросшем лесом участке, расположенном на расстоянии 300 м от границ поля. При отборе проб использовали стерильные инструменты и тару. Содержание органического вещества, мг/кг в пашне –  $4,5 \pm 1,2$ ; в лесной почве –  $2,2 \pm 0,6$ .  $pH_{KCl}$  пахотной почвы –  $5,0 \pm 0,2$ ;  $pH_{KCl}$  лесной почвы –  $4,2 \pm 0,2$ . По гранулометрическому составу почвы на всех участках отбора проб были одинаковыми – средние суглинки. Исследования проводили в конце вегетационного периода (сентябрь).

Из исследуемого материала готовили ряд серийных разведений с помощью стерильного физиологического раствора. Посев проводили в питательную среду Анаэроагар (HiMedia, Индия) и инкубировали в анаэробных условиях при температуре 37°C. Изучали характерные для кlostридий колонии, а также морфологические особенности клеток фиксированных препаратов, окрашенных методами Грама и Ожешко. Идентификацию МО проводили с помощью биохимического теста АНАЭРОтест23 (Pliva – Lachema, Хорватия) [5–7]. Статистическую обработку результатов проводили общепринятыми методами в программе Microsoft Excel.

Данные о выявленных в ЖНС видах кlostридий и их количестве приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Видовое разнообразие бактерий рода *Clostridium* в жидкой фракции свиных навозных стоков**

№	Вид бактерий рода <i>Clostridium</i>	Количество	
		абсолютное, КОЕ*/см <sup>3</sup>	относительное, %
1	<i>Cl. septicum</i>	$(3,5 \pm 0,4) \times 10^5$	57,52
2	<i>Cl. perfringens</i>	$(2,2 \pm 0,3) \times 10^5$	36,16
3	<i>Cl. putrificum</i>	$(1,7 \pm 0,3) \times 10^4$	2,79
4	<i>Cl. bifermentans</i>	$(1,2 \pm 0,4) \times 10^4$	1,97
5	<i>Cl. (Clostridioides) difficile</i>	$(8,6 \pm 0,3) \times 10^3$	1,41
6	<i>Cl. sporogenes</i>	$(8,7 \pm 0,3) \times 10^2$	0,14
	Общее число выявленных бактерий рода <i>Clostridium</i>	$(6,1 \pm 0,3) \times 10^5$	100

Примечание: \*КОЕ – колониобразующие единицы.

Согласно полученным данным, в навозных стоках доминирующее положение занимали такие виды, как *Cl. septicum* и *Cl. perfringens*. Оба вида могут выступать в качестве возбудителей опасных клостридиозов крупного рогатого скота (КРС). Определенные типы *Cl. perfringens* вызывают энтероксемию КРС, а *Cl. septicum* может участвовать в развитии газовой гангрены, злокачественного отека, энтероксемии, бродзота овец [8, 9]. *Cl. septicum* проявляют высокую протеолитическую активность и образуют устойчивые к нагреванию споры, способные прорасти в подкисленном до pH 5,0 субстрате, что способствует выживанию бактерий во внешней среде. *Cl. difficile* вегетируют в кишечнике поросят раннего возраста и являются возбудителями псевдомембранозного колита у человека. *C. perfringens* могут вызывать пищевые отравления и являются одним из возбудителей газовой гангрены. *Cl. putrificum* и *Cl. sporogenes* принимают активное участие в процессах разложения органических веществ, в результате чего в окружающую среду поступает широкий спектр разнообразных летучих соединений с неприятным запахом [10–12].

В таблице 2 приведены результаты микробиологических исследований отобранных проб почвы.

Таблица 2

**Количество бактерий рода *Clostridium* в почве, КОЕ/г**

№	Вид бактерий рода <i>Clostridium</i>	Пробы почвы	
		пахотное поле	лесная почва
1	<i>Cl. septicum</i>	$(8,5 \pm 0,4) \times 10^4$	0
2	<i>Cl. perfringens</i>	$(6,6 \pm 0,3) \times 10^5$	$(7,9 \pm 0,3) \times 10^5$
3	<i>Cl. putrificum</i>	$(7,4 \pm 0,6) \times 10^5$	$(7,5 \pm 0,2) \times 10^5$
4	<i>Cl. bifermentans</i>	$(5,2 \pm 0,8) \times 10^4$	0
6	<i>Cl. sporogenes</i>	$(6,2 \pm 0,3) \times 10^7$	$(6,5 \pm 0,3) \times 10^4$

В результате микробиологических исследований было установлено, что почва пахотного поля характеризовалась более высоким видовым разнообра-

зием и большей численностью клостридий. Данный факт может быть обусловлен значительным содержанием органического вещества, источником которого являются навозные стоки и более низкой кислотностью. Доминирующий вид – *Cl. sporogenes*. Количество *Cl. sporogenes* в почве было значительно выше, чем в ЖНС. Больше всего соответствующих бактерий было в удобряемой ЖНС пашне. Такие, характерные для пашни виды, как *Cl. septicum* и *Cl. bifermentans* в лесной почве обнаружены не были.

Таким образом, выполненные исследования показывают, что использование навозных стоков свиноводческих предприятий в качестве органических удобрений сопряжено с риском загрязнения почвы микроорганизмами рода *Clostridium*, обитающими в кишечнике животных и характеризующимися повышенной устойчивостью к воздействию антибиотиков.

Снижению рисков переноса в природные среды опасных МО может способствовать мониторинг микробиологических характеристик НС, а также высокая культура обращения с побочными продуктами животноводства, исключающая возможность попадания необезвреженных ППЖ в ОС.

#### Библиографический список

1. Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха / Е. П. Колеватых, Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-159-165 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 159–165.
2. Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние подкисления на эмиссию сероводорода в органических отходах свинокомплексов. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-4-102-106 // Проблемы региональной экологии. 2021. № 4. С. 102–106.
3. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Моделирование углеродного баланса полигонов твёрдых коммунальных отходов. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-198-204 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 198–204.
4. Биологическое загрязнение почв побочными продуктами животноводства / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-201-210 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 2. С. 201–210.
5. ГОСТ 31744-2012. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Метод подсчета колоний *Clostridium perfringens* : действ. с 01.07.2013. М. : Стандартинформ, 2014. 21 с.
6. Клинические рекомендации национальной ассоциации специалистов по контролю инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, и общероссийской общественной некоммерческой организации «Ассоциация колопроктологов России» по диагностике, лечению и профилактике *Clostridium difficile* – ассоциированной диареи (CDI) / Ю. А. Шельгин, В. А. Алёшкин, М. А. Сухина и др. // Колопроктология. 2018. № 3. С. 7–23.
7. ГОСТ Р 70152-2022. Качество воды. Методы внутреннего лабораторного контроля качества проведения микробиологических и паразитологических исследований : действ. с 01.01.2023. М. : Российский институт стандартизации, 2022. 53 с.
8. Данилюк А. В., Капустин А. В. Распространенность и видовое разнообразие клостридий – возбудителей анаэробных инфекций крупного рогатого скота // Труды Всероссийского НИИ экспериментальной ветеринарии имени Я. Р. Коваленко. 2019. Т. 81, № 1. С. 19–26.
9. Глотова Т. И., Терентьева Т. Е., Глотов А. Г. Возбудители и возрастная восприимчивость крупного рогатого скота к клостридиозам // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2017. Т. 47, № 1. С. 90–96.

10. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых и др. DOI: 10.35885/1684-7318-2023-1-107-116 // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 107–116.

11. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Роль аммонификаторов в эмиссии аммиака из свиных навозных стоков. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-46-54 // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 46–54.

12. Сырчина Н. В. Шубин А. С., Береснева Т. П. Дезодорация свиного навоза, предназначенного для производства удобрений // Биоиндикация природных сред : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 1. Киров : «Изд-во «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 394–397.

## **БАКТЕРИОПЛАНКТОН В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ПРИТОКОВ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА**

***Е. М. Макарова***

*Институт водных проблем Севера*

*Карельского научного центра Российской академии наук, em777@bk.ru*

В исследовании поднимается проблема оценки качества воды в темноводных речных экосистемах. Химический состав высокоцветных вод характеризуется повышенным содержанием гумусовых веществ, что может отражаться на состоянии биоты. Гидробионты способны иначе формировать свои сообщества под влиянием региональных особенностей, что может приводить к искажению результатов воздействия антропогенной нагрузки. Доказана применимость общепринятых классификаций для оценки качества высокоцветных вод по микробиологическим показателям.

Ключевые слова: бактериопланктон, биоиндикация, малые реки, качество воды.

Среди многих биоиндикаторов весьма информативными являются микробиологические показатели, включающие различные функциональные группы бактерий, которые отражают степень загрязнения водоемов легкоминерализуемым органическим веществом (ОВ), нефтепродуктами, фенольными соединениями, хозфекальными стоками и др.

Бактерии играют главную роль в геохимических процессах, участвуя в передаче энергии и вещества в пищевых сетях. Различные показатели бактериопланктона эффективно используются для оценки экологической ситуации в водоемах и позволяют экспрессно выявить загрязнение ОВ различной природы благодаря: высокой скорости метаболизма и регенерации, а также разнообразию способов функционирования бактерий.

При оценке качества воды водотоков Карелии по микробиологическим показателям можно столкнуться с некоторыми трудностями, поскольку большинство водоемов Карелии содержат в воде гумусовые вещества [1]. Сложный состав гумусовых веществ (ГВ) может оказывать разнонаправлен-

ное воздействие на бактериопланктон: ГВ могут как угнетать бактерии [2], так и стимулировать их развитие [3]. Такие разнонаправленные реакции бактерий на присутствие ГВ в природных водах могут затруднять биоиндикацию качества высокоцветных вод.

Современные классификации качества воды нацелены на оценку влияния, главным образом, антропогенного фактора. В условиях Карельского региона актуальной проблемой становится оценка реакции биоты на действие загрязняющих веществ (ливневых стоков) на фоне действия природных факторов – поступления большого количества ГВ, которые определяют повышенную цветность воды и низкие значения рН.

Цель исследования – выявить факторы, в наибольшей степени влияющие на развитие бактериопланктона в малых урбанизированных реках Онежского озера.

Объектом исследования выступали притоки юго-западного, северо-западного и северного побережий Онежского озера, в том числе, протекающие по урбанизированной территории. Наиболее детальные исследования были проведены на реках г. Петрозаводска – Лососинке и Неглинке. Воды рек Лососинки и Неглинки, протекающих по территории г. Петрозаводска, относятся к высокогумусным водам, а именно к мезополигумусным. Данный тип вод (высокогумусные) характерен для большинства притоков Онежского озера, что объясняется высокой степенью заболоченности его территории (до 25%) [4] и отражается в высокой цветности воды.

Антропогенная нагрузка на реки г. Петрозаводска представлена ливневым стоком, попадающим в реки без очистки, и терригенным стоком, который не учитывали, но который вносит большой вклад. Исследование доказало высокую антропогенную нагрузку на реки урбанизированной территории. Объем ливневых стоков составляет около трети от общего объема стока каждой реки. Не только по объему ливневых вод, но и по концентрации поступающих с ними загрязняющих веществ антропогенную нагрузку на реки следует считать очень высокой. Влияние антропогенного фактора на остальные притоки юго-западного, северо-западного и северного побережий Онежского озера проявляется в виде стока с территории дачных поселений, кооперативов, турбаз. Все реки пересекают железнодорожные пути и автомобильные трассы.

Все изученные притоки различались по цветности (светловодные и темноводные), гумусности – средне- и высокогумусные, а также по величине антропогенной нагрузки.

Особенный региональный химический состав воды, связанный с заболоченным водосбором изученных рек, затрудняет применимость общепринятых подходов к оценке качества воды по микробиологическим показателям, которые разработаны для выявления влияния только антропогенного фактора. Чтобы решить вопрос об их применимости, рассматривали структуру связи между химическими и микробиологическими показателями с помощью метода главных компонент (МГК) [5].

Возможность применимости общепринятых классификаций качества воды по микробиологическим показателям была доказана с использованием химических (рН, цветность, химическое потребление кислорода, биологического потребления кислорода, содержание общего железа, содержание растворенного кислорода, содержание взвешенных веществ и общего фосфора) и микробиологических (общая численность бактерий, гетеротрофные бактерии, сапрофитные бактерии, общее микробное число, общие колиформные бактерии, фенолоксиляющие бактерии, углеводородоксиляющие бактерии) показателей 12 притоков Онежского озера за вегетационный сезон 2015 г. [5]. По данным МГК установлено отсутствие связей между развитием бактериопланктона и влиянием заболоченного водосбора, выявлена высокая корреляция бактериопланктона с показателем БПК<sub>5</sub>, характеризующим влияние антропогенного фактора [5]. Таким образом, анализ данных доказал связь бактерий с влиянием антропогенного фактора. Применение комплексных классификаций качества воды считается возможным для выявления антропогенно измененных участков водных объектов с высокой цветностью воды.

#### **Библиографический список**

1. Лозовик П. А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водные ресурсы. 2013. Т. 40, № 6. С. 583–592.
2. Jones R. I., Salonen K., De Haan H. Phosphorus transformations in the epilimnion of humic lakes: abiotic interactions between dissolved humic materials and phosphate // *Freshwater Biology*. 1988. Vol. 19. No. 3. P. 357–369.
3. Tranvik L. J., Höfle M. G. Bacterial growth in mixed cultures on dissolved organic carbon from humic and clear waters // *Applied and Environmental Microbiology*. 1987. Vol. 53. No. 3. P. 482–488.
4. Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях : монография / отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2015. 375 с.
5. Макарова Е. М., Калинин Н. М., Сабьлина А. В. Возможность применения микробиологических показателей для оценки состояния водотоков с высокой цветностью воды (на примере притоков Онежского озера). DOI: 10.15393/j1.art.2023.14043 // *Принципы экологии*. 2023. № 3. С. 36–50.

## БАКТЕРИАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА ПОЧВ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

*Е. Е. Расова, Е. С. Белых, Т. А. Майстренко,  
И. О. Вележанинов, М. М. Тавлеева, А. В. Рыбак  
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, canewa.anuta@yandex.ru*

В статье представлены данные о разнообразии, составе и структуре бактериальных сообществ почв, загрязненных  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$ , в том числе в контексте сезонной динамики.

Ключевые слова: радионуклиды, почва, бактериальные сообщества, 16S рРНК, NGS.

Комплексное применение метагеномного подхода и методов секвенирования нового поколения (NGS) при изучении бактериальных сообществ, населяющих радиоактивно загрязненные почвы, позволяет получить более глубокие знания о разнообразии, составе, структуре и функционировании этих сообществ и создать базис для обсуждения и разработки потенциальных способов снижения негативного влияния радиоактивного загрязнения. Поэтому целью исследования являлась оценка влияния загрязненной  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  почвы на бактериальные сообщества.

Экспериментальную работу проводили на импактном и контрольном участках, расположенных в подзоне северной тайги вблизи пос. Водный (Республика Коми, Россия). Загрязнение почвы импактного участка естественными радионуклидами стало следствием деятельности радиохимических заводов по добыче и производству  $^{226}\text{Ra}$  и складирования технологических отходов этой деятельности [1].

Образцы почв для метагеномного секвенирования и физико-химического анализа отбирали летом и осенью 2023 г. Влажность, pH, удельные активности  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$ , концентрации Fe,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , общего N и C определяли общепринятыми методами на базе лаборатории миграции радионуклидов и радиохимии и аккредитованной лаборатории «Экоаналит» ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Выделение тотальной ДНК из почвы осуществляли набором HiPure Soil DNA Kit (Magen, China) с этапом дополнительной очистки набором ColGen (Синтол, Россия) на базе ЦКП «Молекулярная биология» ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Для амплификации высоковариабельного региона V3-V4 16S рРНК использовали универсальные бактериальные праймеры. Метагеномное секвенирование реализовано на платформе Miseq (Illumina, USA). Биоинформатический анализ проводили в среде R 4.4.1 с применением пакетов dada 2, phyloseq и vegan [2–4]. Анализ различий обилия таксономических групп осуществляли с помощью DESeq2 [5].



Трансформация почвы в результате антропогенной деятельности привела к многократному увеличению удельных активностей  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  по сравнению с контрольными значениями. Кроме этого, более щелочная реакция почвенной среды и более высокая влажность на импактном участке по сравнению с контролем, вероятно, обусловлена значительным количеством в составе почвы угля – важного компонента радиохимического производства. Содержание общего С и Fe в почвах загрязненного участка в 2,5–3 и более чем 10 раз соответственно выше ( $p < 0,01$ ) значений в контрольной почве. Содержание общего N и  $\text{P}_2\text{O}_5$  в почвах обоих участков варьировало в широком диапазоне. Отметим, что среди определяемых показателей для влажности на импактном участке выявлены различия значений между сезонами.

По итогам метагеномного анализа показано, что разнообразие бактериальных сообществ, оцененное с помощью наблюдаемого разнообразия, индексов Чао и Шеннона, незначительно снижалось в осенний период, однако различия между референсными и радиоактивно загрязненным образцами оказались незначимыми. Всего на исследуемых участках зарегистрировано 24 бактериальных отдела, среди которых доминируют на загрязненном и контрольном участках представители *Pseudomonadota* и *Acidobacteriota*. К остальным обильно встречаемым отделам в почвах обоих участков относятся *Bacteroidota*, *Actinomycetota*, *Verrucomicrobiota*, *Planctomycetota*, *Gemmatimonadota*, *Saccharibacteria* и candidate division WPS1. Кроме этого, 24% всех идентифицированных вариантов ампликонной последовательности (ASVs) относится к неклассифицированным бактериям. Обилие отделов бактерий оставалось одинаковым независимо от сезона, но статистически значимо варьировало ( $p \ll 0,001$ ) среди участков, различающихся по уровню радиоактивного загрязнения. Однако существенные различия в таксономическом составе между участками обнаружены на более низких таксономических уровнях. К примеру, в радиоактивно загрязненной почве выявлены бактерии из родов *Geobacter*, *Sphingomonas*, *Gaiella*, обладающие повышенной устойчивостью к окислительному стрессу и также отмеченные другими исследователями как доминирующие в загрязненных U почвах [6–8].

Таким образом, разнообразие бактериальных сообществ между исследуемыми участками и в пределах участков по сезонам не отличалось. Отделы *Pseudomonadota* и *Acidobacteriota* доминируют в почвах импактной и контрольной территории. В почвах с повышенными содержаниями  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  отмечены бактерии, обладающие устойчивостью к окислительному стрессу.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 23-74-01125 (<https://rscf.ru/project/23-74-01125/>).*

#### **Библиографический список**

1. Иевлев А. А. Водный промысел в Коми АССР – предтеча атомной промышленности Советского Союза // Военно-исторический журнал. 2011. № 2. С. 45–47.
2. DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data / B. J. Callahan, P. J. McMurdie, M. J. Rosen et al. DOI: 10.1038/nmeth.3869 // Nature Methods. 2016. Vol. 13. No. 7. P. 581–583.

3. McMurdie P. J., Holmes S. Phyloseq: an R package for reproducible interactive analysis and graphics of microbiome census data. DOI: 10.1371/journal.pone.0061217 // PLoS One. 2013. Vol. 8. No. 4. Article No. e61217.

4. Vegan: Community Ecology Package [Электронный ресурс]. – URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/> (дата обращения: 27.08.2024).

5. Love M. I., Huber W., Anders S. Moderated estimation of fold change and dispersion for RNA-seq data with DESeq2. DOI: 10.1186/s13059-014-0550-8 // Genome Biology. 2014. Vol. 15. Article No. 550.

6. Effects of uranium concentration on microbial community structure and functional potential / B. Sutcliffe, A. A. Chariton, A. J. Harford et al. DOI: 10.1111/1462-2920.13839 // Environmental Microbiology. 2017. Vol. 19. No. 8. P. 3323–3341.

7. Speciation distribution of heavy metals in uranium mining impacted soils and impact on bacterial community revealed by high-throughput sequencing / S. Xiao, Q. Zhang, X. Chen et al. DOI: 10.3389/fmicb.2019.01867 // Frontiers in Microbiology. 2019. Vol. 10. Article No. 1867.

8. Effects of uranium mining on soil bacterial communities and functions in the Qinghai-Tibet plateau / Q. Li, Z. Xiong, P. Xiang et al. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.140715 // Chemosphere. 2024. Vol. 347. Article No. 140715.

## **СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ПОЧВЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ЛУГОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ**

*Е. Е. Гаевский, Е. А. Зацарынная*

*Белорусский государственный университет, Республика Беларусь,  
gaevski@rambler.ru*

В статье приведены данные о структуре сообществ почвенных водорослей в почвах разных луговых фитоценозов путём определения видового состава водорослей. Наибольшее количество видов водорослей наблюдается на местообитании сеяный луг – 30 видов. Наименьшее количество видов водорослей на местообитании некосимый луг – 15 видов.

Ключевые слова: луговые фитоценозы, почвенные водоросли, таксономический состав, экобиоморфа.

Почвенные водоросли являются единственными автотрофными организмами, которые населяют почву. Благодаря этому факту, почвенная альгофлора, а именно, изучение её количественного и видового состава, может стать прекрасным и надёжным показателем для определения уровня плодородия почвы и её экологического состояния [1].

Почвенная альгофлора Беларуси изучена довольно мало. Известным почвенным альгологом в БССР являлась Э. Н. Ваулина [2], которая активно изучала водоросли в 50–60-х гг. XX в. Благодаря её исследованиям стало возможно установить таксономический состав почвенных водорослей некоторых территорий нашей республики. В настоящее время почвенные водоросли Бе-

ларуси были изучены по большей части только для антропогенно-нарушенных земель [3].

Первая информация о почвенных водорослях лугов содержалась в исследованиях Э. А. Штиной [1]. Она отмечала, что почвы травянистых фитоценозов, как правило, богаче водорослями, чем лесные [4]. Однако почвенные водоросли лугов на территории Республики Беларусь на сегодняшний день не изучались.

Целью исследования является определение таксономического состава почвенных водорослей биотопов луговых фитоценозов.

Исследования проводились на луговых фитоценозах Городокского района Витебской области Республики Беларусь. В качестве изучаемых биотопов были взяты почвы естественного луга, сеяного луга и залежи.

Участок № 1. Некосимый луг. Преобладающие растения, которые произрастают на данном лугу – полевица тонкая (*Agrostis capillaris* L.), трясунка средняя (*Briza media* L.). Тип почвы – дерново-подзолистая, тяжелосуглинистая.

Участок № 2. Сеяный луг. Преобладающие растения, произрастающие на данном лугу – ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.). Тип почвы – дерново-подзолистая, легкосуглинистая.

Участок № 3. Залежь. Преобладающие растения, произрастающие на данном лугу – полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski), трехреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.). Тип почвы – дерновая, легкосуглинистая.

Выявление видового состава водорослей и цианобактерий проводили методом постановки почвенных культур «со стёклами обрастания» и водных культур.

В результате исследования видового разнообразия почвенных водорослей в почве естественного луга было обнаружено 15 видов водорослей. Больше всего было обнаружено представителей отделов Cyanobacteria (6 видов) и Chlorophyta (6 видов). Отделы Bacillariophyta (1 вид) и Xanthophyta (2 вида) не играют существенную роль в формировании структуры данной почвенной альгофлоры, так как были представлены минимальным количеством найденных видов. Данные результаты говорят о достаточно бедном видовом богатстве этого биотопа. Также по полученным результатам можно заметить, что именно наиболее устойчивые к засухе водоросли отделов Cyanobacteria и Chlorophyta являются доминирующими по количеству, в то время как наименее засухоустойчивые представители отделов Bacillariophyta и Xanthophyta почти не обнаруживаются.

В почве сеяного луга было обнаружено 30 видов водорослей. Результаты исследования показывают достаточно богатое видовое разнообразие этого биотопа. Доминирующим по количеству видов здесь оказались представители отдела Chlorophyta (14 видов). Также были найдены представители отделов

Cyanobacteria (9 видов), Bacillariophyta (3 вида) и Xanthophyta (3 вида). Наименьшее количество видов обнаружилось в отделе Euglenophyta (1 вид).

В почве залежи было обнаружено 28 видов водорослей. Наибольшее количество обнаруженных видов водорослей относятся к отделам Chlorophyta (11 видов) и Cyanobacteria (9 видов). Также были обнаружены виды отделов Xanthophyta (3 вида) и Bacillariophyta (5 видов).

В результате исследования видовой разнообразия образцов почв было обнаружено в общей сложности 52 вида почвенных водорослей, относящихся к четырём основным отделам: Cyanobacteria, Bacillariophyta, Xanthophyta и Chlorophyta. Отдел Euglenophyta представлен одним видом.

#### **Библиографический список**

1. Зенова Г. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. М. : МГУ, 1990. 80 с.
2. Ваулина Э. Н. Состав и распределение водорослей в некоторых характерных почвах БССР : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ботан. ин-т имени В. Л. Комарова, Л., 1956. 30 с.
3. Бачура Ю. М., Храмченкова О. М. Почвенные водоросли некоторых антропогенно-нарушенных территорий // Экологический вестник. 2010. № 4 (14). С. 21–28.
4. Алексахина Т. И., Штина Э. А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М. : Наука, 1984. 149 с.

## **СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МИКРОФЛОРЫ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ЕЕ ОКУЛЬТУРИВАНИЯ**

*Я. К. Куликов*

*Белорусский государственный университет,  
kulikova22@mail.ru*

Оптимизация торфяной почвы путем внесения связной супеси снижает численность микроорганизмов различных эколого-трофических групп, принимающих участие в минерализации органического вещества, что способствует сохранению почвенного плодородия.

Ключевые слова: торфяная почва, окультуривание, оптимизация, микробиологическое разнообразие.

Присоединение Беларуси к Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием позволило активизировать международное сотрудничество в этой области и начать разработку национальной программы действий по борьбе с деградацией земель. Одной из причин деградации земель Беларуси явилась проведенная в 1960–1980 гг. широкомасштабная осушительная мелиорация. В результате этого площадь мелиорированных земель составила более 3 млн га, из них около 1 млн га – болот, что вызвало возникновение целого ряда негативных экологических проблем.

Торфяники после осушения подвергаются ускоренному воздействию физико-химических и биологических процессов. Важнейшим из них является усиленная минерализация органического вещества, приводящая не только к уменьшению его запасов, но и к полному исчезновению торфяных почв. Особенно опасен этот процесс для распространенных в республике маломощных торфяников.

К настоящему времени в республике полностью деградировало более 200 тыс. гектаров торфяных почв, на которых слой торфа разрушен полностью или составляет менее 30 см, и этот процесс продолжается. Осушение торфяных почв коренным образом изменяет всю экологическую обстановку в их профиле и создает благоприятные водно-воздушные условия для развития микроорганизмов-деструкторов органического вещества. Участие микроорганизмов в осуществлении протекающих в почве биохимических процессов и их способность к перестройке качественного состава и изменению активности под влиянием экологических условий среды делают очевидной возможность направленного воздействия на деятельность микрофлоры в мелиорированных торфяных почвах.

Обогащение торфяных почв минеральными добавками является активным мелиоративным мероприятием по регулированию их биологической активности. Минеральные компоненты коренным образом изменяют среду обитания почвенных микроорганизмов, непосредственно влияют на их физиологическую и биохимическую активность, а также на взаимосвязь внутри микробиоценоза. Внесение в торф глинистых минералов приводит к более полной гумификации органического вещества, обеспечивает его стабилизацию и уменьшение потерь от микробного разрушения. Наличие глины в торфяных почвах способствует существенному увеличению их биогенности и сравнительно быстрому образованию устойчивых форм гумусовых соединений. При взаимодействии глинистых минералов и метаболитов микроорганизмов возможно образование сравнительно прочных почвенных агрегатов, принимающих участие в торможении биологической минерализации оптимизированных торфяных почв [1].

Исследования академика Н. Н. Бамбалова дали основания сделать заключение, что обогащение торфа глинистыми минералами (монтмориллонитом и каолинитом) сдерживает процессы минерализации органического вещества осокового и тростникового торфа [2]. Для выяснения абсолютных потерь органического вещества торфяной почвы проведен специальный балансовый опыт. Из полученных данных установлено, что под слоем песка 10 см процесс минерализации органического вещества происходил в 2,3 раза медленнее, чем на контроле. При этом с увеличением мощности пескованного слоя усиливается его тормозящее действие. Так, при внесении 400 м<sup>3</sup>/га песка за 4 года минерализовалось 3,6% органического вещества, а при внесении 7 000 м<sup>3</sup>/га – 2,6%. Минерализация на контроле за этот период составила 6,1%. В верхнем пескованном слое почвы скорость минерализации значительно выше, чем на контроле, однако суммарные размеры потерь органиче-

ского вещества ниже, т.к. разложению здесь подвергается меньшее количество торфа [3].

В наших опытах внесение связной супеси в торф вызвало снижение численности некоторых эколого-трофических групп микроорганизмов, принимающих участие в минерализации органического вещества (таблица). Более чем в два раза сократилась численность гетеротрофных бактерий, разрушающих подвижные органические соединения азота; в три-пять раз уменьшилось содержание бацилл и актиномицетов, осуществляющих минерализацию устойчивых органических веществ; почти на порядок снизилось количество денитрифицирующих бактерий [4].

Наиболее существенные изменения микрофлоры почвы произошли в первый год оптимизации. Несмотря на интенсивное перемешивание внесенного грунта с торфом в результате многократной обработки картофеля, численность бактерий, связанных с трансформацией органического азота, оставалась низкой в течение всего вегетационного периода. Снижение численности денитрифицирующих бактерий, осуществляющих анаэробный процесс восстановления азотных соединений, обусловлен улучшением теплового и водно-воздушного режимов почвы. Торможение развития гетеротрофных микроорганизмов в оптимизированной почве наблюдалось в последующие годы – под ячменем и многолетними травами. Аналогичное действие оказала оптимизация на развитие бактерий, потребляющих минеральный азот. Численность их сократилась адекватно сокращению численности гетеротрофных бактерий, освобождающих минеральный азот из растительных остатков. Так как микроорганизмы данной группы отражают уровень обеспеченности среды аммонийным азотом, то снижение их численности указывает на замедление активности аммонификации органического вещества. Численность олиготрофных бактерий практически не зависела от внесенных минеральных компонентов и было одинаково высокой как в исходной, так и в оптимизированной почве. Активное развитие их отражало благоприятные агрохимические условия почвы и в меньшей мере – уровень тех или иных питательных веществ.

*Таблица*

**Изменение биологической активности торфяной почвы под влиянием добавок минерального грунта**

Показатели биологической активности	Картофель		Ячмень		Травы		НСР <sub>0,5</sub>
	фон*	опыт**	фон	опыт	фон	опыт	
1	2	3	4	5	6	7	8
Микроорганизмы (тыс./г абсолютной сухой почвы): гетеротрофные бактерии)	3800	1650	2500	2210	3260	3650	130
Олиготрофные бактерии	6700	5090	7720	7240	5020	4810	160
Бактерии, потребляющие минеральный азот	7360	2870	8440	4350	3910	2200	210
Бациллы	1200	290	330	310	560	370	10
Актиномицеты	1600	670	1800	760	1040	650	30

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Микроскопические грибы	60	30	59	36	34	24	6
Денитрифицирующие бактерии	120	13	55	9	47	4	20
Ферментативная активность: инвертазная, мг глюкозы на 1 г почвы	50	33	31	26	31	32	1,0
Протеолитическая, % разложения желатины	17	15	16	14	34	15	1,0
Уреазная, мг NH <sub>3</sub> /10 г почвы	32	22	36	24	17	10	4,1
Выделение почвой CO <sub>2</sub> (дыхание), мг/100 г почвы	50	35	18	17	15	10	1,2

*Примечание:* фон\* – исходная торфяная почва + NPK; опыт\*\* – фон + 2250 т/га минерального грунта.

#### Библиографический список

1. Зименко Т. Г. Микробиологические процессы в мелиорированных торфяниках Беларуси и их направленное регулирование. Мн. : Наука и техника, 1977. 205 с.
2. Бамбалов Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. Мн. : Наука и техника, 1984. 175 с.
3. Белковский В. И., Горошко В.М. Плодородие и использование торфяных почв. Мн. : Ураджай, 1991. 295 с.
4. Куликов Я. К. Микробиологическое разнообразие и биологическая активность торфяной почвы в условиях ее окультуривания // Веснік Мазырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта імя І. П. Шамякіна. 2020. № 2. С. 39–44.

### СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МИКРОФЛОРЫ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ЕЕ ОКУЛЬТУРИВАНИЯ

*Я. К. Куликов, Е. Е. Гаевский*

*Белорусский государственный университет,  
kulikova22@mail.ru, gaevski@rambler.ru*

Внесение торфа в дерново-подзолистую песчаную почву стимулировало развитие бактерий круговорота азота и повышало активность целлюлозо-разрушающих микроорганизмов, что явилось мощным биологическим фактором, обеспечивающим формирование высокого почвенного плодородия.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, торф, плодородие почв, бактерии круговорота азота, биологический фактор.

В условиях современного интенсивного земледелия все большее значение приобретают вопросы повышения плодородия почв путем обогащения их органическим веществом и улучшения на этой основе структуры почвенного микробиологического разнообразия. В первую очередь коренного улучшения требуют песчано-супесчаные почвы, обладающие низким плодородием и ко-

торые в процессе сельскохозяйственного использования быстро истощаются. Однако увеличение антропогенной нагрузки на почвенный покров, применение возрастающих количеств минеральных удобрений, химических средств защиты растений и другие факторы способствовали повышению концентрации подвижных элементов питания в почвах, что в сочетании с интенсивными обработками отрицательно сказалось на биохимической трансформации свежего органического вещества, привело к нарушениям равновесия в состоянии и функционировании микробоценозов.

При этом значительно возросла интенсивность микробного разложения органических субстратов, которое осуществляется по пути «биологического сгорания» и «выброса углерода» в атмосферу в виде углекислого газа. Ускоренная минерализация свежего органического вещества и возникновение его дефицита в почвах приводит к увеличению микробиологической нагрузки на гумус, более интенсивному его разложению и в конечном итоге к широкому развитию глобальных процессов в деградации гумуса почв [1].

Уменьшение содержания органического вещества в почвах ведет к ослаблению их санитарных функций, разрушению структуры, развитию уплотнения, серьезным нарушениям водно-воздушного и питательного режима почв и в целом к снижению их плодородия [2]. Между плодородием и биологическими процессами, протекающими в почве, существует тесная связь. Разложение и превращение различных органических и минеральных веществ в почве немыслимы без участия микроорганизмов. Внесение в минеральную почву торфяной массы в количестве 200–400 т/га увеличивает почти в 2 раза численность аммонифицирующих бактерий. При этом значительно возрастает число спорообразующих, масляно-кислых, нитрифицирующих и денитрифицирующих бактерий. В почвах, обогащенных торфом, содержание микроорганизмов, ведущих физиологических групп более высокое как в верхнем слое (0–20 см), так и в нижележащих горизонтах (20–40 см). Внесение торфа стимулирует не только увеличение количества микроорганизмов различных физиологических групп, но и повышает ферментативную активность почвы. Особенно повышается активность выделения почвой углекислого газа, что указывает на активизацию биологических процессов [3].

Таким образом, имеющиеся в литературе данные по эффективности внесения торфа в легкие почвы, показывают, что данный агроприем является эффективным способом повышения их биологической активности. Экспериментально это подтверждается результатами наших исследований по коренному улучшению (оптимизации) дерново-подзолистой песчаной почвы путем внесения высоких доз торфа. В оптимизированной почве значительно увеличилась численность всех изучаемых групп микроорганизмов, повысилась ее биологическая активность и связанное с ней плодородие (табл. 1).



Таблица 1

**Содержание гетеротрофных микроорганизмов  
в дерново-подзолистой песчаной почве, тыс./г абсолютно сухой почвы**

Почва	Гетеротрофные бактерии		Споровые бактерии		Актиномицеты		Микроскопические грибы	
	июль	октябрь	июль	октябрь	июль	октябрь	июль	октябрь
Дерново-подзолистая, исходная	1580	1830	590	410	820	2120	350	160
Дерново-подзолистая оптимизированная (400 т/га торфа)	2780	2440	640	780	120	6610	440	150
НСР <sub>0,5</sub>	28,9	30,1	8,1	7,9	14,4	34,5	5,4	2,8

Численность азотобактера в оптимизированной почве возросла в 3 раза (табл. 2). Внесение торфа в минеральную почву стимулировало развитие бактерий круговорота азота, в результате чего улучшилось азотное питание растений, что имеет важное значение для легких минеральных почв. Увеличение численности аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий обеспечило минерализацию внесенного торфа и содержащихся в почве других органических веществ, освобождение азота и превращение его в аммонийные и нитратные соединения. О накоплении в почве подвижного азота свидетельствует активное развитие бактерий, потребляющих минеральный азот, численность которых в оптимизированной почве увеличилось в 3 раза по сравнению с исходной почвой. Надо полагать, что увеличение общего содержания микроорганизмов и повышение ферментативной активности оптимизированной почвы явилось одним из мощных факторов, обеспечивающих ее высокое плодородие.

Таблица 2

**Содержание бактерий круговорота азота в дерново-подзолистой  
песчаной почве, тыс./г абсолютно сухой почвы**

Почва	Азотобактерии, % комочков обрастания	Аммонификаторы	Нитрификаторы	Денитрификаторы	Бактерии, потребляющие минеральный азот
Дерново-подзолистая, исходная	13,2	2130	11,5	1,7	1250
Дерново-подзолистая оптимизированная (400 т/га торфа)	39,5	5620	20,9	1,3	3730
НСР <sub>0,5</sub>	4,8	56,8	0,3	0,2	32,7

Изучение биологической активности почв методом аппликации показало следующие результаты. В почву на глубину 50 см в вертикальном положении закладывались стеклянные пластинки размеров 5 × 50 см, обернутые льняной тканью, предварительно взвешенной. Через определенное время (экспозиция от 30 до 80 дней) пластинки выкапывали, с них осторожно смы-

вались частички почвы, ткань просушивали и повторно взвешивали. По разности веса ткани до и после экспозиции определялась интенсивность жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Микроорганизмы способны фиксировать азот из атмосферы, используя в качестве единственного источника углеродного питания целлюлозу. Эти микроорганизмы, осуществляя разложение целлюлозы растительных остатков, способны обогащать почву азотом [4].

По требовательности к субстрату, особенно к запасу доступного азота, отдельные виды целлюлозоразрушающих микроорганизмов сильно различаются. Наименее требовательны грибы из рода *Dematium*, поэтому доминируют в почвах со слабо развитыми мобилизационными процессами. В более высоком уровне азотного питания нуждаются виды разрушающих клетчатку грибов *Chaetomium*, *Fusarium*. Все виды бактерий, участвующих в разрушении клетчатки, требуют более высокого обеспечения азотом, чем грибы, поэтому в почвах с более благоприятным азотным балансом в значительном количестве появляются микобактерии [5].

В ходе наших исследований установлено, что активность целлюлозоразрушающей микрофлоры постепенно возрастала на 60–70% по мере увеличения доз торфяных добавок. При изучении биологической активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов в зависимости от величины торфяных добавок учитывался также вид возделываемых культур.

При прочих равных условиях самая высокая интенсивность жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов обнаружена под пропашными культурами (картофель). Под многолетними травами степень разложения клетчатки была ниже более чем в 2 раза. Промежуточное положение занимали зерновые культуры (ячмень), где на контроле разложение ткани составило 35,6% от исходного ее веса. С увеличением доз вносимой органики разложение ткани ускорялось и достигало максимальной величины (53,8%) на варианте, где применяли торф в дозе 400 т/га.

Микробиологические процессы в оптимизированной минеральной почве протекали наиболее интенсивно в пахотном горизонте, где сильно возросла общая численность микроорганизмов, особенно аэробных. В более глубоких горизонтах почв активность целлюлозоразрушения заметно снижалась. Это объясняется тем, что участие грибов в разложении целлюлозы с глубиной почвенного профиля снижается. Наибольшее количество микроорганизмов и их высокая активность в горизонте, где сосредоточена корневая система, объясняется тем, что растения выделяют из корней в почву определенное количество органических соединений, которые служат пищей для микроорганизмов. Снижение активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов с глубины более 30 см объясняется уменьшением запаса органических соединений и ухудшением водно-воздушного режима почв. Таким образом, структура микробиологического разнообразия дерно-подзолистой песчаной почвы под действием торфования существенно улучшается, что является важным фактором повышения ее плодородия.

### Библиографический список

1. Куликов Я. К. Экологические функции растительно-микробных симбиозов и их роль в развитии ресурсосберегающих биотехнологий // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. 2022. Т. 67, № 2. С. 243–256.
2. Куликов Я. К. Экологическая полифункциональность микроорганизмов и растительно-микробных комплексов в биоремедиации загрязненных почв // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2023. № 4. С. 4–15.
3. Малышев Ф. А. Мелиорация легких почв суспензией торфа. Мн. : Наука и техника, 1989. 160 с.
4. Езубчик А. А., Чеканова В. М. Полевые микроорганизмы в сельском хозяйстве. Мн. : Ураджай, 1972. 215 с.
5. Зименко Т. Г. Микробиологические процессы мелиорированных торфяников Белоруссии и их направленное регулирование. Мн. : Наука и техника, 1977. 205 с.

## ВЛИЯНИЕ МЕЛИОРАНТОВ И УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ СЕРЫ НА ПОЧВЕННЫЕ ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ

*Л. В. Кондакова<sup>1,2</sup>, Н. В. Сырчина<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru,*  
<sup>2</sup> *ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ecolab2@gmail.com*

Изучено влияние мелиорантов и удобрений, содержащих молотую серу ( $S^0$ ), на видовое разнообразие диатомовых водорослей, обитающих в щелочных засоленных почвах. Установлено, что соответствующие агрохимикаты не оказывают отрицательного влияния на численность и видовое разнообразие Bacillariophyta.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, щелочные засоленные почвы, удобрения, мелиоранты, молотая сера.

Диатомовые водоросли относятся к типичным представителям почвенных микрофототрофов, вносящих значительный вклад в процессы накопления органического вещества и миграцию биогенных элементов, в частности кремния [1]. Благодаря высокой пластичности представители Bacillariophyta способны обитать в различных почвенно-климатических условиях, включая экстремально солено-щелочные почвы [2]. Синтезируемые этими микроорганизмами (МО) и выделяемые во внешнюю среду мукополисахариды улучшают почвенную структуру, уменьшают эрозию и регулируют испарение воды, обеспечивая таким образом благоприятные условия для прорастания семян и развития растений [3]. Клеточные стенки Bacillariophyta покрыты особым пористым кремнийсодержащим «панцирем», который служит источником биодоступного кремния, способствует снижению солевого стресса растений, оказывает благоприятное воздействие на физические и химические свойства почвы. На численность и видовое разнообразие Bacillariophyta существенное влияние оказывают такие факторы, как влажность, pH, температура, содержа-

ние органических и минеральных веществ. Создание условий, благоприятных для жизнедеятельности соответствующих МО, имеет большое значение для повышения почвенного плодородия [4, 5].

В настоящее время опубликовано большое число работ, обосновывающих целесообразность применения молотой серы для улучшения свойств щелочных засоленных почв. Внесение  $S^0$  приводит к снижению кислотности, повышению электропроводности и биодоступности элементов минерального питания, изменению водно-воздушных свойств [6, 7]. Данные изменения оказывают существенное влияние на численность и видовое разнообразие почвенной микробиоты [8]. Изучение направлений соответствующей трансформации имеет большое практическое значение.

Цель работы – изучить реакцию почвенных диатомовых водорослей на мелиоранты и удобрения для щелочных засоленных почв, содержащие в своем составе элементарную серу ( $S^0$ ).

Для выполнения исследований использовали образцы солонцевой почвы, в которую вносили молотую серу  $S^0$  (размер частиц 0,03–0,16 мм), а также серу с добавками минеральных и органических удобрений. Варианты эксперимента:

- 1) Почва без добавок (контроль);
- 2) Почва +  $S^0$  (1,5 г/кг);
- 3) Почва +  $S^0$  (1 г/кг) + фосфоритная мука (2 г/кг);
- 4) Почва +  $S^0$  (1 г/кг) +  $NH_4NO_3$  (0,2 г/кг) + фосфоритная мука (1 г/кг) + хелат железа Fe-ЭДТА (0,2 г/кг) + навоз крупного рогатого скота воздушно-сухой (10 г/кг).

Состав диатомовых водорослей изучали методом постановки водных и чашечных культур со «стеклами обрастания» [9]. Для идентификации видов использовали отечественные и зарубежные определители.

Все исследования проводили в трёхкратной повторности. Статистическую обработку результатов (расчет средних значений и стандартных отклонений) выполняли с помощью библиотеки функций Microsoft Excel. Статистическую значимость различий средних величин оценивали по t-критерию Стьюдента.

В результате исследований было установлено, что внесение всех добавок привело к существенному изменению свойств почвы (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние добавок на свойства солонцевой почвы**

Показатель	Вариант				Метод анализа
	1	2	3	4	
1	2	3	4	5	6
pH	8,8±0,1	<b>8,0±0,2*</b>	8,4±0,3	<b>7,7±0,1</b>	ГОСТ 26423-85
Удельная электропроводность, мкСм/см	260±20	<b>596±61</b>	<b>348±42</b>	<b>986±49</b>	

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,21±0,04	<b>0,32±0,05</b>	<b>0,40±0,08</b>	<b>0,84±0,13</b>	Фотометрический метод по ПНД Ф 14.1:2:4.248-07
K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6,4±0,7	<b>12,7±1,5</b>	6,2±0,8	<b>23,5±2,6</b>	Ионная хроматография по ФР.1.31.2005.017 24 и ФР.1.31.2008.017 38 в фильтрованных вытяжках из почвы при разбавлении в 20–25 раз
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	4,1±0,5	<b>12,7±1,6</b>	4,9±0,6	<b>5,5±0,6</b>	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	35,6±1,3	<b>272,9±24,6</b>	<b>262,6±32,4</b>	<b>504,8±52,1</b>	

Примечание: \* – полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия между экспериментальным и контрольным вариантами (p < 0,05).

Микробиологическое окисление тонкомолотой серы в почве способствовало снижению щелочности, увеличению электропроводности и накоплению в водном растворе основных элементов минерального питания растений (калия, фосфора, азота, серы). Наиболее существенное изменение соответствующих показателей наблюдали в варианте 4, а наименее существенные – в варианте 3, который содержал высокую норму фосфоритной муки, способную нейтрализовать образующиеся в процессе окисления серы кислоты.

Изменение свойств почвы отразилось на видовом разнообразии диатомовых водорослей. Всего во всех вариантах эксперимента было выявлено 8 видов Bacillariophyta. Наиболее обильно в засоленной почве развивались мелкоклеточные представители соответствующей группы. Данные о видовом разнообразии диатомовых водорослей, выявленных в разных вариантах эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 2

### Видовое разнообразие Bacillariophyta

Выявленные виды Bacillariophyta*	Варианты эксперимента			
	1	2	3	4
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun. in Cleve et Grun	+	+	+	+
<i>Navicula</i> sp.	+	+	+	+
<i>Luticola mutica</i> (Kütz.) Mann in Round et al.	+			
<i>Navicula atomus</i> (Kütz.) Grun.				+
<i>Navicula minima</i> Grun. in Van Heurck			+	+
<i>Navicula pelliculosa</i> (Breb.) Hilse	+	+	+	+
<i>Pinnularia borealis</i> Ehr.				+
<i>Pinnularia</i> sp.		+	+	+
Всего Bacillariophyta	4	4	5	7

Примечание: \* Названия видов приведены в соответствии с международной номенклатурой (www.algaebase.org).

Наибольшее число видов Bacillariophyta было выявлено в варианте 4. Можно предположить, что некоторые из этих видов были занесены в почву в составе навоза. К числу таких видов можно отнести *Navicula atomus* и *Pinnularia borealis*, которые не встречались в вариантах без навоза. *Luticola mutica* была выявлена только в варианте почвы без серосодержащих добавок (контроль).

Выполненные исследования показали, что мелиоранты и удобрения на основе молотой серы не оказывают выраженного негативного воздействия на видовое разнообразие диатомовых водорослей, обитающих в щелочных засоленных почвах. Включение в состав молотой серы фосфоритной муки и навоза способствует увеличению видового разнообразия Bacillariophyta. Возможное отрицательное влияние молотой серы на *Luticola mutica* в щелочных засоленных почвах требует дополнительных исследований.

#### Библиографический список

1. Артамонова В. С., Бортникова С. Б. Диатомовые водоросли в почвообразовании. DOI: 10.25750/1995-4301-2016-2-004-011 // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 2. С. 4–11.
2. Diversity and spatial distribution of soil diatoms along a natural altitudinal gradient in the High Atlas (Morocco) / F. Minaoui, Z. Hakkoum, M. Douma et al. // Diatom Research. 2021. Vol. 36. No. 3. P. 237–251.
3. Temporal and spatial variability of terrestrial diatoms at the catchment scale: controls on productivity and comparison with other soil algae / J. Foets, C. E. Wetzel, A. J. Teuling, L. Pfister // PeerJ. 2020. Vol. 8. Article No. e9198.
4. 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.
5. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Влияние хвостов обогащения фосфоритов, используемых в качестве удобрения, на почвенные альгоцианобактериальные сообщества. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-174-180 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 174–180.
6. 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.
7. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Применение серосодержащих отходов для восстановления плодородия щелочных засоленных почв // Актуальные вопросы устойчивого развития регионов, отраслей, предприятий : материалы Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 кн. Кн. 2. Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2024. С. 326–331.
8. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В. Альгоцианофлора щелочных засоленных почв // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 кн. Кн. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 136–140.
9. Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. М. : Наука, 1976. 143 с.

# ИЗУЧЕНИЕ АНТАГОНИСТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ *TRICHODERMA* SPP. В ОТНОШЕНИИ НАИБОЛЕЕ ВРЕДНОСНЫХ ФИТОПАТОГЕНОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**П. А. Стариков**

*Вятский государственный агротехнологический университет,  
ya.starikov-pavel@yandex.ru*

Представлены результаты исследования антагонистических свойств микромицетов р. *Trichoderma*, у которых выявлена способность ингибировать рост фитопатогенов в условиях *in vitro* на 60–79%, а также проявлять гиперпаразитизм в отношении отдельных представителей инфекционной микробиоты растений.

Ключевые слова: *Trichoderma*, антагонизм, гиперпаразитизм, фитопатогены.

Поражение сельскохозяйственных культур различными фитопатогенными микромицетами является одним из основных факторов, снижающих продуктивность растений в условиях Европейского Северо-Востока России [1]. Ключевым подходом по контролю эпифитотий в настоящее время по-прежнему остаётся использование химических средств защиты [2]. Повсеместное и интенсивное применение фунгицидов привело к накоплению токсичных соединений, потенциально опасных для человека и окружающей среды, а также к повышению резистентности патогенов [3]. Поэтому одним из направлений по совершенствованию и экологизации земледелия является замена ядохимикатов средствами биологического контроля на основе высокоактивных микробных штаммов [4].

Среди грибов, антагонистичных по отношению к фитопатогенам, наиболее распространены представители р. *Trichoderma* [5, 6]. Некоторые штаммы триходермы способны проявлять следующие основные механизмы биологической активности: паразитизм, антибиоз, способность к конкуренции за субстрат, а также запуск индуцированной устойчивости растений [7]. Кроме того, эти микромицеты способны к стимуляции роста растений за счёт мобилизации труднодоступных почвенных элементов и продукции фитогормонов [8, 9]. В связи с этим поиск высокоэффективных и технологичных штаммов р. *Trichoderma* является актуальным направлением в биологизации земледелия.

Цель данной работы – оценить антифунгальные свойства перспективных микромицетов р. *Trichoderma* в отношении наиболее вредоносных грибковых и грибоподобных фитопатогенов Кировской области.

В работе использовали 2 штамма грибов рода *Trichoderma*, отобранные по результатам скрининга их антагонистической активности в отношении *F. culmorum*. Этот фузариум является одним из наиболее вредоносных фито-

патогенов злаковых культур на территории Европейского Северо-Востока России. Штамм триходермы К-01П выделен из почвенного образца, отобранного у берега реки Мостовицы в микрорайоне «Чистые пруды» города Кирова (дата сбора – октябрь, 2021 г.). В предыдущих опытах определили, что *Trichoderma* sp. К-01П обладает контактным механизмом фунгицидной активности, которая проявляется в виде его гиперпаразитических свойств в отношении фузариума [10]. Изолят микромицета К-02Т взят с поверхности плодового тела трутовика, произрастающего на территории Кировского дендрологического парка (дата сбора – ноябрь, 2021 г.). У данного штамма ранее была выявлена способность останавливать развитие культуры *F. culmorum* после сближения мицелиев в чашке Петри, а также к небольшому проявлению микопаразитизма. Кроме того, в предыдущей серии лабораторных опытов методом диффузии в агар показана способность изолята К-02Т вызывать лизис мицелия данного вида фузариума [11]. Примечательно, что по результатам скрининга остальные 24 изолята триходермы не показали антагонистических свойств в отношении тест-культуры: рост *Fusarium culmorum* продолжался даже после контакта с колониями *Trichoderma* spp.

В качестве тест-культур использовали штаммы фитопатогенных микромицетов pp. *Fusarium*, *Sclerotinia*, *Colletotrichum*, *Alternaria*, *Phytophthora*, *Aureobasidium*. Культура *Fusarium oxysporum* взята из коллекции лаборатории иммунитета и защиты растений, культуры *F. proliferatum*, *F. moniliforme*, *Alternaria alternata*, *Aureobasidium pullulans* – из лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов ФАНЦ Северо-Востока. *Phytophthora infestans* любезно предоставлена микологом-любителем Солодовником С. (г. Белгород). Остальные микромицеты, а именно *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium* sp. Ч-23, *Fusarium* sp. Т-21, *Colletotrichum* sp., взяты из личной коллекции автора исследования.

Антагонистические свойства *Trichoderma* spp. исследовали *in vitro* методом встречных культур на чашке Петри [12]. Культуры микромицетов высевали одновременно уколом в агаризованную среду Чапека на расстоянии 8 см друг от друга. Опыт проводили в трёх повторностях. Культивировали при температуре  $22 \pm 1$  °С в течение 14 суток и оценивали динамику роста тест-культур, измеряя радиус колоний микромицетов в направлении, перпендикулярном черте, которая делит чашку на 2 равные части.

Для оценки антагонистической активности триходермы по отношению к фитопатогенам определяли степень угнетения тест-культуры через 7 и 14 суток совместного культивирования. Оценивали развитие фитопатогенов по следующей шкале, предложенной Д. В. Войткой с соавторами: А – сильное угнетение патогена, Б – патоген угнетён в слабой степени, В – отсутствие угнетения, Г – вся колония патогена покрыта антагонистом. Знаком «+» обозначали нарастание *Trichoderma* sp. на колонию фитопатогена, «++» – образование участков спороношения, «+++» – спороношение антагониста покрывает всю колонию тест-культуры, «-» – наличие стерильной зоны. Паразитическую активность грибов р. *Trichoderma* в отношении микромицетов опреде-



ляли через 2 недели по 4-балльной шкале, учитывая процент площади колонии фитопатогена, покрытый штаммом-антагонистом: 0 – нет нарастания, 1 – до 25%, 2 – 25–50%, 3 – 50–75%, 4 – 75–100% [5].

Также оценивали способность фитопатогенов нарастать на площадь агара, занятую штаммами триходермы.

Степень ингибирования вегетативного роста колоний тест-культур в присутствии триходермы вычисляли по формуле [13]:

$$I = \frac{X - Y}{X} \cdot 100,$$

где  $I$  – показатель ингибирования, %;  $X$  – радиус колонии тест-культуры в контроле, мм;  $Y$  – радиус колонии тест-культуры в присутствии триходермы, мм.

Статистический анализ полученных результатов проводили в пакетах программ AGROS (версия 2.07.) и Microsoft Office Excel. Для оценки достоверности полученных результатов рассчитывали показатель  $НСР_{0,95}$  – наименьшую существенную разницу на уровне доверительной вероятности 0,95.

Согласно результатам оценки антагонистического действия перспективных изолятов р. *Trichoderma*, оба штамма в той или иной степени подавляли развитие колоний фитопатогенных микромицетов (рис. 1 и 2, табл. 2). Против *Aureobasidium pullulans*, *Alternaria alternata* изоляты К-01П и К-02Т проявили гиперпаразитическую активность на высоком уровне, ингибируя радиальный рост этих фитопатогенов на 60–71%. В отличие от *Trichoderma* sp. К-02Т, штамм К-01П также продемонстрировал высокие паразитические свойства в отношении патогенов картофеля *Phytophthora infestans* и *Colletotrichum* sp. (с подавлением мицелиального роста на 72 и 64% соответственно).

*Trichoderma* sp. К-01П проявил способность останавливать рост патогенного для туй *Fusarium* sp. Т-21 и продемонстрировал при этом среднюю гиперпаразитическую активность, обрастая колонию фузариума на 40–50% её площади.

При совместном культивировании с остальными тест-культурами К-01П формировал спороношение на колониях фитопатогенов в слабой степени (менее 25%) и ингибировал их рост на 51–63%. При этом наблюдалось медленное нарастание микромицетов *Fusarium* sp. Ч-23, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium moniliforme*, *Fusarium proliferatum*, *Sclerotinia sclerotiorum* на колонию штамма К-01П. Эти же фитопатогены, а также *Colletotrichum* sp. и *Fusarium* sp. Т-21 нарастали на площадь агара, занятую изолятом К-02Т, но с гораздо более низкой скоростью, чем при росте фитопатогенов в контроле. Примечательно, что *Trichoderma* sp. К-02Т проявил способность формировать спороношение на мицелии практически всех грибов (кроме *Fusarium* sp. Т-21), чьи колонии увеличивались в радиусе после контакта с антагонистом.

В ходе анализа антагонистической активности не было выявлено способности исследуемых штаммов триходермы к антибиозу и образованию стерильных зон отсутствия роста тест-культур. Было показано, что основными

биологическими стратегиями, которые реализуются в условиях *in vitro* изолятами К-01П и К-02Т в отношении исследуемых фитопатогенов, являются конкуренция за питательный субстрат и гиперпаразитизм.

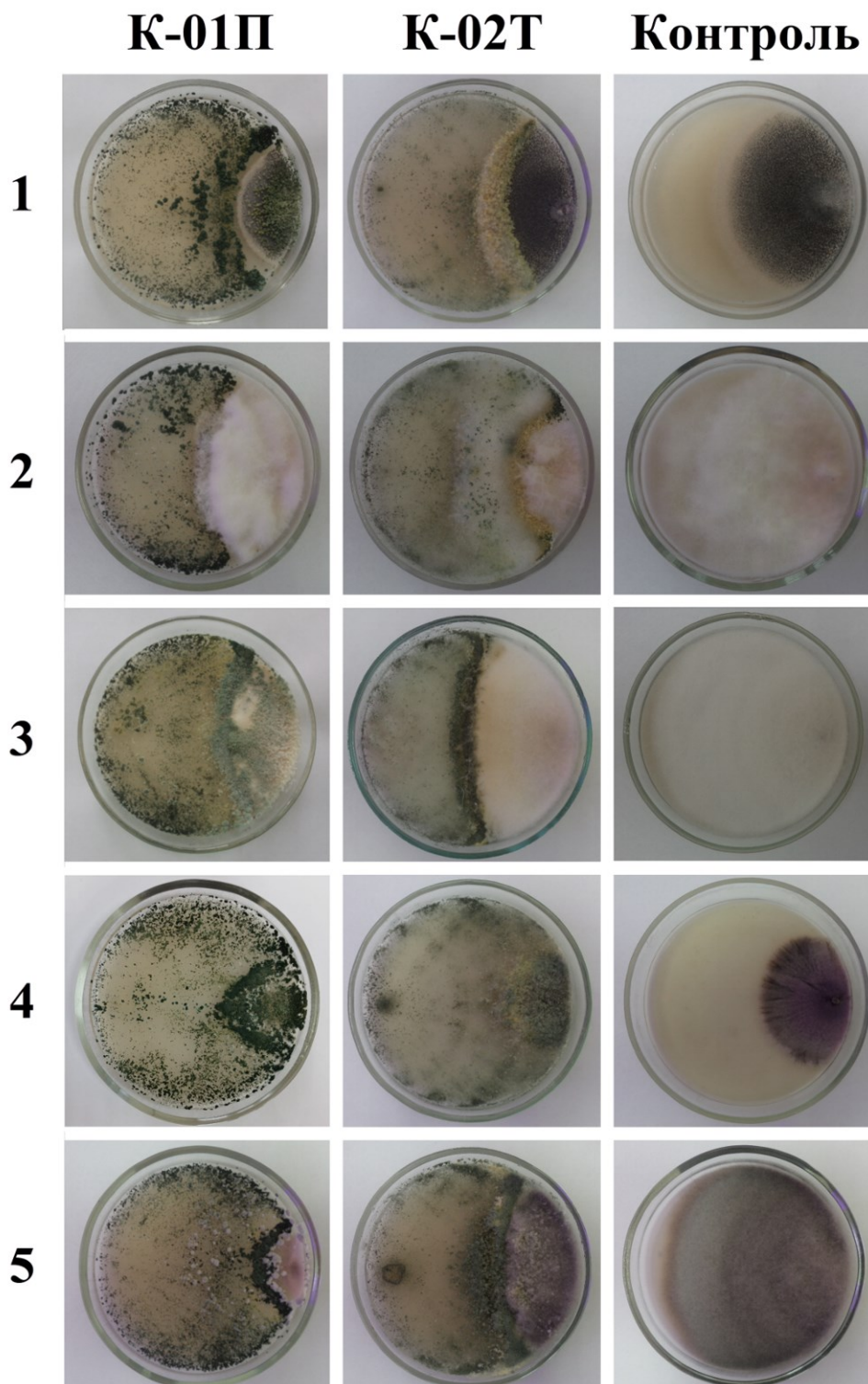


Рис. 1. Антагонистическая активность *Trichoderma* spp. К-01П и К-02Т в отношении фитопатогенных микромицетов после 14 суток совместного культивирования: 1 – *Colletotrichum* sp., 2 – *Sclerotinia sclerotiorum*, 3 – *Phytophthora infestans*, 4 – *Aureobasidium pullulans*; 5 – *Alternaria alternata*

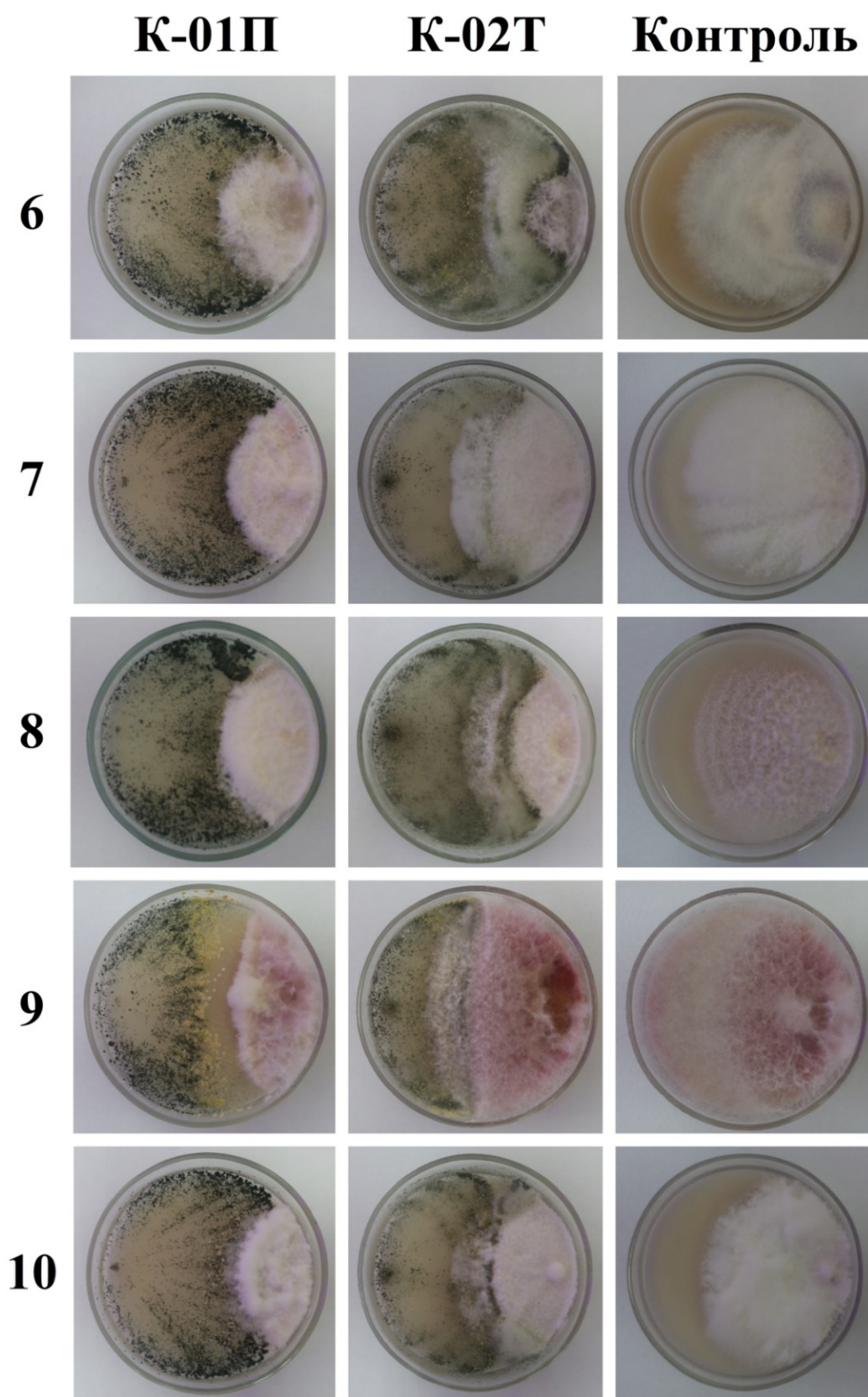


Рис. 2. Антагонистическая активность *Trichoderma* spp. К-01П и К-02Т в отношении фитопатогенных микромицетов после 14 суток совместного культивирования: 6 – *Fusarium* sp. Ч-23; 7 – *F. proliferatum*; 8 – *F. oxysporum*; 9 – *Fusarium* sp. Т-21; 10 – *F. moniliforme*

Активность *Trichoderma* spp. в отношении фитопатогенов

Тест-культура	Вариант	Радиус колонии на сут., мм		Ингибирование роста на сут., %		Характер антагонизма	Нарастание патогена
		7-ые	14-ые	7-ые	14-ые		
<i>Colletotrichum</i> sp.	К-01П	17,7±1,5	19,0±1,7	31,2	64,2	Г+++4	нет
	К-02Г	25,3±0,6	37,3±2,1	1,3	29,6	Б++2	да
	Контр.	25,7±0,6	53,0±1,0	–	–	–	–
	НСР <sub>0,95</sub>	2,389	3,998	–	–	–	–
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	К-01П	29,0±1,0	37,0±1,0	23	60,1	А0	да
	К-02Г	27,0±0	46,3±1,5	28,3	50	А++3	да
	Контр.	37,7±0,6	92,7±4,0	–	–	–	–
	НСР <sub>0,95</sub>	1,195	6,862	–	–	–	–
<i>Phytophthora infestans</i>	К-01П	25,7±1,2	25,7±1,2	46,5	71,8	Г+++4	нет
	К-02Г	38,0±1,0	40,0±0	20,8	56	А++1	нет
	Контр.	48,0±0	91,0±1,0	–	–	–	–
	НСР <sub>0,95</sub>	1,999	1,511	–	–	–	–
<i>Aureobasidium pullulans</i>	К-01П	10,7±1,2	10,7±1,2	38,5	70,6	Г+++4	нет
	К-02Г	13,0±1,0	14,7±2,5	25	59,6	Г+++4	нет
	Контр.	17,3±0,6	36,3±0,6	–	–	–	–
	НСР <sub>0,95</sub>	2,448	4,307	–	–	–	–
<i>Alternaria alternata</i>	К-01П	23,7±2,3	25,7±5,0	33,3	70,2	Г+++4	нет
	К-02Г	27,3±2,1	27,3±2,1	23	68,2	А++3	нет
	Контр.	35,3±0,6	86,0±0	–	–	–	–
	НСР <sub>0,95</sub>	4,867	6,673	–	–	–	–
<i>Fusarium</i> sp. Ч-23	К-01П	18,3±1,5	26,3±2,3	39,6	62,4	А++1	да
	К-02Г	19,7±0,6	39,0±3,6	35,2	44,3	А++3	да
	Контр.	30,3±3,2	70,0±3,0	–	–	–	–
	НСР <sub>0,95</sub>	5,289	7,441	–	–	–	–
<i>Fusarium proliferatum</i>	К-01П	23,0±2,0	28,0±1,7	28,9	63,3	А++1	да
	К-02Г	27,0±2,0	50,3±2,5	16,5	34,1	Б++1	да
	Контр.	32,3±1,5	76,3±3,5	–	–	–	–
	НСР <sub>0,95</sub>	3,998	5,124	–	–	–	–
<i>Fusarium oxysporum</i>	К-01П	21,3±0,6	36,7±2,1	26,4	50,2	А++1	да
	К-02Г	27,0±1,0	50,3±1,5	6,9	31,7	Б++2	да
	Контр.	29,0±1,0	73,7±1,5	–	–	–	–
	НСР <sub>0,95</sub>	1,999	4,596	–	–	–	–
<i>Fusarium</i> sp. Т-21	К-01П	28,7±1,2	29,3±0,6	49,4	79,4	А++2	нет
	К-02Г	42,3±1,5	59,8±1,7	25,4	58,1	А0	да
	Контр.	56,7±1,5	142,7±1,5	–	–	–	–
	НСР <sub>0,95</sub>	3,889	2,724	–	–	–	–
<i>Fusarium moniliforme</i>	К-01П	22,3±1,5	35,0±5,0	32,3	51,2	А++1	да
	К-02Г	27,5±1,2	43,3±3,5	16,7	39,5	Б++2	да
	Контр.	33,0±0	71,7±0,6	–	–	–	–
	НСР <sub>0,95</sub>	1,851	7,403	–	–	–	–

Примечание: прочерк обозначает, что значения не определялись.

В качестве питательного субстрата для опыта *in vitro* выбрана среда Чапека. На этом субстрате, по данным наблюдений, триходерма не формирует обильного спороношения, а фитопатогены, особенно представители рода *Fusarium*, отличаются большей скоростью мицелиального роста и образуют более мощный воздушный мицелий, чем на классической картофельно-глюкозной среде. Именно в таких условиях создаются предпосылки для более тщательного отбора штаммов *Trichoderma* spp. на основе их антифунгальных свойств.

Согласно анализа полученных данных, штаммы *Trichoderma* spp. К-01П и К-02Т являются перспективными для разработки средств биологического контроля против ряда экономически значимых фитопатогенов. В последующем необходимы детальное исследование защитных и фитостимулирующих свойств этих микромицетов в лабораторных и полевых опытах на различных сельскохозяйственных культурах, а также поиск наиболее оптимальных технологических параметров получения их биомассы для создания препаративных форм.

Таким образом, изоляты микромицетов р. *Trichoderma* К-01П и К-02Т, ранее отобранные по результатам скрининга антагонистической активности к патогену злаковых *Fusarium culmorum*, показали возможность их более широкого применения для защиты растений от грибковых и грибоподобных фитопатогенов. Изолят К-01П паразитически активен в отношении *Aureobasidium pullulans*, *Alternaria alternata*, *Phytophthora infestans*, *Colletotrichum* sp., *Fusarium* sp. Т-21 (подавление роста на 64–79%). *Trichoderma* sp. К-02Т проявил гиперпаразитические свойства к *Aureobasidium pullulans* и *Alternaria alternata*, подавляя их рост на 60 и 68% соответственно.

#### Библиографический список

1. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М. Фитопатогенная биота в условиях потепления климата (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-006-013 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 6–13.
2. Долженко В. И., Сухорученко Г. И., Лаптиев А. Б. Развитие химического метода защиты растений в России. DOI: 10.47528/1026-8634\_2021\_4\_3 // Защита и карантин растений. 2021. № 4. С. 3–13.
3. Perveen K., Bokhari N. A. Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* isolated from soil of date palm field against *Fusarium oxysporum*. DOI: 10.5897/AJMR12.247 // African Journal of Microbiology Research. 2012. Vol. 6. No. 13. P. 3348–3353.
4. Роль интродуцированных микробов – антагонистов фитопатогенных микромицетов в повышении супрессивности почвы / И. И. Новикова, Э. В. Попова, И. В. Бойкова и др. // Защита и карантин растений. 2016. № 8. С. 35–43.
5. Войтка Д. В., Юзефович Е. К., Атакишиева Я. Ю. Скрининг антагонистической активности грибов р. *Trichoderma* по отношению к доминирующим корнеобитающим патогенам овощных культур, изолированным на территории Беларуси и Азербайджана // Защита растений. 2019. № 43. С. 144–152.
6. Микробы-антагонисты против фитопатогенных бактерий и грибов (обзор) / Л. И. Домрачева, С. Г. Скугорева, П. А. Стариков и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-2-006-014 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 6–14.



7. *Trichoderma*: the «secrets» of a multitaled biocontrol agent / M. Sood, D. Kapoor, V. Kumar et al. DOI: 10.3390/plants9060762 // Plants (Basel). 2020. Vol. 9. No. 6. Article No. 762.

8. Hoyos-Carvajal L., Orduz S., Bissett J. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2009.07.018 // Biological Control. 2009. Vol. 51. No. 3. P. 409–416.

9. Phosphate solubilization by *Trichoderma koningiopsis* (NBRI-PR5) under abiotic stress conditions / A. Tandon, T. Fatima, Anshu et al. DOI: 10.1016/j.jksus.2019.02.001 // Journal of King Saud University – Science. 2020. Vol. 32. No. 1. P. 791–798.

10.1016/j.jksus.2019.02.001 // J. King Saud Univ. - Sci. 2020. Vol. 32. No. 1. P. 791–798.

10. Новые изоляты рода *Trichoderma* как перспективные агенты биоконтроля / П. А. Стариков, Л. И. Домрачева, Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 15 ноября 2023 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 237–242.

11. Стариков П. А., Шешегова Т. К. Скрининг изолятов *Trichoderma* spp., перспективных для биоконтроля *Fusarium culmorum* // Микроорганизмы и плодородие почвы : материалы I Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Е. М. Панкратовой. (г. Киров, 21–25 февраля 2022 г.). Киров : Вятский ГАТУ, 2022. С. 128–131.

12. Егоров Н. С. Практикум по микробиологии. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1976. 307 с.

13. *Trichoderma* counteracts the challenge of *Phytophthora nicotianae* infections on tomato by modulating plant defense mechanisms and the expression of crinkler, necrosis-inducing *Phytophthora* protein 1, and cellulose-binding elicitor lectin pathogenic effectors / F. L. Spada, C. Stracquadanio, M. Riolo et al. DOI: 10.3389/fpls.2020.583539 // Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 11. P. 1–16.

## **ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН МИКРОМИЦЕТОМ *TRICHODERMA* И АЗОТФИКСАТОРАМИ НА ВСХОЖЕСТЬ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ**

**П. А. Стариков<sup>1</sup>, Д. А. Быстрякова<sup>2</sup>, П. Д. Степанов<sup>1</sup>, Г. Р. Ахмедов<sup>1</sup>,  
И. А. Кинчин<sup>1</sup>, А. Р. Ордина<sup>1</sup>, В. Р. Абазов<sup>1</sup>, В. А. Полякова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Вятский государственный агротехнологический университет,

*ya.starikov-pavel@yandex.ru,*

<sup>2</sup> МОАУ СОШ с УИОП № 37

Изучено влияние микробных инокулянтов на основе антагониста рода *Trichoderma*, азотфиксаторов *Azotobacter* sp. и *Fischerella muscicola*, а также их сочетаний на проростки пшеницы яровой и горчицы белой. В случае обеих тест-культур наблюдалось достоверное увеличение морфометрических параметров в варианте с использованием монокультуры азотобактера. Обнаружен фитотоксический эффект смеси триходермы и фишереллы в отношении проростков пшеницы.

Ключевые слова: пшеница яровая, горчица белая, *Trichoderma*, *Azotobacter*, *Fischerella*, фиторегуляция.

Грибы рода *Trichoderma* относятся к одним из наиболее перспективных агрономически полезных микроорганизмов [1]. Их уникальные свойства, которые находят широкое применение в растениеводстве, обусловлены физиолого-биохимическими особенностями этих микромицетов, спецификой секретруемых вторичных метаболитов, а также способностью формировать антагонистические отношения с фитопатогенами и проявлять синергизм в ассоциациях с различными полезными для растений ризобактериями [2–4].

Так, одними из перспективных партнёров триходермы являются свободноживущие diaзотрофные бактерии. В частности, приводятся сведения о том, что при использовании комбинированного инокулянта на основе *Trichoderma viride* и *Azotobacter chroococcum* улучшается рост нута, хлопчатника и пшеницы, в том числе, за счёт повышения доступности почвенных элементов питания [5]. В другой серии опытов показано положительное влияние биоплёнки триходермы в сочетании с азотобактером на индукцию активности защитных ферментов в проростках хлопчатника и пшеницы в условиях фитотрона [6].

Также в литературе описаны эксперименты по применению комбинированных инокулянтов на основе грибов р. *Trichoderma* и цианобактериальных видов. Сообщается о положительном влиянии обработки семян хлопчатника консорциумом *T. viride* и *Anabaena* sp. При использовании данного инокулянта была зарегистрирована самая большая сырая масса растений в опыте, а также отмечены наилучшие результаты в плане биологического контроля ризоктониоза в полевых условиях [7].

Всё вышесказанное свидетельствует о необходимости более детального изучения микробных ассоциаций триходермы и азотфиксаторов в аспекте разработки новых биопрепаратов для растениеводства и расширения ассортимента культур для испытания инокулянтов.

Цель работы – изучение возможности использования для инокуляции семян горчицы и пшеницы монокультур *Trichoderma* sp., бактерий-азотфиксаторов, а также их сочетаний.

Фитотостимулирующие свойства инокулянтов оценивали методом культуры на чашках Петри. В качестве тест-культур в опыте использовали горчицу белую (*Sinapis alba* L.), пшеницу яровую (*Triticum aestivum* L.) сорта Баженка.

Для инокуляции семян использовали 3 штамма микроорганизмов как в монокультурах, так и в сочетаниях. Используемый в опыте изолят *Trichoderma* sp. К-01П, который был выделен из почвы на берегу р. Мостовица в микрорайоне «Чистые пруды», г. Киров, ранее показал сильные антагонистические свойства в отношении ряда фитопатогенов. Вторым объектом был штамм 300 цианобактерии *Fischerella muscicola* (Thur.) Gom., изолированный из дерново-подзолистой почвы в Кировской области. Также в качестве микробного инокулянта использовали *Azotobacter* sp., выделенный из ризосферы яровой пшеницы.

Перед закладкой опыта в каждую чашку Петри раскладывали по 2 диска фильтровальной бумаги. Чашки с бумагой стерилизовали путем автоклавирования. Семена замачивали на 30 минут в микробных суспензиях непосредственно перед посевом.

Варианты опыта: 1 – контроль, 2 – *Trichoderma* sp., 3 – *Fischerella muscicola*, 4 – *Azotobacter* sp., 5 – *Trichoderma* + *Azotobacter*, 6 – *Azotobacter* + *Fischerella*, 7 – *Trichoderma* + *Fischerella*, 8 – *Trichoderma* + *Azotobacter* + *Fischerella*, 9 – Трихоцин СП (эталонный биопрепарат).

Титр *Trichoderma* sp. составлял  $1,5 \cdot 10^7$  конидий/мл, *Azotobacter* sp. – 5 МЕ, *Fischerella muscicola* –  $1 \cdot 10^7$  КОЕ/мл. Титры суспензий триходермы и фишереллы определяли путем подсчета в камере Горяева. Суспензию азотобактера готовили в соответствии с отраслевым стандартным образцом мутности бактериальных взвесей серии S-2/5-010719 на 5 международных единиц мутности (МЕ) (5 МЕ ориентировочно соответствует концентрации  $5 \cdot 10^8$  клеток/мл). В контроле семена замачивали в воде. Рабочую суспензию эталонного биопрепарата готовили в соответствии с инструкцией производителя. В вариантах с комбинированными инокулянтами смешивали суспензии в равных объёмных соотношениях. Опыт проводили в 3-х повторностях по 20 семян в каждой. Смочили фильтры кипяченой артезианской водой марки «Ключ здоровья» (по 3 мл на чашку с 2 фильтрами). Дополнительно добавили воду в чашки в количестве 60% от массы семян. Инкубировали чашки в темноте при температуре  $22 \pm 1$  °C в течение 6 суток.

При снятии опыта промеряли длину корней и высоту стебля, определяли всхожесть и вычисляли индекс роста по формуле:

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

где  $I$  – индекс роста,  $R$  – среднее значение длины корней, мм,  $P$  – среднее значение высоты проростков, мм,  $D$  – доля проросших семян, %.

Данные обрабатывали стандартными методами статистики с использованием программ Microsoft Office Excel 2010 и AGROS207. В таблицах и на рисунках представлены средние значения из трёх повторений и их стандартные отклонения. Для доказательства достоверности результатов опыта рассчитывали показатель НСР<sub>0,95</sub> – наименьшую существенную разность при 5%-ном уровне значимости.

Согласно результатам опыта, выбранная партия семян горчицы характеризуется следующими показателями лабораторной всхожести: у горчицы – от 83,3 до 93,3%, пшеницы – от 91,7 до 98,3%. Достоверных различий по показателю всхожести в вариантах опыта не выявлено (табл.).

Наиболее объективно оценить состояние растений позволяет интегрированный показатель – индекс роста, при вычислении которого учитываются такие параметры, как всхожесть, длина корня и высота стебля.



**Влияние микроорганизмов и их консорциумов  
на всхожесть семян и индекс роста проростков**

Вариант	Горчица белая ( <i>Sinapis alba</i> L.)		Пшеница яровая ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	
	Всхожесть, %	Индекс роста, усл. ед.	Всхожесть, %	Индекс роста, усл. ед.
Контроль	83,3±2,9	9565,0±683,5	98,3±2,9	16725,0±195,0
<i>Trichoderma</i> sp.	91,7±2,9	11533,0*±472,8	93,3±7,6	15250,1±2661,5
<i>F. muscicola</i>	91,7±2,9	12736,5*±787,3	91,7±2,9	16103,2±900,0
<i>Azotobacter</i> sp.	91,7±2,9	12211,3*±553,8	93,3±2,9	17892,0±321,4
<i>T.</i> + <i>Az.</i>	88,3±5,8	11306,5*±1115,2	98,3±2,9	17641,6±1145,5
<i>Az.</i> + <i>Fisc.</i>	90,0±0	11475,3*±536,5	96,7±2,9	18164,4±321,4
<i>T.</i> + <i>Fisc.</i>	88,3±10,4	10305,9±1295,0	91,7±2,9	12823,5*±1644,1
<i>T.</i> + <i>Az.</i> + <i>Fisc.</i>	91,7±10,4	10757,5±1034,9	96,7±2,9	16957,8±484,7
Трихоцин, СП	93,3±2,9	11465,8*±274,7	91,7±2,9	15693,4±891,7
НСР <sub>0,95</sub>	–	1395,305	–	2201,570

Примечание: \* – различия с контролем достоверны при  $p \leq 0,05$ ; *T.* – *Trichoderma* sp., *Fisc.* – *F. muscicola*, *Az.* – *Azotobacter* sp.

В случае проростков пшеницы не наблюдалось достоверного увеличения индекса роста в вариантах опыта. При этом существенное к контролю снижение данного показателя в 1,3 раза наблюдалось в варианте с инокуляцией смесью *Trichoderma* + *Fischerella*. В этом же варианте при обработке пшеницы было зафиксировано достоверное уменьшение длины стебля (на 12,1%) и корня (на 18,3%). Такой инокулянт в условиях лабораторного опыта проявил максимальную фитотоксичность на фоне других вариантов. Но при этом нельзя исключать ситуации, что под влиянием внешней среды при высеве семян в почву этот эффект может нивелироваться.

В условиях лабораторного опыта инокуляция семян пшеницы азотобактером привела к достоверной прибавке длины корня относительно контроля и эталонного биопрепарата (на 15,5 и 13,9% соответственно) (рис.).

При испытании инокулянтов на проростках горчицы индекс роста достоверно увеличился на 18,2–27,7% при обработке эталонным биопрепаратом, *Trichoderma* sp., *Trichoderma* + *Azotobacter*, *Azotobacter* + *Fischerella* и монокультурой азотобактера, а максимальное к контролю значение индекса роста наблюдалось при инокуляции культурой *F. muscicola* (увеличение на 33,2%).

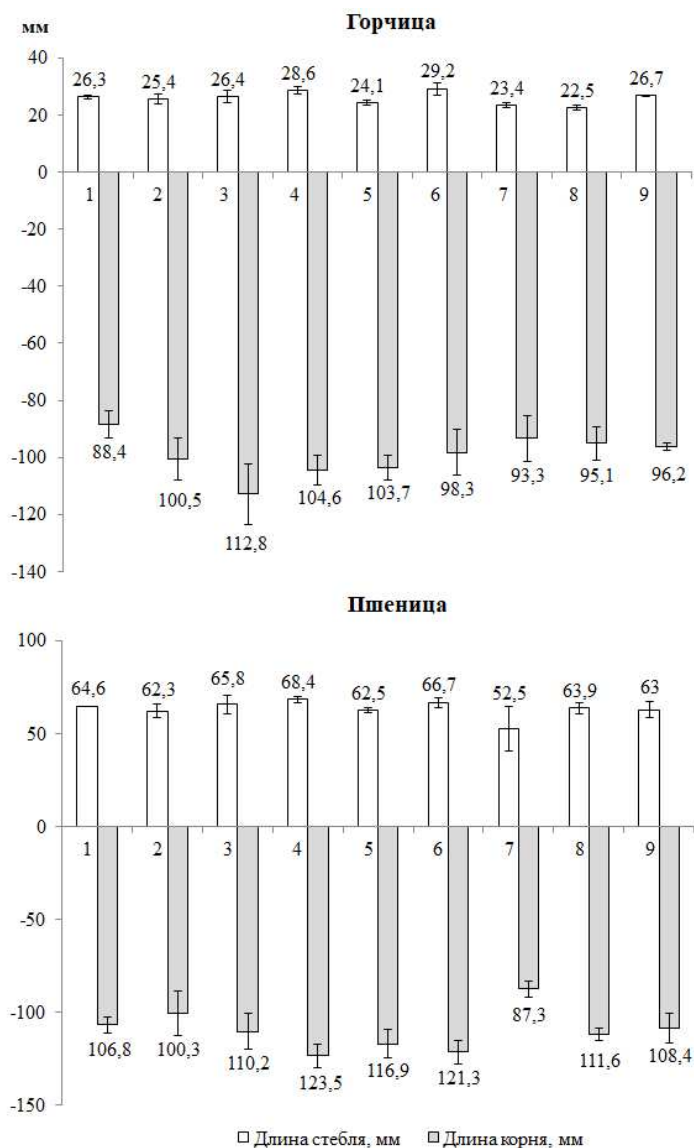


Рис. Линейный рост проростков горчицы белой и пшеницы яровой в зависимости от микробной инокуляции: 1 – контроль, 2 – *Trichoderma* sp., 3 – *Fischerella muscicola*, 4 – *Azotobacter* sp., 5 – *Trichoderma* + *Azotobacter*, 6 – *Azotobacter* + *Fischerella*, 7 – *Trichoderma* + *Fischerella*, 8 – *Trichoderma* + *Azotobacter* + *Fischerella*, 9 – Трихоцин СП

Длина главного корня горчицы возросла под действием всех моно- и ассоциативных культур, при этом достоверное увеличение показателя зафиксировали в вариантах с обработкой триходермой (на 13,7%), смесью *Trichoderma* + *Azotobacter* (на 17,3%), азотобактером (на 18,3%) и фишереллой (на 27,6%). Небольшое, но достоверное к контролю и эталону возрастание высоты надземной части горчицы наблюдалось при инокуляции монокультурой азотобактера и его сочетанием с *F. muscicola* (на 8,7 и 11,0% соответственно). В то же время двойные и тройные инокулянты на основе *Trichoderma* sp. на 8,3–14,4% ингибировали развитие надземной части проростков горчицы. Повидимому, фитостимулирующая активность бактерий-азотфиксаторов не-

сколькo подавляется в присутствии метаболитов триходермы в лабораторных условиях на начальных стадиях онтогенеза горчицы.

В целом ассоциации *Trichoderma* sp. с азотобактером и *F. muscicola* не оказали такого же высокого фитостимулирующего действия, как моно- и бинарные смеси бактерий-азотфиксаторов. При этом по результатам скрининга антагонистической активности штамм *Trichoderma* sp. К-01П обладает способностью к подавлению развития ряда грибных фитопатогенов, поэтому включение его в состав микробных консорциумов потенциально может способствовать защите сельскохозяйственных культур от различных инфекций.

Компенсация фитотоксического эффекта инокулянтов возможна путём корректировки рабочей дозы биопрепаратов, а также может произойти при посеве семян непосредственно в открытый грунт, где на микробы-интродуценты оказывается гораздо более многогранное влияние, нежели в условиях лабораторного опыта. По этой причине результаты предварительной лабораторной оценки фиторегуляторного действия штаммов обуславливают необходимость последующего более детального изучения влияния *Trichoderma* sp. и азотфиксаторов, а также их сочетаний на протяжении всего периода вегетации растений, с учётом фитосанитарного состояния посевов, а также выхода и качества готовой растительной продукции.

#### Библиографический список

1. *Trichoderma*: the «secrets» of a multitalented biocontrol agent / M. Sood, D. Kapoor, V. Kumar et al. DOI: 10.3390/plants9060762 // *Plants* (Basel). 2020. Vol. 9. No. 6. Article No. 762.
2. Влияние нового биокомпозита на основе грибов рода триходерма на почвенные микроорганизмы и растения разных таксонов / А. А. Калинин, Д. С. Давидюк, Н. А. Боков и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-2-115-121 // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. № 2. С. 115–121.
3. Hoyos-Carvajal L., Orduz S., Bissett J. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2009.07.018 // *Biological Control*. 2009. Vol. 51. No. 3. P. 409–416.
4. Mweetwa A. M., Chilombo G., Gondwe B. M. Nodulation, nutrient uptake and yield of common bean inoculated with *Rhizobia* and *Trichoderma* in an acid soil. DOI: 10.5539/jas.v8n12p61 // *The Journal of Agricultural Science*. 2016. Vol. 8. No. 12. P. 61–71.
5. *Trichoderma*–*Azotobacter* biofilm inoculation improves soil nutrient availability and plant growth in wheat and cotton / K. Velmourougane, R. Prasanna, G. Chawla et al. DOI: 10.1002/jobm.201900009 // *Journal of Basic Microbiology*. 2019. Vol. 59. No. 6. P. 632–644.
6. Velmourougane K., Prasanna R. *Trichoderma*–*Azotobacter* biofilm-based formulation enhance natural plant defense enzyme activities in wheat and cotton seedlings. DOI: 10.1007/s40009-023-01324-w // *National Academy Science Letters*. 2024. Vol. 47. P. 61–64.
7. Prospecting cyanobacteria-fortified composts as plant growth promoting and biocontrol agents in cotton / R. Prasanna, S. Babu, N. Bidyarani et al. DOI: 10.1017/S0014479714000143 // *Experimental Agriculture*. 2015. Vol. 51. No. 1. P. 42–65.

## БИОДЕГРАДАЦИЯ НЕФТИ ПРИ ПОМОЩИ ШТАММА *ASPERGILLUS NIGER* F-4815D

А. З. Миндубаев<sup>1</sup>, Э. В. Бабынин<sup>1</sup>, В. В. Тутучкина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФИЦ КазНЦ РАН, mindubaev-az@yandex.ru,

<sup>2</sup> Институт органической и физической химии  
имени А. Е. Арбузова КазНЦ РАН

Исследована биодegradация нефти штаммом *Aspergillus niger* AM1 ВКМ F-4815D. Нефть подвергается частичной деструкции, но не может служить единственным источником углерода. Интересным фактом является изменение консистенции, отвердения нефти под влиянием *A. niger*.

Ключевые слова: нефть, биодegradация, *Aspergillus niger*, масс-спектрометрия.

В начале исследований мы впервые описали биологическое окисление белого фосфора в полезный для жизнедеятельности фосфат при помощи штамма *Aspergillus niger* AM1 ВКМ F-4815D. Дальнейшее развитие исследований было связано с расширением спектра соединений, подвергаемых биодegradации. Оно включало разнообразные органические и неорганические соединения фосфора в различных степенях окисления. Интересно дальнейшее расширение спектра и включение в него загрязнителей, не содержащих фосфор. Мы выбрали нефти и нефтепродукты – основные загрязнители окружающей среды на сегодняшний день. Нефтепродукты по токсичности менее опасны для окружающей среды, чем соединения фосфора, но производятся и потребляются в значительно больших объемах. В связи с этим, в целом опасность загрязнения этим классом загрязнителей значительно выше. В случае положительных результатов работы, существенно расширится сфера применения исследуемых нами штаммов аспергиллов, поскольку появится возможность обезвреживать более значительные масштабы загрязнений.

Штаммы *Aspergillus* относятся к высшим аэробным плесневым грибам. Они распространены по всему миру и уже более ста лет находят применение в промышленности, включая биологическую деструкцию поллютантов.

Цель работы – исследование биодegradации нефти при помощи штамма *A. niger* F-4815D.

Культура *A. niger* F-4815D высевалась в планшеты Corning, скорость роста оценивалась микропланшетным ридером Infinite F200 Pro, Tecan (Австрия). Посев производился в среду состава (г/л): NaCl 2,5; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0,5; KNO<sub>3</sub> 2,0; глюкоза 8,0. Нефть для изучения биодegradации отличалась низкой вязкостью и была с месторождения Первомайское.

Хроматомасс-спектрометрическое (ГХ-МС) исследование компонентов нефти проводилось на газовом хроматографе «Agilent 6890N» с масс-спектрометрическим детектором «5973 N» («Agilent Technologies», США).

Обращает внимание то, что в присутствии микроорганизмов происходят изменения консистенции нефти. На 18 сутки после посева стало заметно, что в среде, содержащей глюкозу в качестве основного источника углерода, нефть изменила консистенцию: утратила текучесть и собралась в комки [1]. В среде без глюкозы нефть осталась без изменений – по всей видимости, рост *A. niger* в ней не начался. Через 31 сутки подобные изменения стали происходить с нефтью в отсутствие глюкозы. Но, поскольку нефть не была проавтоклавирована, а в среде без глюкозы не отмечался рост грибницы, возникло предположение, что нефть подвергается деструкции бактериями, которые присутствовали в ней изначально.

Повторили посев, предварительно проавтоклавировав нефть при 120 °С. В этом случае, в среде без глюкозы биодеструкции не наблюдали даже спустя 51 сутки после посева. Однако, в среде с глюкозой мицелий рос, а нефть комковалась (рис.).

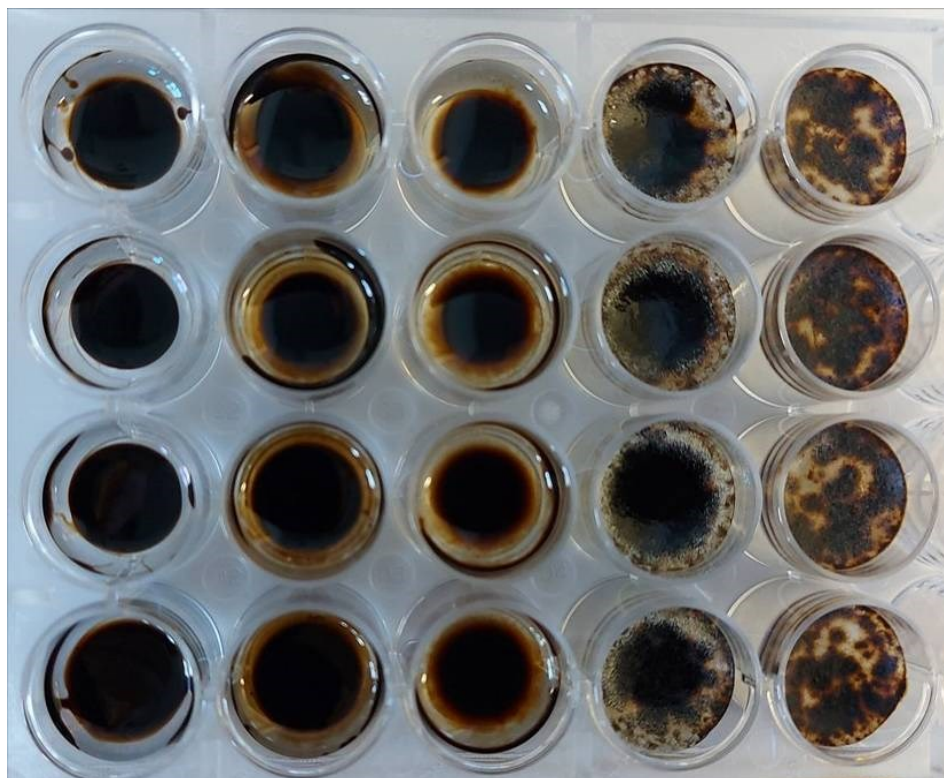


Рис. Лунки слева – стерильная нефть. Справа – нефть с посевом гриба. Заметны различия консистенции. Снимок сделан через 36 суток после посева

Полученные результаты представляют интерес и могут указывать на способность *Aspergillus niger* F-4815D, выделенного из емкости с белым фосфором, подвергаться биодegradации не только соединения фосфора, но и нефти. Однако, одни визуальные наблюдения для этого недостаточны. Комкование нефти не обязательно связано с ее метаболизмом. Микроорганизмы могут вырабатывать поверхностно активные вещества, биосурфактанты, способные менять консистенцию гидрофобных субстратов. Поэтому, мы провели более углубленное исследование методом ГХ-МС.

Надо отметить, что гриб *A. niger* растет только в присутствии глюкозы. То есть, компоненты нефти заведомо не могут служить ему полноценным источником углерода. Однако, свойства нефти в присутствии *A. niger* претерпевают изменения. В пробирках с посевом нефтяная фракция распределяется по поверхности водной фазы среды равномерно, образуя черную пленку. А в стерильных условиях нефти собираются у стенок фальконов, в середине образуется пятно водной фазы, свободное от нефти.

Методом ГХ-МС в водных фракциях сред никаких сигналов обнаружено не было.

Усредненное из трех анализов ГХ-МС количество сигналов в стерильной нефти месторождения Первомайское (негативный контроль), нефти с посевом *A. niger* F-4815D без глюкозы и с глюкозой, составило 39, 30 и 18, соответственно [2]. То есть, в присутствии глюкозы в качестве основного источника углерода, нефть подвергается глубокой деструкции грибом. Без глюкозы деструкция также обнаруживалась, но была медленной и неглубокой. Эти результаты анализа дают полное совпадение с визуальной оценкой, согласно которой в положительном контроле без глюкозы видимый рост мицелия не наблюдается. Можно предположить, что *A. niger* в отсутствие глюкозы потребляет содержащиеся в нефти вещества биологического, главным образом, бактериального, происхождения.

#### **Библиографический список**

1. Пат. 2 791 735. РФ. СПК С02F 3/34 (2023.01). Способ детоксикации нефти с применением штамма *Aspergillus niger* AM1BKM F-4815D : № 2022122807 : заявл. 24.08.2022 : опубл. 13.03.2023 / Миндубаев А. З., Бабынин Э. В., Минзанова С. Т., Миронова Л. Г. 12 с.
2. Штамм *Aspergillus niger* AM1 как агент биодegradации нефти и нефтепродуктов / А. З. Миндубаев, Э. В. Бабынин, В. М. Бабаев и др. В. DOI: 10.31857/S0026364824010037 // Микология и фитопатология. 2024. Т. 58, № 1. С. 27–35.

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕДИ И ХРОМА НА РОСТ ЭНДОФИТНЫХ ГРИБОВ *FUSARIUM EQUISETI* И *CYLINDROCARPON MAGNUSIANUM***

**Н. А. Исламова, И. Л. Бухарина**  
Удмуртский государственный университет,  
*islamovanadezhda@mail.ru*

Корневые эндофиты способны ограничивать воздействие химических веществ, в том числе, тяжелых металлов, на растения и повышать их устойчивость к стрессовым условиям. В проведенных исследованиях было изучено влияние разных концентраций меди и хрома на рост эндофитных микромицетов *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum*.

Ключевые слова: микромицеты, эндофитные грибы, металлрезистентность, устойчивость к загрязнению тяжелыми металлами.

Корневые микромицеты, находящиеся в ассоциации с высшими растениями, имеют широкие пределы устойчивости к внешним неблагоприятным факторам, в том числе, содержанию тяжелых металлов в почве, и способствуют устойчивости растений-хозяев. При этом большое значение имеет происхождение инокулята. Изоляты эндофитных грибов, которые были получены из загрязненных тяжелыми металлами почв, оказались наиболее эффективными в повышении устойчивости растений к загрязнителям [1, 2], что указывает на способность грибов эндомикоризы адаптироваться к условиям высокой нагрузки. В связи с этим изучение устойчивости эндофитных грибов к действию различных загрязнителей является весьма актуальным. Среди представителей эндофитных грибов, широко встречающихся в природе и обладающих способностью колонизировать корни растений, не являющихся хозяевами, большой интерес представляют *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum*. *Fusarium equiseti* долгое время считался патогенным, однако в последнее время привлек к себе внимание способностью выступать в качестве биоконтроллера в борьбе с корневыми патогенами [3, 4]. *Cylindrocarpon magnusianum* также имеет широкий спектр сред обитания, кроме того, его относят к группе «нефтегазоносных грибов», что может быть востребовано и в восстановлении нефтезагрязненных земель [5, 6].

Цель исследования – изучить влияние разных концентраций меди и хрома на рост эндофитных грибов *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum*.

В качестве объектов исследований были использованы эндофитные грибы *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum*. Грибы выделены из корневой системы растений, произрастающих на техногенных территориях города Ижевска (Удмуртская Республика).

Культуры грибов выращивали на питательной агаровой среде (PDA) из декстрозного бульона и агар-агара с добавлением разных концентраций тяжелых металлов. Через каждые трое суток после посева осуществляли измерения диаметра и скорости роста колоний гриба. Опыт проводили в трехкратной повторности. Тяжелые металлы вносились в следующих концентрациях: Cu(II) – 50, 100, 150 мг/л; Cr(VI) – 2,5; 5; 10 мг/л. Особенности реакции грибов на условия стресса оценивали по содержанию малонового диальдегида (МДА). Содержание МДА в мицелии гриба оценивали по степени накопления продукта его реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК), определяя оптическую плотность раствора на спектрофотометре при длине волны 532 нм [7]. Математическая обработка результатов проведена с использованием пакета «Statistica 6.0» методами описательной статистики. Достоверность различий вариантов опыта установлена при  $p < 0,05$ .



Исследование роста культур *Cylindrocarpon magnusianum* и *Fusarium equiseti* на средах с тяжелыми металлами показало высокие пределы устойчивости грибов к загрязнителю (рис. 1–4).

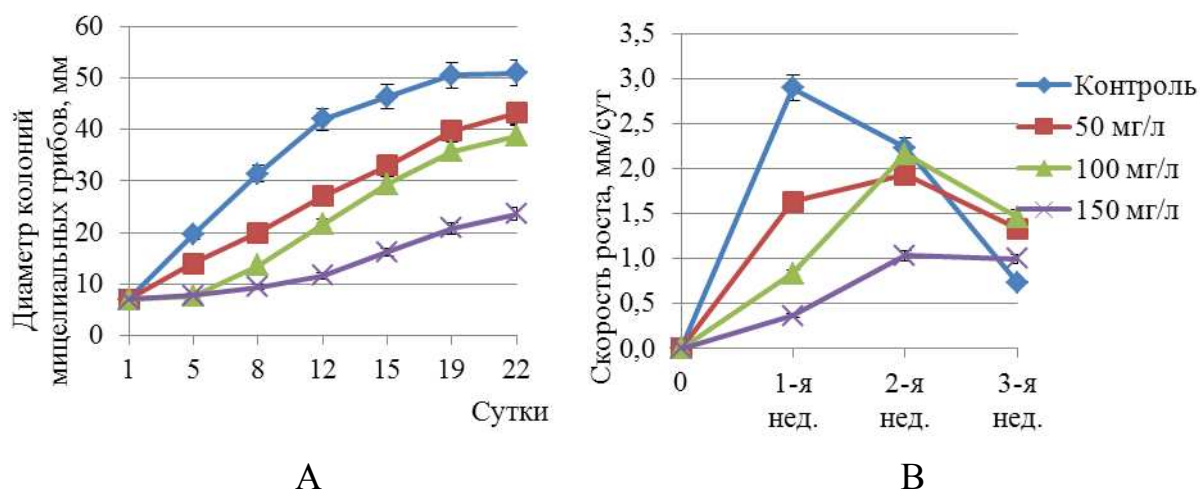


Рис. 1. Динамика размеров (А) и скорость роста (В) колоний *Cylindrocarpon magnusianum* на средах с разной концентрацией меди

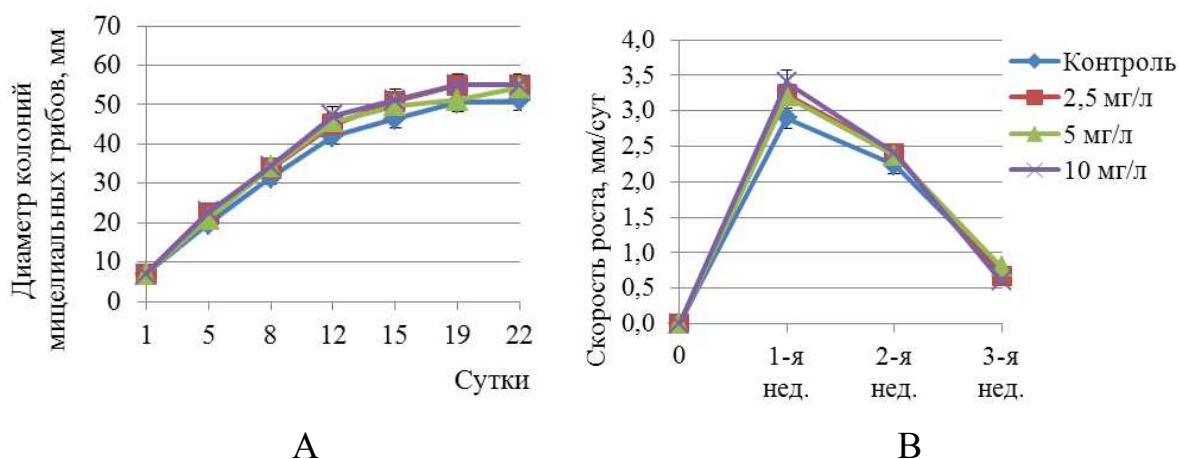


Рис. 2. Динамика размеров (А) и скорость роста (В) колоний *Cylindrocarpon magnusianum* на средах с разной концентрацией хрома

Содержание меди в среде оказало влияние на рост *Cylindrocarpon magnusianum*: размеры колоний гриба при всех концентрациях металла достоверно были меньше, по сравнению с контролем. При этом размеры колоний уменьшались в соответствии с увеличением концентрации металлов. Тем не менее, пороговые концентрации меди для *Cylindrocarpon magnusianum* пока обнаружены не были. Скорость роста гриба, так же, как и размеры его колоний, при всех концентрациях меди достоверно уменьшилась по сравнению с контролем, особенно в первую неделю эксперимента.

Хром оказался менее токсичными для *C. magnusianum*. Содержание в среде хрома во всех исследуемых концентрациях не оказало влияния на рост гриба: размеры его колоний не имели достоверных отличий от контроля. До-



статистической разницы в скорости роста колоний гриба между опытными вариантами и контролем не наблюдалось до окончания эксперимента.

В эксперименте с *F. equiseti* результаты были схожими с экспериментом с *C. magnusianum* (рис. 3–4).

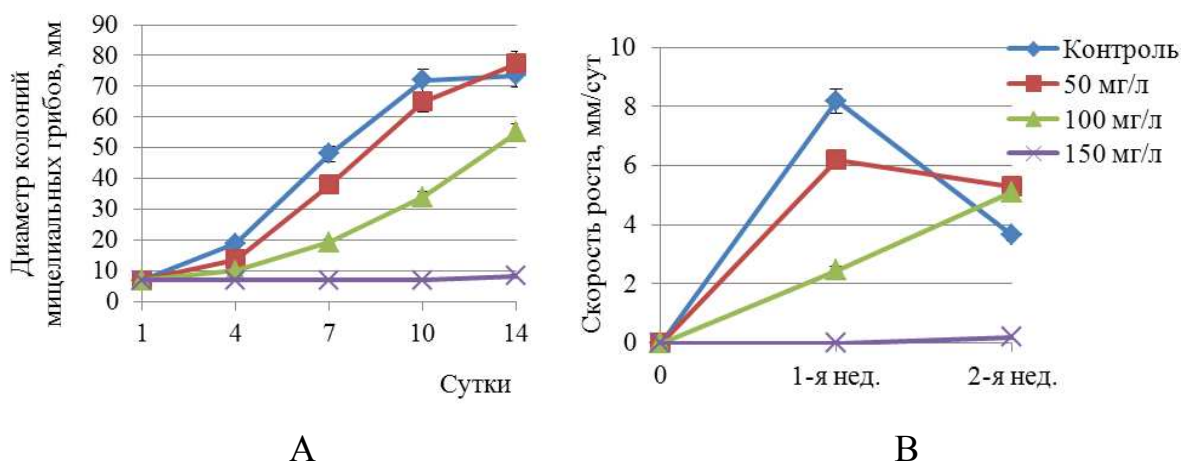


Рис. 3. Динамика размеров (А) и скорость роста (В) колоний *Fusarium equiseti* на средах с разной концентрацией меди

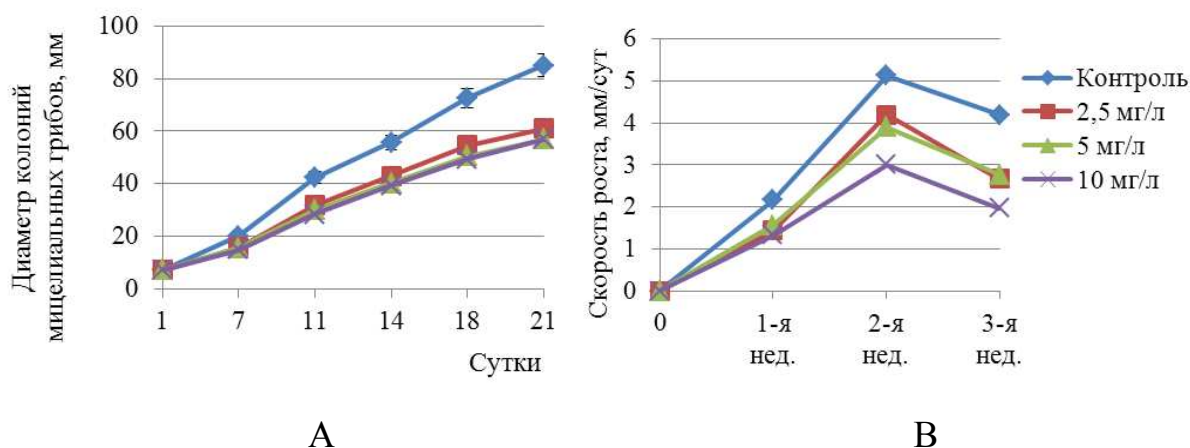


Рис. 4. Динамика размеров (А) и скорость роста (В) колоний *Fusarium equiseti* на средах с разной концентрацией хрома

Наибольшее ингибирование роста культуры *F. equiseti* вызвало содержание в среде меди. С увеличением концентрации этого элемента диаметр колоний гриба уменьшался. Наиболее токсичной оказалась концентрация меди 150 мг/л, однако даже при такой концентрации металла рост гриба не прекратился.

Содержание в среде хрома, как и в эксперименте с *C. magnusianum*, существенного влияния на рост *F. equiseti* не оказало. Тем не менее, диаметр колоний гриба при всех исследуемых концентрациях хрома в среде был достоверно меньше по сравнению с контролем, при этом сами варианты Cr 2,5, 5 и 10 мг/л достоверной разницы между собой не имели. Скорость роста *F. equiseti* при внесении в среду хрома в разных концентрациях была достоверно ниже контрольного варианта, однако разница была незначительной.

Таким образом, культуры микромицетов *F. equiseti* и *C. magnusianum* показали высокую устойчивость к содержанию солей тяжелых металлов (ТМ) в среде, особенно хрома. К содержанию соли меди в среде *C. magnusianum* проявил большую устойчивость по сравнению с *F. equiseti*.

Для оценки влияния стрессового фактора в виде тяжелых металлов на состояние организма определяли содержание малонового альдегида в мицелии *F. equiseti* и *C. magnusianum* при их выращивании на субстратах с медью и хромом. Результаты представлены в таблице. МДА является продуктом окисления липидов и может служить показателем степени повреждения мембранных структур в клетках организма [17, 18].

Таблица

**Содержание малонового диальдегида в мицелии *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum*, мкмоль/г сырой массы**

Содержание ТМ в субстрате	Содержание МДА в мицелии <i>Cylindrocarpon magnusianum</i>	Содержание МДА в мицелии <i>Fusarium equiseti</i>
Без ТМ (контроль)	2,034±0,047 1,959...2,109	1,290±0,071 <sup>1</sup> 1,064...1,516
Cr 2,5 мг/л	6,092±0,585↑ 5,161...7,024	1,743±0,071↑ <sup>2</sup> 1,519...1,968
Cr 5 мг/л	7,276±1,115↑ 5,502...9,050	1,760±0,070↑ 1,536...1,983
Cr 10 мг/л	3,881±0,054↑ 3,795...3,966	1,142±0,014 1,098...1,185
Cu 50 мг/л	2,031±0,021 1,997...2,064	2,227±0,230 1,495...2,958
Cu 100 мг/л	3,571±0,431↑ 2,885...4,257	6,368±0,775↑ 3,902...8,833
Cu 150 мг/л	4,117±0,291↑ 3,654...4,580	8,076±0,311↑ 7,087...9,066

Примечание: <sup>1</sup> среднее значение показателя ± стандартное отклонение; <sup>2</sup> достоверное отличие от контроля: увеличение ↑ или уменьшение ↓ показателя (p < 0,05).

Анализ содержания МДА в мицелии *F. equiseti* и *C. magnusianum* показал зависимость увеличения этого показателя от концентрации химических элементов в среде. Наибольшая реакция на содержание хрома в среде наблюдалась у *C. magnusianum*: содержание МДА во всех вариантах было существенно выше, чем в контроле. Однако при самой высокой концентрации хрома 10 мг/л содержание МДА в мицелии гриба было достоверно ниже, чем в других вариантах с хромом. На *F. equiseti* большее влияние оказало содержание меди в среде: с увеличением концентрации меди содержание МДА в мицелии достоверно увеличивалось по отношению к контролю. В мицелии *C. magnusianum* при внесении в среду меди содержание МДА также было достоверно выше по сравнению с контролем (кроме Cu 50 мг/л), однако отличие было не столь значительным, как в эксперименте с *F. equiseti*.

Таким образом, можно заключить, что синтез МДА играет роль в системе адаптивных реакций грибов. В проведенном исследовании анализ со-

держания МДА в мицелии грибов показал, что *C. magnusianum* проявил большую устойчивость к содержанию меди в среде, *F. equiseti* – к содержанию хрома. Стоит также отметить, что при внесении в среду хрома в концентрациях 2.5 и 5 мг/л содержание МДА в мицелии *C. magnusianum* и *F. equiseti* увеличилось, однако при увеличении концентрации металла до максимальной (10 мг/л) значение этого показателя, наоборот, снижалось.

#### Библиографический список

1. Rydlová J., Vosátka M. Effect of *Glomus* intraradices isolated from Pb-contaminated soil on Pb uptake by *Agrostis capillaris* is changed by its cultivation in a metal-free substrate. DOI: 10.1007/BF02803148 // Folia Geobotanica. 2003. No. 155. P. 155–165.
2. Dark septate endophytes improve the growth and the tolerance of *Medicago sativa* and *Ammopiptanthus mongolicus* under cadmium stress / L. Hou, J. Yu, L. Zhao, X. He. DOI: 10.3389/fmicb.2019.03061 // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 10. Article No. 3061.
3. Литовка Ю. А. Эколого-биологические особенности и биоконтроль грибов рода *Fusarium*, распространенных в наземных экосистемах средней Сибири : спец. 03.02.08 : дис. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 2018. 497 с.
4. Real-time PCR quantification and live-cell imaging of endophytic colonization of barley (*Hordeum vulgare*) roots by *Fusarium equiseti* and *Pochonia chlamydosporia* / J. G. Maciá-Vicente, H.-B. Jansson, N. J. Talbot et al. DOI: 10.1007/BF02803148 // New Phytologist. 2009. Vol. 182. No. 1. P. 213–228.
5. Novel species of *Cylindrocarpon* (*Neonectria*) and *Campylocarpon* gen. nov. associated with black foot disease of grapevines (*Vitis* spp.) / F. Halleen, H. J. Schroers, J. Z. Groenewald, P. W. Crous // Studies in Mycology. 2004. Vol. 50. P.431–455.
6. Sogonov M. V., Velikanov L. L. Soil microfungi from alpine and subnival ecosystems of the Northwestern Caucasus // Mikologiya i Fitopatologiya. 2004. Vol. 38. Iss. 3. P. 50–58.
7. Жильцова Ю. В., Зависимость антиоксидантно-прооксидантного равновесия в макрофитах от уровня антропогенной нагрузки // Труды БГУ. 2011. Т. 6. Ч. 2. С. 47–54.

## СПОСОБНОСТЬ БАКТЕРИЙ К ОБРАЗОВАНИЮ БИОПЛЕНОК НА РАЗНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

*А. Л. Галенчик, Т. Н. Ажогина, М. А. Сазыкина*  
Южный федеральный университет,  
*nastya\_galenchik@mail.ru*

Исследована способность почвенных микроорганизмов, выделенных из почв города Ростов-на-Дону, к адгезии и биопленкообразованию на различных поверхностях.

Ключевые слова: бактерии, биопленки, биопленкообразование.

На сегодняшний день остро стоят вопросы оценки качества окружающей среды. Мониторинг ее состояния можно проводить, как с помощью оценки физико-химических факторов, так и с помощью биологического тестирования. Потенциально для оценки качества и состояния окружающей среды могут использоваться бактериальные биопленки. В ответ на загрязне-

ние окружающей среды можно ожидать усиления степени биопленкообразования микроорганизмов. В биопленке бактерии более устойчивы к неблагоприятным условиям среды, бактериофагам, антибиотикам [1]. Поллютанты могут изменять свойства биопленок, влиять на их структуру и адгезивные свойства [2, 3]. Различные загрязняющие вещества в одних и тех же концентрациях могут, как подавлять, так и стимулировать рост биопленок различных штаммов [4].

Для наиболее эффективного использования бактериального биопленкообразования в биотестировании необходимо исследовать способность микроорганизмов образовывать биопленки на различных поверхностях, что и стало целью данной работы.

В работе были использованы методы культивирования микроорганизмов на среде с конго-красным, окрашивание кристаллическим фиолетовым в полистироловых планшетах, культивирование микроорганизмов на различных поверхностях [5, 6]. Степень биопленкообразования оценивалась по интенсивности роста на различных поверхностях. В качестве абиотических поверхностей использовался полипропилен (медицинский шприц, стакан), поливинилхлорид (инфузионная система для переливания растворов), поролоновая губка, пробковое дерево. В качестве биотических поверхностей использовался хитин креветки, хитин рака и чешуя рыбы. Культивирование бактериальных биопленок проходило статически. Поверхности для культивирования в жидкой среде располагались таким образом, чтобы был раздел двух фаз (воздух и жидкость). Для исследования были отобраны культуры из почв города Ростов-на-Дону с разной степенью антропогенной нагрузки.

В результате тестирования способности образовывать биопленку с помощью метода культивирования на среде с конго-красным было отобрано 30 бактериальных культур. Для количественной оценки биопленкообразования этих культур использован метод окрашивания кристаллическим фиолетовым в полистироловом планшете. Были отобраны 11 культур с самой высокой степенью биопленкообразования и одна культура с самой низкой в качестве контрольного образца.

Далее степень биопленкообразования оценивалась по интенсивности роста на различных поверхностях. Почти все культуры образовывали биопленку с разной степенью интенсивности.

Наиболее интенсивно биопленка образовывалась на поверхности поролоновой губки. Поролоновая губка гидрофобна, но ее пористая структура обеспечивает способность жидкости проникать в нее. Это благоприятная среда для образования биопленки, так как площадь для адгезии увеличивается и появляется много поверхностей раздела фаз.

Достаточно хорошо биопленка также образовывалась на биотических поверхностях: рыбьей чешуе, хитине рака, хитине креветки. Эти поверхности обладают разными свойствами: рыбья чешуя больше гидрофобна, а хитин больше гидрофилен. Для исследования эти поверхности очищались лишь механически, поэтому не исключен вариант того, что бактерии адгезировались

на этих поверхностях в первую очередь для того, чтобы использовать питательные вещества.

На поверхности медицинского шприца биопленка формировалась довольно слабо, ее образовывали всего две микробные культуры. Аналогичный результат наблюдался и на поверхности инфузионной системы. Материалы этих поверхностей гидрофобны и не имеют шероховатостей, что не способствует образованию биопленки. На поверхности пластикового стакана, который также обладает гидрофобными свойствами, биопленка образовывалась незначительно лучше, но стоит отметить, что сама поверхность имела ребристость. На гидрофобной, но шероховатой поверхности пробкового дерева, биопленку формировали не все культуры, но в случае ее образования она была довольно мощной.

Так как большая часть культур показывала сильную степень биопленкообразования при окрашивании кристаллическим фиолетовым в полистироловых планшетах, ожидалось, что и при выращивании биопленок на исследуемых поверхностях они будут показывать высокие результаты. Тем не менее, многие культуры, имеющие высокие результаты биопленкообразования с помощью вышеуказанного метода, на исследуемых поверхностях либо не образовывали видимой биопленки, либо она очень легко удалялась механически при осмотре поверхности.

Интересные результаты получены с бактериальной культурой, показавшей самый низкий уровень биопленкообразования при окрашивании кристаллическим фиолетовым в полистироловых планшетах. Практически на всех исследованных поверхностях она образовывала видимую глазу биопленку. Это говорит о том, что общепринятый метод оценки биопленкообразования не универсален.

Таким образом, показано, что бактериальные штаммы на различных исследованных поверхностях образуют видимую биопленку с разной степенью интенсивности. Полученные данные свидетельствуют о том, что необходимо проведение дальнейших исследований способности бактерий к биопленкообразованию на различных поверхностях.

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. Strategies to prevent, curb and eliminate biofilm formation based on the characteristics of various periods in one biofilm life cycle / M. Ruixiang, H. Xianli, Z. Xianzuo et al. DOI: 10.3389/fcimb.2022.1003033 // *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 2022. Vol. 12. Article No. 1003033.
2. Could benthic biofilm analyses be used as a reliable proxy for freshwater environmental health? / Y. Pu, W. Y. Ngan, Y. Yao, O. Habimana. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.05.111 // *Environmental Pollution.* 2019. Vol. 252. Pt A. P. 440–449.
3. Zhang Z., Christopher G. Effect of particulate contaminants on the development of biofilms at air / *Water Interfaces.* DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b00143 // *Langmuir.* 2016. Vol. 32. No. 11. P. 2724–2730.

4. Гильдебрант А. В. Влияние загрязняющих веществ на процесс образования биопленок микроорганизмами : спец. 03.02.08 : дис. ... канд. биол. наук. Ростов н/Д., 2021. 179 с.

5. A modified microtiter-plate test for quantification of staphylococcal biofilm formation / S. Stepanović, D. Vuković, I. Dakić et al. DOI: 10.1016/s0167-7012(00)00122-6 // Journal of Microbiological Methods. 2000. Vol. 40. No. 2. P. 175–179.

6. Assessment of biofilms formation of bacterial and fungal isolates using qualitative Congo red agar and semiquantitative crystal violet microtiter methods / X. Moreno, M. Ventura, M. M. Panizo, M. F. Garcés. DOI: 10.7705/biomedica.6732 // Biomedica. 2022. Vol. 43. P. 77–88.

## **МОНИТОРИНГ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИРУСОВ ГРИППА И ОРВИ СРЕДИ УСЛОВНО ЗДОРОВОГО НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА ТУЛЫ И ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

*А. Н. Бычкова, А. В. Хапкина*

*Тульский государственный университет,  
melikhova-tula@mail.ru, Khapkina-av@yandex.ru*

Острые респираторные вирусные инфекции (ОРВИ), вызванные разными вирусами, и грипп, чаще всего встречаются среди всех инфекционных заболеваний. Вирусные инфекции могут протекать бессимптомно. В статье приведен анализ мониторинга распространения вирусов гриппа и ОРВИ у населения без клинических признаков заболевания.

Ключевые слова: острые респираторные вирусные инфекции, ОРВИ, вирус гриппа, диагностика, носительство, ПЦР, условно здоровое население.

Респираторные инфекции в большинстве случаев вызваны респираторными вирусами, передающимися воздушно-капельным и контактным путями. Сезон возрастания заболеваемости респираторными вирусными инфекциями приходится на период смены теплой погоды на холодную, то есть на сентябрь и октябрь, а также с изменением погоды в марте. При этом нахождение вируса в организме человека может и не иметь клинических проявлений.

Целью исследования являлось изучение циркуляции вирусов гриппа и ОРВИ среди условно здорового населения Тульской области в 2020–2024 гг. Категория условно здорового населения включает людей без клинических симптомов вирусных заболеваний.

Грипп – острое инфекционное вирусное заболевание человека, характеризующееся поражением респираторного тракта, лихорадкой, общей интоксикацией, нарушением деятельности сердечно-сосудистой и нервной систем. Впервые симптомы болезни описали Гиппократ и Тит Ливий в 412 г. до н. э. [1]. Грипп – это инфекция, которая передается воздушно-капельным путем. Для данного заболевания этот путь передачи является единственным.

ОРВИ – острые респираторные вирусные инфекции, среди которых выделяют следующие группы инфекций: метапневмовирусная, парагрипп, аденовирусная, коронавирусная, респираторно-синцитиальная, риновирусная, бокавирусная. Каждой из инфекций соответствует свой тип возбудителя. Способом передачи ОРВИ является воздушно-капельный. Грипп и ОРВИ составляют группу воздушно-капельных инфекций [1].

Люди, зараженные инфекциями ОРВИ и гриппом, являются как носителями, так и распространителями возбудителей болезни. Отсутствие клинических заболеваний у носителей увеличивает вероятность распространения вируса [2]. Заболеваемость населения – это параметр, с помощью которого осуществляют мониторинг здоровья населения в медицинских учреждениях [3].

ОРВИ часто вызываются представителями трёх семейств РНК-содержащих вирусов: парамиксовирусы (респираторно-синцитиальный вирус, метапневмовирус человека, вирусы парагриппа 1–4), коронавирусы (229Е, ОС43, NL63, HKU1) и пикорнавирусы (риновирусы), а также двух семейств ДНК-содержащих вирусов: аденовирусы (виды В, С, Е) и парвовирусы (бокавирус человека). В последние годы причиной ОРВИ чаще стали выступать энтеровирусы (ЕСНО, Коксаки), реовирусы, вирус Эпштейна-Барр и др. – они могут сами вызывать поражение респираторного тракта или выступать дополнительными патогенами при наиболее распространенных вирусах [4].

Вирусы гриппа – это группа вирусов из семейства *Orthomyxoviridae*, которые вызывают заболевание, известное как грипп. Они делятся на три основных типа: А, В и С, отличных друг от друга по молекулярному составу и строению гликопротеинов поверхности. Вирус гриппа типа А способен вызывать серьезные эпидемии и пандемии, имеет высокую вариабельность. Грипп-вирус типа А обычно циркулирует у птиц и животных, а также у человека. Грипп-вирус типа В также вызывает заболевание гриппом, но его вариабельность обычно ниже, чем у типа А, он часто приводит к легким или умеренным эпидемиям. Грипп-вирус типа С вызывает более мягкое заболевание и редко приводит к эпидемиям [5].

Исследования клинического материала с целью обнаружения вирусов ОРВИ и гриппа проводились методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) с гибридизационно-флуоресцентной детекцией [6] на амплификаторе Rotor-Gene Q с наборами реактивов «Амплиценс®» «ОРВИ-скрин-FL» и «Influenza virus A/B-FL» в лаборатории Центра гигиены и эпидемиологии.

Наиболее актуальным мониторингом в настоящее время является слежение за циркуляцией ОРВИ и гриппа среди здорового населения. Мониторинг циркуляции вирусов гриппа среди жителей региона без клинических проявлений вирусного заболевания проводится в Туле и области по приказу Министерства здравоохранения Тульской области.

За период 2020–2023 гг. отмечено увеличение числа участвовавших в мониторинге в 2,7 раза. В исследовании проведен анализ биологического ма-

териала у 8723 обследованных, не имевших на момент забора биоматериала клинических признаков заболевания.

Среди лабораторно подтверждённых случаев обнаружения вирусов у здорового населения Тульской области за 2020–2024 гг. ежегодным лидером является риновирус, выявленный у 135 человек в 2020 г., около 100 случаев в 2021–2023 гг. и 11 случаев на начало 2024 г. На втором месте по частоте подтвержденных случаев находится парагрипп, регистрировавшийся 34 раза в 2020 г., 69 – в 2021 г., 79 – в 2022 г., 38 – в 2023 г. Регистрировалось и бессимптомное носительство аденовирусов (около 50 – 60 случаев в год, 1 – на начало 2024 г.); бокавируса человека, респираторно-синцитиального вируса, метапневмовируса человека (менее 10 случаев в год).

Среди здорового населения в малых количествах отмечены случаи обнаружения вирусов Sars-Cov-2, гриппа А и В, вызывающих тяжелые по течению инфекции. Этот факт подтверждает необходимость выявления бессимптомных носителей для предупреждения возникновения эпидемических вспышек. Преобладающим типом гриппа на территории Тульской области является грипп А (2 случая в 2021 г, 7 – в 2022 г. и 2 случая в 2023 г.). Также среди условно здорового населения Тульской области встречается грипп В – 2 случая в 2022 г. и 3 случая в 2023г. В 2021 и 2023 гг. среди условно здорового населения ТО циркулировал А(Н1N1-swine), так называемый «свиной грипп», а в 2022 г. – А(Н3N2) так называемый «гонконгский грипп».

Эти факты подтверждают необходимость выявления бессимптомных носителей для мониторинга изменений вирусов и предупреждения возникновения эпидемических вспышек.

#### **Библиографический список**

1. Глушанко В. С., Тимофеева А. П., Плиш А. В. Заболеваемость населения, ее виды. Методы изучения : Методическая разработка для студентов высших медицинских учреждений образования по дисциплине «Общественное здоровье и здравоохранение» / под ред. д-ра мед. наук, проф. В. С. Глушанко. Витебск : Изд-во ВГМУ, 2004. 45 с.
2. Морозова М. И., Мельников В. Л., Митрофанова Н. Н. Возбудители острых респираторных вирусных инфекций : учебное пособие. Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. 80 с.
3. Медик В. А., Юрьев В. К. Общественное здоровье и здравоохранение : учебник. М. : Изд-во ГЭОТАР-Медиа, 2012. 288 с.
4. Денисова А. Р., Максимов М. Л. Острые респираторные вирусные инфекции: этиология, диагностика, современный взгляд на лечение // РМЖ. Медицинское обозрение. 2018. № 1 (II). С. 99–103.
5. Медицинская микробиология, вирусология и иммунология: учебник / под ред. В. В. Зверева, А. С. Быкова. М. : ООО «Изд-во «Медицинское информационное агентство», 2016. 816 с.
6. ПЦР в реальном времени / Д. В. Ребриков, Г. А. Саматов, Д. Ю. Трофимов и др. ; под ред. д-ра биол. наук Д. В. Ребрикова. 7-е изд. М. : Лаборатория знаний, 2018. 223 с.



## СЕКЦИЯ 4 ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИТОРАЗНООБРАЗИЯ ЛЕСНОГО ЗАКАЗНИКА «ЛЯЛЬСКИЙ» (ПОДЗОНА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)

**В. А. Канев**

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, kanev@ib.komisc.ru*

Летом 2024 г. продолжены исследования флоры высших сосудистых растений и растительности лесного заказника «Ляльский» республиканского значения, расположенного в подзоне средней тайги Республики Коми (РК). Изучены парциальные флоры – лесная, луговая, болотная, водная, их видовое разнообразие, состав и роль. По результатам исследований для данной территории найдено 58 видов сосудистых растений, которые ранее (в 2023 г.) не были отмечены, произрастание двух видов, включенных в Красную книгу РК.

Ключевые слова: флора, растительность, парциальная флора, сосудистые растения, лесной заказник, подзона средней тайги, охраняемые растения.

В Республике Коми (РК) продолжается инвентаризация и мониторинг биоты особо охраняемых природных территорий (ООПТ), которых на данный момент 242 единицы. Четыре из них – Печоро-Илычский государственный природный биосферный заповедник, национальные парки «Югыд ва» и «Койгородский», государственный природный заказник «Параськины озера» имеют федеральный статус, 236 – региональное (республиканское) подчинение и два местного значения. Общая площадь природно-заповедного фонда составляет 5,7 млн га – примерно 13,7% от общей площади республики, из которых почти половина – 2,69 млн га (6,5% от территории республики) – приходится на четыре федеральные ООПТ [1–5]. Одним из таких резерватов является лесной заказник «Ляльский», расположенный на территории МО МР «Княжпогостский», где данные о видовом составе флоры высших сосудистых растений и современном состоянии растительности отсутствовали. В настоящее время на территории резервата расположен научный стационар Института биологии Коми НЦУрО РАН, где проводятся постоянные стационарные лесобиологические исследования [3].

Летом 2023 г. начаты ботанические исследования, которые проведены только в лесных сообществах на пробных площадях и на сопредельных тер-

риториях, которые были предложены в рамках проекта ВИП ГЗ. Полевые исследования летом 2024 г. продолжены; флористические и геоботанические исследования проводили в других растительных сообществах лесного заказника «Ляльский»: в травянистых (луговых), болотных, прибрежно-водных, антропогенных сообществах, которые в данном заказнике расположены под линиями электропередачи (ЛЭП), по лесным дорогам и просекам, в естественных понижениях рельефа, вдоль рек и ручьев, лесные поляны на месте старых вырубок. Проведено 70 геоботанических и флористических описаний в данных сообществах при маршрутных исследованиях. Списки видового состава локальной флоры документированы сборами, хранящимися в гербарии Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO). Создано около 150 листов гербария высших сосудистых растений. Определение растений выполнено с использованием монографии [6], которая использована и при отнесении вида к географическим группам ареалов. Названия растений и расположение семейств приводятся по сводке С. К. Черепанова [7].

Лесной заказник «Ляльский» учрежден постановлением СМ Коми АССР от 26.06.1989 г. № 193 по инициативе Ю. А. Паутова, сотрудника Института биологии Коми НЦ УрО РАН, с целью проведения стационарных лесобиологических и гидрологических исследований в подзоне средней тайги; площадь его 700 га. Гидрографическая сеть представлена постоянно и временно действующими водотоками, болота и озера на территории заказника отсутствуют. Основную площадь (80%) занимают подзолистые почвы, которые формируются как на двучленных, так и на одночленных отложениях. По геоботаническому районированию территория заказника входит в евроазиатскую таежную провинцию, Кольско-Печорскую подпровинцию. Средняя лесистость составляет 96%, доминируют леса с преобладанием хвойных пород. Насаждения представлены как типично коренными хвойными, так и вторичными древостоями, образовавшимися в результате сплошных рубок леса. Сосново-лиственные и лиственно-еловые молодняки составляют 38% лесопокрытой площади заказника.

По результатам исследований в 2024 г. в лесном заказнике «Ляльский» найдено 58 видов сосудистых растений, которые не были отмечены в 2023 г. [8, 9]: *Agrostis stolonifera* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Carex loliacea* L., *Carex media* R. Br., *Carex nigra* (L.) Reichard, *Carex praecox* Schreb., *Carex vaginata* Tausch, *Scirpus sylvaticus* L., *Eriophorum gracile* Koch, *Listera ovata* (L.) R. Br., *Bistorta vivipara* (L.) S. F. Gray, *Melandrium album* (Mill.) Garcke, *Stellaria graminea* L., *Cardamine pratensis* L., *Geranium pratense* L., *Polygala amarella* Grantz, *Viola arenaria* DC., *Viola arvensis* Murr., *Veronica anagallis-aquatica* L., *Campanula patula* L., *Centaurea phrygia* L., *Hieracium cymosum* L., *Hieracium hypoglaucum* (Litv. et Zahn) Juxip, *Hieracium umbellatum* L., *Leontodon autumnalis* L., *Pilosella officinarum* F. Schultz et Sch. Bip., *Saussurea alpina* (L.) DC. и другие. Большинство новых находок растений отмечено в травянистых сообществах. В результате исследований во флоре резервата впервые выявлено произрастание двух видов, включенных в Красную книгу РК [10]: *Epipogium*

*aphyllum* Sw. и *Malaxis monophyllos* (L.) Sw., которые являются представителями Orchidaceae Juss., имеют категорию редкости 2, как сокращающиеся в численности.

В результате анализа полевых исследований 2023–2024 гг. выявлено, что на территории Ляльского лесного заказника произрастает 268 видов сосудистых растений (споровые, голосеменные, покрытосеменные), относящихся к 162 родам и 55 семействам. Почти все выявленные виды являются характерными для таежной зоны и встречаются в типичных для них местообитаниях: леса, небольшие лесные болота, зарастающие пашни и луга.

Лесная флора. В результате анализа описаний лесных сообществ 2023–2024 гг. выявлено, что здесь произрастает 159 видов сосудистых растений из 268 видов выявленной флоры, относящихся к 108 родам и 44 семействам. Большая часть видов, отмеченных в лесных сообществах, даже являющихся лесными видами, встречаются и в других сообществах, например, на открытых местах, в различных травянистых группировках – на вырубках, вдоль ЛЭП, на опушках: *Vaccinium myrtillus* L., *Lycopodium clavatum* L., *Salix caprea* L., *Dryopteris carthusiana* (Vill.) Н.Р. Fuchs и др. Небольшая часть видов отмечена только в лесных сообществах: *Oxalis acetosella* L., *Adoxa moschatellina* L., *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm., *Linnaea borealis* L., *Lycopodium annotinum* L. и некоторые другие.

Флора травянистых открытых (луговых) сообществ. В заказнике «Ляльский» площади естественных лугов очень небольшие и занимают узкие полосы вдоль лесных рек и ручьев, и чаще всего, кроме луговых видов, там присутствуют и типично лесные виды. В связи с тем, что по территории заказника проходят с севера на юг две ЛЭП, под которыми древесная растительность в период строительства была уничтожена и в данный момент также поддерживается в бездревесном состоянии (периодически проходят рубки), здесь образовались травянистые группировки с большим количеством луговых и сорных видов, поэтому данные сообщества условно можно отнести к луговым. Кроме того, травянистые сообщества и группировки представлены небольшими лесными полянами в смешанных лесах на месте старых вырубок, вдоль лесных дорог. Также непосредственно к заказнику примыкают зарастающие лесом луга, которые до недавнего времени были сельскохозяйственными полями, а позже сенокосными лугами.

В результате анализа геоботанических описаний (в количестве 45) 2023–2024 гг., проведенных в травянистых сообществах, выявлено, что на территории заказника произрастает 224 вида сосудистых растений из 268 видов выявленной флоры, относящихся к 134 родам и 44 семействам. Флора травянистых сообществ очень богатая, т. к. в ней отмечены не только луговые виды, но также довольно много видов лесных (*Vaccinium myrtillus*, *Picea obovata* Ledeb., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Equisetum sylvaticum* L.), сорных (*Equisetum arvense* L., *Plantago major* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv.), болотно-водных (*Equisetum fluviatile* L., *Carex vesicaria* L., *Alisma plantago-aquatica* L.) сообществ.

Болотная и водная флора заказника. Большие болотные массивы и болота в заказнике отсутствуют, как и большие водоемы, и в целом играют малое значение в формировании растительности заказника. В северной части заказника находится небольшое переходное болото, которое является истоком р. Мая. На нем представлены следующие сообщества: осоково-вахтовое сфагновое, осоко-пушициево-хвощевое сфагновое, осоково-хвощево-вейниковое. Кроме того, по всей территории заказника есть небольшие участки заболоченных лесов: сосновые кустарничково-сфагновые, пушициево-кустарничково-сфагновые, березовые разнотравные в пойме ручьев, смешанные разнотравные в участках с естественным понижением рельефа.

Крупные и средние водоемы (реки и озера) на территории заказника полностью отсутствуют, и водоемы представлены двумя небольшими лесными речками: р. Мая с притоками, протекающая в средней и северной части заказника, и р. Ачим, протекающая в южной части заказника, в которых практически из-за размеров отсутствует водная растительность. Водные и болотные растения встречаются вместе в сырых заболоченных травянистых сообществах под ЛЭП в естественных микропонижениях рельефа и представлены осоковыми, разнотравно-ивовыми, таволговыми, пушициевыми травянистыми группировками растений. Всего в сырых и заболоченных сообществах отмечено 90 болотных и водных видов (по результатам 20 геоботанических описаний), относящихся к 85 родам и 30 семействам. Кроме типично болотных видов, также отмечены некоторые лесные, луговые и сорные виды.

На данный момент флора лесного заказника «Ляльский», с учетом новых находок, насчитывает 268 видов сосудистых растений, относящихся к 162 родам и 55 семействам. Почти все выявленные виды являются характерными для таежной зоны и встречены в типичных для них местообитаниях: леса, небольшие лесные болота, зарастающие пашни и луга. В результате анализа показано, что флора имеет типичные бореальные черты; большинство показателей систематического, географического и биологического анализов характерны для среднетаежных флор; присутствуют некоторые сорные виды, которые были занесены из соседних ценозов, что говорит о небольшом антропогенном воздействии на флору. Чужеродные, заносные и карантинные виды растений в нашей флоре отсутствуют. В результате исследований во флоре выявлено произрастание двух видов, включенных в Красную книгу РК: *Epipogium aphyllum* и *Malaxis monophyllos*, которые относятся к категории редкости 2. Также в заказнике «Ляльский» произрастают пять видов, которые нуждаются в биологическом надзоре и включены в приложение к Красной Книге РК [10]: *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo, *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Viola mirabilis* L. Первые четыре вида принадлежат к семейству орхидные, фиалка удивительная – к семейству фиалковые.

*Исследования проведены в ходе выполнения важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на*

*территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).*

#### **Библиографический список**

1. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2023 году» / Минприроды Республики Коми [и др.]; под общ. ред. ФГБОУ ВО «УдГУ». Сыктывкар : Минприроды Республики Коми, 2024. 162 с.
2. Национальный парк Югыд ва / под ред. В. И. Пономарева. М. : Дизайн. Информация. Картография, 2001. 208 с.
3. Кадастр особо охраняемых природных территорий Республики Коми / под ред. С. В. Дёгтевой, В. И. Пономарева. Сыктывкар : Кировская обл. тип., 2014. 428 с.
4. Флоры, лишено- и микобиоты особо охраняемых ландшафтов бассейнов рек Косью и Большая Сыня (Приполярный Урал, национальный парк «Югыд ва») / под ред. С. В. Дёгтевой. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2016. 483 с.
5. Дёгтева С. В., Ермаков А. А. Схема развития и размещения особо охраняемых природных территорий Республики Коми // Изв. Коми НЦУрО РАН. Сер. Экспериментальная биология и экология. 2021. № 5 (51). С. 5–12.
6. Флора Северо-Востока европейской части СССР. Л., 1974. Т. I. 257 с.; 1976. Т. II. 316 с.; 1976. Т. III. 293 с.; 1977. Т. IV. 312 с.
7. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / под ред. Г. С. Розенберга, С. В. Саксонова. СПб. : Мир и семья, 1995. 990 с.
8. Канев В. А. Материалы к флоре высших сосудистых растений лесного заказника «Ляльский» (подзона средней тайги Республики Коми) // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Киров, 15 ноября 2023 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 293–297.
9. Канев В. А., Гончарова Н. Н., Дубровский Ю. А. Современное состояние флоры и растительности лесного заказника «Ляльский» (подзона средней тайги Республики Коми) // Лесные экосистемы бореальной зоны: биосферная роль, биоразнообразие, экологические риски : материалы междунар. конф. (г. Красноярск, 16–20 сентября 2024 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2024. С. 145–146.
10. Красная книга Республики Коми: третье издание, официальное. Сыктывкар : ООО «Коми республиканская типография», 2019. 768 с.

### **МАТЕРИАЛЫ К ФЛОРЕ ВЫСШИХ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ Б. ПАТОК (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «ЮГЫД ВА», ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)**

***В. А. Канев***

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, kanev@ib.komisc.ru*

Впервые исследована флора в среднем течении р. Б. Паток (бассейн р. Щугор) национального парка «Югыд ва» (Республика Коми) на Приполярном Урале, которая не изучена в ботаническом отношении. Охарактеризована систематическая, таксономическая и географическая структура флоры.

В результате исследований выявлены новые местообитания редких охраняемых видов растений.

Ключевые слова: флора, сосудистые растения, национальный парк, Приполярный Урал, охраняемые растения.

Исследование и мониторинг биоты особо охраняемых природных территорий (ООПТ), которые имеют ключевое значение для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия как основы биосферы, рассматриваются в мире в качестве важнейшего приоритета. Республика Коми, где ландшафты мало трансформированы деятельностью человека, представляет собой уникальный полигон для сохранения и изучения биологического разнообразия. В регионе созданы 242 ООПТ, четыре из которых – Печоро-Илычский государственный природный биосферный заповедник, национальный парк «Югыд ва», национальный парк «Койгородский», государственный природный заказник «Параськины озера» – имеют федеральный статус, остальные (236) – региональное (республиканское) подчинение и два – местного значения. Общая площадь природно-заповедного фонда составляет 5,7 млн га – примерно 13,7% от общей площади республики [1].

Национальный парк «Югыд ва», расположенный в Республике Коми – один из крупнейших природоохранных объектов федерального значения, утвержденный Постановлением Правительства Российской Федерации в 1994 году. Сосредоточенный здесь крупнейший в Европе массив ненарушенных таежных лесов играет важную роль в сохранении естественного хода природных процессов и поддержании разнообразия таежного биома. Резерват занимает площадь около 20 тыс. км<sup>2</sup> и расположен на западном склоне Уральского хребта, охватывая горную, предгорную и равнинную орографические зоны. Протяженность парка с севера на юг составляет 280 км, с запада на восток – от 50 до 100 км [2].

Несмотря на то, что в последние десятилетия специалистами Института биологии Коми НЦ УрО РАН проведено углубленное изучение растительности, флор сосудистых и споровых растений, биот лишайников и грибов национального парка, выявлены новые, в том числе редкие, виды и изучена структура их популяций, многие труднодоступные участки этого крупного резервата и западного макросклона Приполярного и Северного Урала в целом до настоящего времени не обследованы или обследованы не в полной мере [2]. Ранее были исследованы близлежащие территории в бассейне р. Щугор: восточнее в 20–40 км – в верховьях р. Б. Паток [3], и намного южнее в долине р. Щугор и в бассейне р. Малый Паток – правого притока р. Щугор [4].

В рамках продолжения инвентаризации биоразнообразия национального парка «Югыд ва» в течение полевого сезона 2023 г. изучена флора в районе устья р. Потэмью (64°36' с. ш.; 59°00' в. д.) в среднем течении р. Б. Паток (бассейн р. Щугор). Изучение флоры сосудистых растений верховьев р. Б. Паток выполняли маршрутным методом с обследованием всех встреча-

ющихся местообитаний (долина р. Большой Паток с притоками, гольцовый, горно-тундровый, подгольцовый, горно-лесной пояса) и типов растительности (лесная, тундровая, болотная, кустарниковая, травяная). Протяженность радиальных маршрутов составляла до 7 км. Кроме того, при составлении списка локальной флоры использованы данные геоботанических описаний. Списки видового состава локальной флоры документированы гербарными сборами, хранящимися в гербарии Института биологии Коми НЦУрО РАН (SYKO). Определение растений выполнено с использованием монографии [5]. Данная сводка использована и при отнесении вида к географическим группам ареалов. Названия растений и расположение семейств приводятся по сводке С. К. Черепанова [6].

Проведен таксономический, систематический, географический, экологический и биологический анализы флоры. При географическом анализе использован метод биогеографических координат Б. А. Юрцева [7], согласно которому для каждого вида определен широтный и долготный типы ареалов.

По результатам исследований в среднем течении р. Б. Паток установлено, что флора сосудистых растений насчитывает 254 вида, относящихся к 169 родам и 63 семействам. Пропорция флоры (среднее число родов и видов в одном семействе) составляет 1:2,7:4,0.

К высшим споровым сосудистым растениям относятся 23 вида (или 9,1%). Одиннадцать видов принадлежат к папоротниковидным: *Athyrium distentifolium* Tausch ex Opiz, *Dryopteris dilatata* (Hoffm.) A. Gray, *Dryopteris fragrans* (L.) Schott, *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm., *Polystichum lonchitis* (L.) Roth, *Rhizomatospteris montana* (Lam.) A. Khokhr, *Woodsia glabella* R. Br., *Botrychium boreale* Milde, *Botrychium lunaria* (L.) Sw. Разнообразие хвощевидных и плауновидных немного меньше (по шесть видов соответственно), чем папоротниковидных. Пять видов принадлежат к голосеменным растениям, которые представлены хвойными: *Abies sibirica* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb., *Juniperus communis* L., *Juniperus sibirica* Burgsd. Первые три из перечисленных таксонов принадлежат к числу эдификаторов лесных сообществ.

Остальные виды (226) относятся к покрытосеменным растениям, из которых 59 – однодольные, а 167 – двудольные. Соотношение однодольных и двудольных составляет 1:2,8. Однодольные растения представлены семействами Sparganiaceae, Potamogetonaceae Dumort., Scheuchzeriaceae Rudolphi, Poaceae Barnhart, Cyperaceae Juss., Juncaceae Juss., Melanthiaceae Batsch, Alliaceae J. Agardh, Trilliaceae Lindl., Convallariaceae Horan., Orchidaceae Juss. Двудольные принадлежат к семействам Salicaceae Mirb., Betulaceae S. F. Gray, Urticaceae Juss., Polygonaceae Juss., Caryophyllaceae Juss., Nymphaeaceae Salisb., Ranunculaceae Juss., Paeoniaceae Rudolphi, Brassicaceae Burnett, Droseraceae Salisb., Crassulaceae DC., Saxifragaceae Juss., Parnassiaceae S. F. Gray, Grossulariaceae DC., Rosaceae Juss., Fabaceae Lindl., Geraniaceae Juss., Oxalidaceae R. Br., Callitrichaceae Link, Empetraceae S. F. Gray, Hypericaceae Juss., Violaceae Batsch, Thymelaceae Juss., Onagraceae Juss.,

Haloragaceae R. Br., Apiaceae Lindl., Cornaceae Dumort., Pyrolaceae Dumort., Ericaceae Juss., Primulaceae Vent., Menyanthaceae Dumort., Boraginaceae Juss., Lamiaceae Lindl., Scrophulariaceae Juss., Lentibulariaceae Rich., Rubiaceae Juss., Caprifoliaceae Juss., Adoxaceae Trautv., Valerianaceae Batsch, Campanulaceae Juss., Asteraceae Dumort.

Наибольшим числом видов во флоре среднего течения р. Б. Паток характеризуются семейства Asteraceae (28), Poaceae (24), Cyperaceae (20), Rosaceae (16), Ranunculaceae (15), Salicaceae (11), Ericaceae (11), Caryophyllaceae (9), Scrophulariaceae (6) и Equisetaceae (6). Остальные семейства включают от шести до одного вида. Доля видов в 10 ведущих семействах составляет 57,5%.

Растения, встречающиеся во флоре среднего течения р. Б. Паток, относятся к разным географическим элементам. Географический анализ флоры по составу широтных групп показал преобладание бореальных видов, которые составляют более половины от общего числа выявленных сосудистых растений – 157, или 61,8%. Среди бореальных видов такие эдификаторы и доминанты растительных сообществ, как *Abies sibirica*, *Larix sibirica*, *Picea obovata*, *Aconitum septentrionale* Koelle, *Bistorta major* S. F. Gray, *Calamagrostis purpurea* (Trin.) Trin., *Carex rostrata* Stokes, *Crepis sibirica* L. Намного меньше таксонов (70 видов, или 27,6%) принадлежат к другим северным широтным группам: арктической, аркто-альпийской и гипоарктической. Арктических видов, характерных для тундровой зоны, – 9, или 3,5%: *Carex arctisibirica* (Jurtz.) Czer, *Salix lanata* L., *Saxifraga nivalis* L., *Astragalus subpolaris* Boriss. et Schischk., *Hedysarum arcticum* B. Fedtsch., *Oxytropis sordid* (Willd.) Pers. и др. Аркто-альпийских видов – 25, или 9,8%: *Diphysastrum alpinum* (L.) Holub, *Baeotryon caespitosum* (L.) A. Dietr., *Eriophorum scheuchzeri* Hoppe, *Pachypleurum alpinum* Ledeb., *Viola biflora* L., *Pedicularis compacta* Steph. и др. Гипоарктических видов отмечено 36, или 14,2%: *Lycopodium lagopus* (Laest.) Zinserl. ex Kuzen., *Eriophorum russeolum* Fries, *Leucorchis albida* (L.) E. Mey., *Chamaepericlymenum suecicum* (L.) Aschers. et Graebn, *Pinguicula vulgaris* L., *Aster sibiricus* L. и др.

Из южных широтных групп (10 видов, или 3,9%) присутствует только неморально-бореальная. Лесостепных и неморальных видов не выявлено. Из неморально-бореальных видов отмечены следующие: *Crepis paludosa* (L.) Moench, *Dryopteris dilatata*, *D. filix-mas*, *Melica nutans* L., *Milium effusum* L., *Paris quadrifolia* L.; они произрастают в смешанных лесах разнотравных в долинах рек. Четырнадцать видов (5,5%) имеют полизональное распространение: *Callitriche cophocarpa* Sendtner, *Cerastium holosteoides* Fries, *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert, *Sagina procumbens* L.; часть из них произрастает во влажных экотопах, водных и болотных сообществах. Один вид принадлежит к горно-степным: *Polystichum lonchitis*.

Среди долготных групп преобладают виды с широкими гларктическими и евразийскими ареалами. Их доли составляют соответственно 39,4% и 38,2% от общего числа видов. Европейских видов 27, или 10,6% от общего



числа таксонов, к азиатским относятся 24 вида, или 9,4%. Соотношение европейских и азиатских (сибирских) видов закономерно отражает положение изученной территории на границе двух частей света – Европы и Азии. Космополитных видов – четыре (или 1,6%) – *Botrychium lunaria*, *Cystopteris fragilis*, *Callitriche cophocarpa*, *Sagina procumbens*. Два вида (или 0,8%) являются эндемиками Северного и Приполярного Урала: *Anemonastrum biarmense* (Juz.) Holub, *Thymus hirticaulus* Klok.

Во флоре среднего течения р. Б. Паток произрастают 11 видов сосудистых растений, занесенных в Красную книгу Республики Коми [8]. Один вид – *Botrychium boreale* Milde – отнесен к группе таксонов с категорией статуса редкости 2. Девять видов классифицированы как редкие (категория статуса редкости 3): *Woodsia glabella* R. Br. *Anemonastrum biarmiense*, *Dryopteris fragrans*, *Leucorchis albida* (L.) E. Mey., *Paeonia anomala* L., *Polystichum lonchitis* (L.) Roth, *Rhodiola rosea* L., *Cotoneaster cinnabarinus* Juz., *Potentilla kuznetzowii* (Govor.) Juz. Один вид – *Thymus hirticaulus* – относится к группе 4 с неопределенным статусом. Шесть видов, которые нуждаются в постоянном контроле численности популяций и включены в приложение 1 к региональной Красной книге [8]: *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Hedysarum arcticum* B. Fedtsch., *Harrimanella hypnoides* (L.) Cov., *Loiseleuria procumbens* (L.) Desv., *Phyllodoce caerulea* (L.) Bab., *Utricularia minor* L. Все флористические находки редких и охраняемых видов для данного района являются новыми. Часть популяций редких и охраняемых растений находятся в стабильном состоянии, отличаются высокой численностью и плотностью (*Anemonastrum biarmiense*, *Polystichum lonchitis*, *Rhodiola rosea*).

Флора среднего течения р. Б. Паток имеет смешанные бореальные и горные черты, в ней при преобладании бореальных таксонов заметна доля видов других северных широтных групп (арктической и аркто-альпийской) при низком участии видов южных широтных групп. Это закономерно обусловлено тем, что данная территория расположена в предгорьях Приполярного Урала с отметками абсолютных высот от 200 до 650 м над ур. м. Сорные и заносные растения полностью отсутствуют, что свидетельствует об отсутствии антропогенного воздействия на экосистемы. Во флоре произрастает 11 видов растений, занесенных в Красную книгу Республики Коми, и шесть видов нуждаются в постоянном контроле численности популяций и включены в приложение 1 к региональной Красной книге. Часть популяций редких и охраняемых растений находится в стабильном состоянии, отличается высокой численностью и плотностью.

*Исследования проведены в ходе выполнения темы государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦУрО РАН «Оценка эколого-ценотического, видового и популяционного разнообразия растительного мира ключевых особо охраняемых природных территорий Республики Коми», № государственной регистрации 1021051101424-8-1.6.11;1.6.19;1.6.20.*

### Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2023 году» / Минприроды Республики Коми и др.; под общ. ред. ФГБОУ ВО «УдГУ». Сыктывкар : Минприроды Республики Коми, 2024. 162 с.
2. Флоры, лишено- и микобиоты особо охраняемых ландшафтов бассейнов рек Косью и Большая Сыня (Приполярный Урал, национальный парк «Югыд ва») / под ред. С. В. Дёгтевой. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2016. 483 с.
3. Канев В. А. Материалы к флоре высших сосудистых растений верховьев реки Б. Паток (национальный парк «Югыд ва», приполярный Урал Республики Коми) // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 284–289.
4. Канев В. А. Редкие и охраняемые сосудистые растения южной части Приполярного Урала в границах национального парка «Югыд ва» (Республика Коми, бассейны рек Щугор и Вангыр) // Биоразнообразии экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана : IV Всерос. науч. конф.: Доклады: научное электронное издание. Сыктывкар : ИБ ФИЦ Коми НЦУрО РАН, 2023. С. 357–363.
5. Флора Северо-Востока европейской части СССР. Л., 1974. Т. I. 257 с.; 1976. Т. II. 316 с.; 1976. Т. III. 293 с.; 1977. Т. IV. 312 с.
6. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / под ред. Г. С. Розенберга, С. В. Саксонова. СПб. : Мир и семья, 1995. 990 с.
7. Юрцев Б. А. Флора Сунтар-Хаята. Л. : Наука, 1968. 235 с.
8. Красная книга Республики Коми: третье издание, официальное. Сыктывкар : ООО «Коми республиканская типография, 2019. 768 с.

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФЛОРЫ ОЗЕР-СТАРИЦ ВОЛЖСКОЙ ПОЙМЫ В ГРАНИЦАХ г. САМАРЫ

*А. И. Егоров, В. Н. Ильина, А. А. Бондарь*

*Самарский государственный социально-педагогический университет,  
aleksandr.egorov@sgspu.ru, Siva@mail.com, bondar.aleksandra@sgspu.ru*

Приведены результаты анализа флоры по типам гигроморф некоторых озер-стариц и прилегающих к ним территорий в черте г. Самары (острова Поджабный и Рождественский). Выявлено наличие 137 видов растений, среди которых преобладают мезофиты, субдоминируют гигрофиты. Территория служит рекреационной и буферной зоной, испытывает существенное воздействие при стихийном нерегулируемом туризме. Отмечен высокий индекс синантропизации флоры.

Ключевые слова: флора, анализ, озеро-старица, гигроморфы, пойма Волги.

Антропогенная трансформация, вызванная строительством крупных гидрологических и промышленных объектов в течение XX века вкупе с усилением общемировой тенденции к потеплению, приводит к подъему вод, усилению переувлажнения почв, их заболачиванию, анаэробнозису на заболо-

ченных землях и к ухудшению экологических условий в водоемах и на прилегающих к ним территориях в целом. К таким объектам относятся озера-старицы рек, характеризующиеся непродолжительным в геологическом плане периодом существования и находящиеся на разных стадиях своего развития. Следовательно, данный тип водных объектов может быть моделью для прогноза состояния водных экосистем в процессе их формирования. Озера-старицы привлекают внимание исследователей как интересные объекты, важные для сохранения ландшафтного разнообразия и биоты. Их исследованию посвящены работы самарских ботаников, зоологов, экологов [1–5].

Объектом нашего исследования являлись озера-старицы и прилегающая к ним территория на островах Поджабный и в Рождественской пойме реки Волги. Предмет исследования – растительный покров территории.

Флора озер-стариц и прилегающих к ним территорий насчитывает 137 видов сосудистых растений и отличается высоким разнообразием в биоморфологическом, экологическом, ареалогическом отношении. Индекс синантропизации флоры очень высок и равен 0,522.

Среди ведущих семейств следует назвать злаки – 13, осоки – 10, ивовые – 9, сложноцветные – 8, бобовые – 7, гречишные – 7, рдестовые – 6, губоцветные – 6, зонтичные – 5, крестоцветные – 5 видов. Уникальность семейственного спектра объясняется спецификой флоры водных и прибрежно-водных экосистем. В сумме 10 ведущих семейств включают 76 видов, что составляет 55,5% всей флоры.

Во флоре озер-стариц нами выявлено 7 групп гигроморф. По числу видов среди гигроморф первое место занимают мезофиты, в процентном соотношении это 30,3%. Представители этой группы: *Poa palustris* L., *Poa pratensis* L. s. l., *Rumex stenophyllus* Lebed., *Medicago lupulina* L., *Beckmannia eruciformis* (L.) Host, *Alopecurus geniculatus* L., *Sisymbrium loeselii* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Erigeron canadensis* L., *Urtica dioica* L., *Xanthium strumarium* L., *Euforbia virgata* Waldst. et Kit., *Potentilla anserina* L., *Rumex confertus* Willd., *Persicaria aviculare* L., *Persicaria lapathifolium* L., *Althaea officinalis* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Lathyrus pratensis* L., *Amoria pratense* L., *Amoria repens* (L.) C. Presl, *Tripleurospermum perforatum* (Merat) M. Lainz, *Tussillago farfara* L., *Inula britannica* L., *Taraxacum officinale* Wigs., *Ranunculus acris* L., *Ranunculus repens* L., *Plantago intermedia* L., *Populus nigra* L., *Populus alba* L., *Ranunculus sceleratus* L., *Berteroa incana* (L.) DC, *Melilotus albus* Medik, *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Carum carvi* L., *Humulus lupulus* L., *Chenopodium glaucum* L., *Chenopodium album* L., *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv, *Stellaria palustris* Retz.

Гигрофиты насчитывают 25% и занимают второе место по числу видов: *Carex pseudocyperus* L., *Persicaria minor* (Huds.) Opiz, *Agrostis gigantea* Roth, *Juncus gerardii* Loisel, *Juncus articulatus* L., *Scirpus sylvaticus* L., *Epilobium palustre* L., *Lycopus europaeus* L., *Rorippa amphibia* (L.) Bess., *Cucubalus baccifer* L., *Veronica anagallis-aquatica* L., *Rorippa palustris* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Persicaria hydropiper* (L.) Spach, *Salix viminalis* L., *Salix triandra* L.,

*Salix alba* L., *Salix pentandra* L., *Scutellaria galericulata* L., *Filipendula ulmaria* (Sojak.) Cuz., *Bidens tripartita* L., *Symphitum officinale* L., *Lysimachia nummularia* L., *Mentha arvensis* L., *Solanum dulcamara* L., *Epilobium hirsutum* L., *Salix myrsinifolia* Salis., *Salix fragilis* L., *Salix cinerea* L., *Sonchus palustris* L., *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert, *Lycopus exaltatus* L. fil., *Equisetum palustre* L.

Гидрофиты занимают третье место по численности – 16,6%. Среди них отмечены *Elatine alsinastrum* L., *Carex riparia* Curt., *Potamogeton compressus* L., *Potamogeton berchtoldii* Fieb., *Myriophyllum spicatum* L., *Salvinia natans* (L.) All., *Ceratophyllum demersum* L., *Caulinia minor* (All.) Coss. et Germ, *Najas major* L., *Potamogeton lucens* L., *Potamogeton crispus* L., *Potamogeton perfoliatus* L., *Lemna minor* L., *Lemna trisulca* L., *Spirodela polyrhiza* L., *Potamogeton pectinatus* L., *Ceratophyllum tanaiticum* Sapjeg., *Elodea canadensis* Michx., *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Persicaria amphibia* (L.) S. F., *Nuphar lutea* (L.) Smith, *Nymphaea alba* L.

Гелофиты насчитывают 10,6% и занимают четвертое место среди гигроморф, представлена группа такими видами, как *Eleocharis palustris* (L.) Roem et Schult., *Typha latifolia* L., *Typha laxmanii* Lepech., *Typha angustifolia* L., *Glyceria maxima* (C. Hartm) Holmb, *Alisma gramineum* Lej., *Sparganium erectum* L., *Butomus umbellatus* L., *Alisma plantago-aquatica* L., *Phragmites australis* (Cav) Frin ex steud, *Scirpus lacustris* L., *Scirpus tabernaemontani* C.C.Gmel., *Sagittaria sagittifolia* L., *Alisma lanceolatum* With.

Гигро-мезофиты расположились на пятом месте с 9,1% представителей: *Calistegia sepium* (L.) R.Br., *Cyperus fuscus* L., *Heracleum sibiricum* L., *Rubus caesius* L., *Valeriana officinalis* L., *Geranium palustre* L., *Padus avium* Mill., *Artemisia procera* L., *Stachys palustris* L., *Stachys recta* L., *Sium latifolium* L., *Alopecurus pratensis* L.

Предпоследнюю позицию занимают гигро-гелофиты, которых выявлено 7,6%: *Agrostis stolonifera* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub., *Carex acuta* L., *Bolboschoenus kozhevnikovii* Liv., *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, *Lythrum salicina* L., *Lythrum virgata* L., *Equisetum fluviatile* L., *Oenanthe aquatica* (L.) Poir., *Cicuta virosa* L.

Наименьшее количество видов отмечено в группе мезо-галофитов – *Amoria fragiferum* L., это 0,8% от общего числа видов.

Пойма реки Волги в черте г. Самары (Куйбышевский район) служит важным стабилизирующим звеном между водными и околоводными системами. Пойменные территории в оптимальных условиях имеют богатое флористическое и ценотическое разнообразие, обеспечивая гидрологический режим и другие геоэкологические процессы в долине реки. Однако, при упрощении растительных сообществ и снижении видового разнообразия буферное значение зоны заметно снижается. Территория испытывает значительное антропогенное воздействие, прежде всего из-за стихийного нерегулируемого туризма.

### Библиографический список

1. Матвеев В. И. Динамика растительности водоемов бассейна Средней Волги. Куйбышев : Кн. изд-во, 1990. 192 с.
2. Матвеев В. И., Саксонов С. В. Закономерности формирования флоры и растительности заповедного озера Кольчужного // Самарская Лука на пороге третьего тысячелетия : материалы к докладу «Состояние природного и культурного наследия Самарской Луки». Тольятти : ИЭВБ РАН, ОСНП «Парквей», 1999. С. 109–112.
3. Митрошенкова А. Е., Ясюк В. П. Современное состояние экосистемы Яицких озер левобережной поймы реки Самары // Научный диалог. 2014. № 1 (25). С. 115–126.
4. Ясюк В. П., Митрошенкова А. Е. Биоразнообразие водоёмов урбанизированных территорий (на примере озера Банного) // Исследования в области биологии и методики её преподавания : Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 3 (2). Самара : Изд-во СГПУ, 2003. С. 156–162.
5. Ясюк В. П., Митрошенкова А. Е. Кряжские озёра // Краеведческие записки. Выпуск XIV. Самара : ГУК «Самарский областной историко-краеведческий музей имени П. В. Алабина», 2010. С. 9–19.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЛЕСКА НА ЕЛОВОЙ ВЫРУБКЕ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

*М. А. Кузнецов*

*Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук,  
kuznetsov\_ma@ib.komisc.ru*

В статье представлены данные по динамике количества подлеска на вырубке в подзоне средней тайги Республики Коми. На 10-летней вырубке по сравнению с 4-хлетней возросло количество ивы, рябины и шиповника. Число жимолости и можжевельника сократилось; малина отсутствует. Отмечены новые виды: крушина и ирга.

Ключевые слова: подлесок, подрост, рубка.

В настоящее время ежегодно промышленными рубками в Республике Коми проходится около 40–60 тыс. га, а объем заготавливаемой древесины составляет 8–10 млн м<sup>3</sup>. Заселение вырубок древесными растениями – сложный и длительный процесс, обусловленный разными факторами: природно-климатическими условиями, типом леса, сохранностью подроста при лесоразработках, наличием источников семян, технологией лесосечных работ.

Подлесок является важнейшим компонентом лесного фитоценоза. Структурные изменения, происходящие в нем после воздействия извне, обеспечивают стабильность круговорота элементов питания и, таким образом, повышают устойчивость лесного фитоценоза.

Объектом исследования выбрана четырехлетняя (перечет 2018 г.) и 10-летняя (перечет 2024 г.) вырубка ельника на территории Сыктывкарского лесничества Республики Коми. Для проведения лесозаготовительных работ в 2014 г. применяли многооперационные машины харвестер и фарвардер.

В 2024 г. (когда вырубке было 10 лет) была проведена рубка ухода. Учет подлеска проводился после рубки ухода.

Было заложено 50 круговых учетных площадок размером 10 м<sup>2</sup>, равномерно размещенных по площади вырубки. На каждой из них проводили сплошной переучет, определяли видовой состав, жизненное состояние подроста и подлеска.

Характеристика 4-хлетней вырубки приведена нами ранее [1]. Показано, что на вырубке идет лесовозобновительный процесс. Подрост составляет более 74 тыс. экз./га. Доминирует береза (95% от общего количества подроста). Количество растений ивы на вырубке ельников составляет 1,4±0,3 тыс. экз. га<sup>-1</sup> и произрастает примерно в одинаковом количестве как на пасечном (48%), так и на волочном (52%) участках. Рябина произрастает только на пасечных участках в количестве 267 экз. га<sup>-1</sup>.

На 4-хлетней вырубке также представлен подлесок кустарниковой формы. Особи шиповника (3,6 тыс. экз. га<sup>-1</sup>) и жимолости (110 экз. га<sup>-1</sup>) встречаются как на пасечных, так и на волочных участках. Можжевельник (110 экз. га<sup>-1</sup>) сохранился лишь на пасечных участках. На волочных участках отмечено появление малины (27 экз. га<sup>-1</sup>).

На 10-летней вырубке количество подроста рябины и ивы увеличилось в 1,2 и в 1,3 раза соответственно. Численность шиповника возросла в 2,2 раза. Число особей можжевельника уменьшилось в 1,3 раза. Жимолость (33 экз. га<sup>-1</sup>) отмечена только на волочных участках вырубки. Малина на вырубке отсутствует. Сокращение особей можжевельника, жимолости и исчезновение малины мы связываем с проведением рубки ухода. Также на 10-летней вырубке единично отмечены новые виды: крушина и ирга.

*Работа выполнена в рамках бюджетной темы НИР «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» №1021051101417-8-1.6.19*

#### **Библиографический список**

1. Кузнецов М. А. Естественное лесовозобновление на сплошнолесосечной вырубке среднетаежного ельника черничного // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 209–211.

## КРАСНОКНИЖНЫЕ ВИДЫ ГРИБОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КИРОВА

А. А. Широких<sup>1,2</sup>, Д. В. Попыванов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, [aleshirokikh@yandex.ru](mailto:aleshirokikh@yandex.ru)

<sup>2</sup> Государственный природный заповедник «Нургуш»

На территории города Кирова были обнаружены спорокарпы двух видов грибов, занесённых в Красную книгу Кировской области. Это виды трутовика лакированного (*Ganoderma lucidum* (A.M.Curtis; Fr.) P. Karst.) и ежевика коралловидного (*Hericium coralloides* (Scop.: Fr.) Pers.), которые ранее отмечались только в лесных экосистемах области. В статье описаны экотопы, в которых обнаружены редкие виды грибов, и особенности их распространения.

Ключевые слова: грибы, охрана природы, мицелий, ксилотрофы, базидиомицеты.

В современном мире особое значение приобретает сохранение биологического разнообразия, которое обеспечивает стабильность окружающей среды и тесно связано с качеством жизни человека. Охрана редких видов в природных экосистемах является основой для сохранения биологического разнообразия. Для животных и растений принципы охраны редких видов достаточно хорошо разработаны, чего нельзя сказать о грибах, которые являются неотъемлемым компонентом любой экосистемы.

Охрана редких видов грибов представляет определённую сложность, обусловленную особенностями биологии и организации этих организмов. Вегетативное тело гриба представляет собой мицелий, состоящий из множества гиф и располагающийся в почве, древесине или в любом другом субстрате, подходящим для данного вида гриба. Локализуясь в субстрате, мицелий, как правило, остаётся невидимым для наблюдателя, и обнаружить присутствие вида можно только по появлению плодовых тел (спорокарпов), которые являются органами размножения грибов. Появление крупных плодовых тел у базидиальных макромицетов определяется благоприятным сочетанием погодных факторов, биологических ритмов плодообразования и наличием в цикле развития дикариотического мицелия, который обеспечивает формирование спорокарпа [1, 2]. Антропогенное влияние на природные экосистемы у многих макромицетов ведёт к нарушению биоритмов, изменению способов питания, фенологических сроков плодообразования, снижению вероятности встречи двух мицелиев с противоположными знаками, обеспечивающей появление дикариона – основы для формирования спорокарпа [3]. В связи с этим, прогнозировать появление плодовых тел у базидиальных макромицетов практически невозможно, а установление точных границ распространения их популяции представляет определённые трудности.

Базидиальные макромицеты размножаются спорами, которые могут разноситься на большие расстояния ветром, животными и насекомыми. Споры сапротрофных грибов, в отличие от микоризообразующих, не нуждаются в растениях-хозяевах и могут прорасти на любом подходящем субстрате. Таким образом, объективную картину распространения редких видов базидиальных макромицетов может отразить лишь многолетний мониторинг территорий обитания этих видов, поэтому выявление плодовых тел грибов на новых местообитаниях расширяет представления о распространении их популяций.

На территории города Кирова обнаружены спорокарпы двух видов грибов, занесённых в Красную книгу Кировской области. Это виды трутовика лакированного (*Ganoderma lucidum* (A.M.Curtis; Fr.) P. Karst.) и ежевика кораллоидного (*Hericium coralloides* (Scop.: Fr.) Pers.), которые ранее отмечались только в лесных экосистемах области.

*Ganoderma lucidum* относится к 1 категории как вид, находящийся под угрозой исчезновения. Распространён в умеренно-субтропической зоне Европы, Северной Африки, Азии, Северной Америки. В России – европейская часть, Урал, Сибирь, Дальний Восток. Гриб широко распространён, но повсеместно редок. В Кировской области находки плодовых тел известны из Кирово-Чепецкого, Немского, Омутнинского, Свечинского, Слободского и Юрьянского районов [4].

Трутовик лакированный является ксилотрофом или паразитирует на живых деревьях, вызывая белую гниль. Растёт в старых густых хвойных и смешанных лесах на стволах живых деревьев, пнях, валеже лиственных, реже хвойных пород. Образует однолетние плодовые тела, полукруглые, 10–25 см в диаметре, 2–3 см толщиной, с боковой цилиндрической ножкой. Поверхность шляпки покрыта блестящей красновато-коричневой коркой. Мякоть губчато-пробковая, белая или беловатая. Поры мелкие, округлые, 4–5 на 1 мм. Плодовые тела образуются в августе-сентябре. Трутовик лакированный широко известен как лекарственный гриб под названием «линчжи» или «рейши», широко используемый в традиционной китайской медицине [5]. Несъедобный.

Плодовые тела *Ganoderma lucidum* обнаружены в дендрологическом парке лесоводов Кировской области на пнях лиственницы в количестве 2-х штук. Напротив этой находки, через дорогу, так же на пне лиственницы обнаружены молодые, не сформировавшиеся плодовые тела (рис. 1).

*Hericium coralloides* относится к 3 категории, как редкий малочисленный вид. Распространён в лесной зоне северного полушария: Европа, Казахстан, Северная Америка, Азия. В России – европейская часть, Кавказ, Сибирь, Камчатка, Дальний Восток. Повсеместно редок. В Кировской области отмечены единичные экземпляры в северных и южных районах [4]. Численность в области находится на стабильно низком уровне. Встречается редко, отдельными плодовыми телами, приуроченными к отмершим стволам лиственных деревьев.



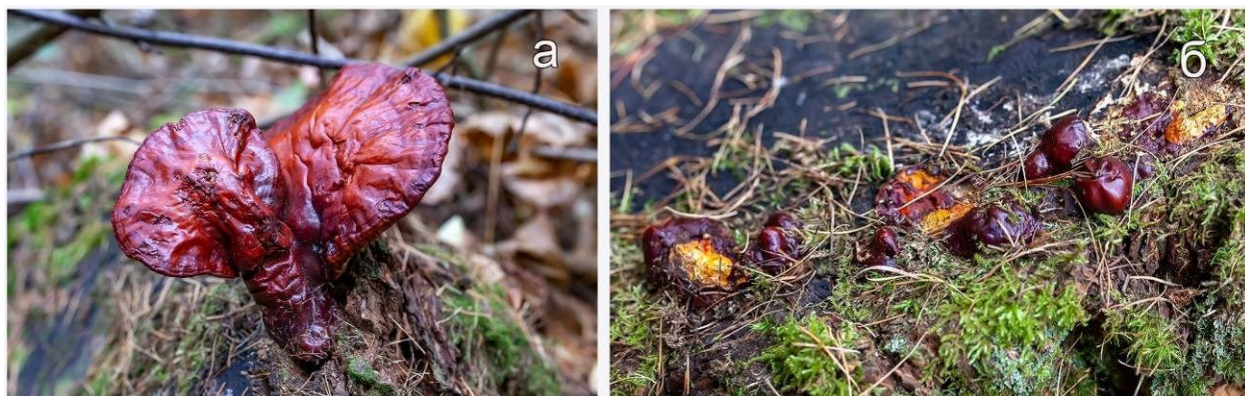


Рис. 1. *Ganoderma lucidum*: а – плодовое тело; б – молодые плодовые тела

Ежевик коралловидный является сапротрофным видом. Растёт на сухостое, пнях, валеже лиственных пород деревьев. Плодовые тела жёстко мясистые, коралловидные, в виде кустиков до 40 см в диаметре, однолетние. Веточки белоснежно-белые, со временем и при высыхании буреют, с нижней стороны покрыты мелкими частыми шипиками. Запах грибной, приятный. Образует плодовые тела ежегодно, с июля по сентябрь. *Hericium coralloides* известен как лекарственный гриб под названиями «юйжань», «сонхуа», широко используемый в традиционной китайской медицине [5]. Съедобен.

Ежевик коралловидный обнаружен в дендрарии ФАНЦ Северо-Востока после удаления старых деревьев, распиленные стволы которых в течение 3 месяцев находились на территории дендрария. Плодовое тело гриба располагалось на торцевой части спиленного ствола липы (рис. 2).



Рис. 2. Плодовое тело *Hericium coralloides* на стволе липы

Виды грибов, занесённых в Красную книгу России, встречаются не только в г. Кирове. Редкие виды обнаружены и на территории других городов. Например, на территории г. Москвы отмечено 32 вида грибов, занесённых в Красную книгу [6]. Следует заметить, что в г. Москве более 19 тыс. га занято под охраняемые территории. Некоторые из них широко известны за

пределами города: «Царицыно», «Лосинный остров», «Измайловский парк» и др. Таким образом, виды редких грибов на городских территориях можно обнаружить благодаря хорошей сохранности их среды обитания. Красная книга призвана охранять не только редкие и уязвимые виды, но и их среду обитания. Появление соответствующих условий среды (подходящий субстрат для роста, погодные-климатические условия) спровоцировало не только прорастание принесённых, очевидно, ветром спор трутовика лакированного и ежевика кораллового, но и формирование ими мицелия и спорокарпов в ранее несвойственных для этих видов грибов условиях.

#### Библиографический список

1. Бурова Л. Г. Экология грибов макромицетов. М. : Рипол Классик, 1986. 222 с.
2. Ильина Г. В., Лыков Ю. С. Биологические особенности видов ксилотрофных базидиомицетов лесостепи Правобережного Поволжья *in-situ* и *ex-situ* // Поволжский экологический журнал. 2010. № 3. С. 263–273.
3. Переведенцева Л. Г., Шилкова Т. А. Редкие виды грибов на территории Черняевского леса // Географический вестник. 2014. № 1 (28). С. 109–111.
4. Красная Книга Кировской области. Животные, растения, грибы / под ред. О. Г. Барановой, Е. П. Лачохи, В. М. Рябова, В. Н. Сотникова, Е. М. Тарасовой, Л. Г. Целищевой. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.
5. Лекарственные грибы в традиционной китайской медицине и современных биотехнологиях / под ред. В. А. Сысуева. Киров : О-Краткое, 2009. 320 с.
6. Природа Москвы [Электронный ресурс]. – URL: <https://mospriroda.ru> (дата обращения: 05.10.2024).

## СОСТОЯНИЕ ХВОЙНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В г. КРАСНОЯРСКЕ

*О. М. Ступакова, А. С. Черкай, Д. А. Щеренко*  
Сибирский государственный университет  
науки и технологий имени М. Ф. Решетнева,  
*stupakovaom@sibsau.ru*

В работе представлены результаты обследования хвойных древесных растений на территории жилого микрорайона «Покровский» Центрального района г. Красноярска с выявлением категорий состояния экземпляров. Результаты исследования могут быть применены для практики озеленения городов Сибири.

Ключевые слова: озеленение, хвойные древесные растения, состояние насаждений, сквер.

В связи с ухудшающейся экологической обстановкой урбанизированных территорий [1] актуальными являются локальные исследования в области биоиндикации состояния окружающей среды. На территории г. Красноярска ведутся ежегодные исследования состояния лиственницы сибирской, яблони

сибирской, березы повислой, черемухи Маака и других древесных растений [2].

Нами проведено локальное исследование состояния хвойных древесных пород на территории сквера площадью более 1,2 га в микрорайоне «Покровский» Центрального района г. Красноярска. Реконструкция данного сквера производилась в 2018–2019 гг. На данный момент насаждениям сквера 5–6 лет, площадь объекта приурочена не только к жилым зданиям, но и к территории школы, а также находится в приближении 20 м к оживленным автомобильным дорогам (ул. Мужества и ул. Линейная).

Хвойные насаждения сквера представлены семью видами деревьев и кустарников с преобладанием лиственницы сибирской (рис. 1).

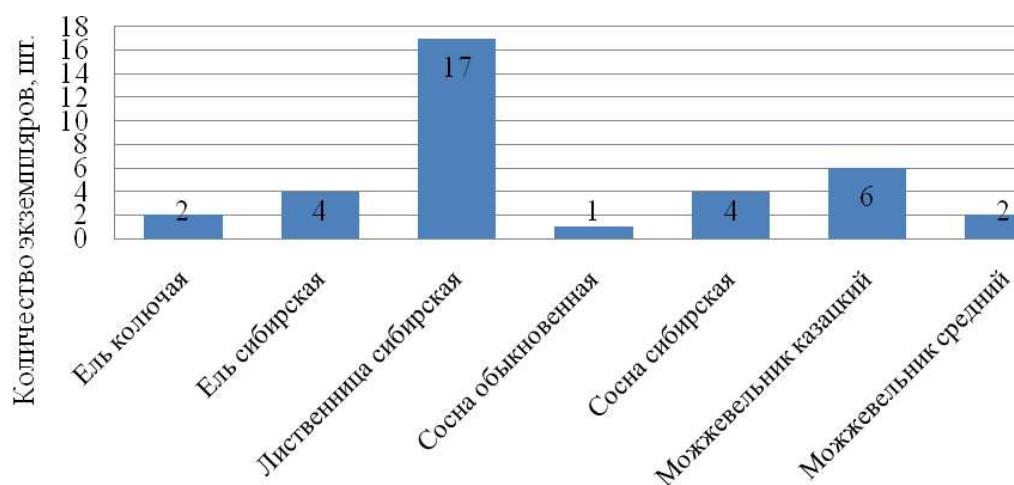


Рис. 1. Распределение хвойных видов по количеству

Большинство видов относятся к семейству сосновые (78%), деревьям первой величины. Композиционное решение хвойных посадок представлено тремя типами садово-парковых насаждений: солитер, рядовая и групповая посадка с преобладанием последней (рис. 2), что обусловлено проектом реконструкции сквера – на этапе разработки концепции специалистами было принято решение о склонении к пейзажной стилизации.

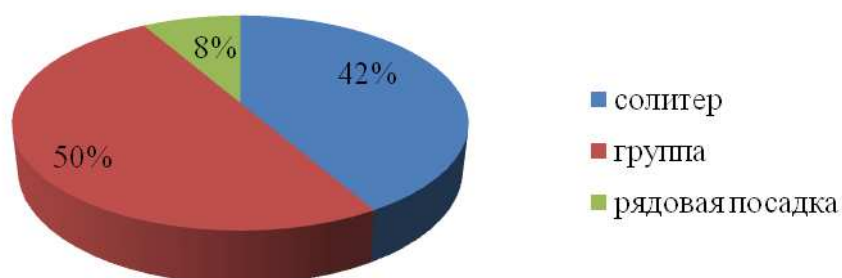


Рис. 2. Композиционное распределение хвойной дендрофлоры

Состояние растений определяли согласно методике инвентаризации городских зеленых насаждений [3] с выявлением трех категорий (рис. 3). Пре-

обладает категория состояния деревьев «хорошее», в котором находятся один экземпляр ели колючей и 17 экземпляров лиственницы сибирской. 42% растений имеют категорию состояния «удовлетворительное» (ели колючая и сибирская, сосна сибирская, можжевельники). Единично встречаются экземпляры в неудовлетворительном состоянии у сосны обыкновенной, можжевельников казацкого и среднего.

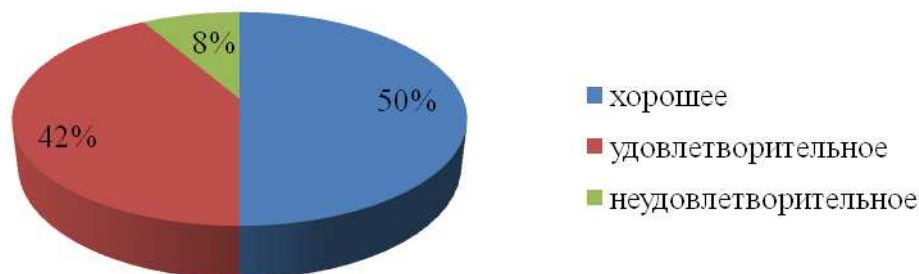


Рис. 3 Распределение хвойных видов по категориям состояния

Несмотря на близость изучаемой территории к оживленным автомобильным магистралям и расположение в одном из самых населенных районов города, по прошествии шести лет после посадки хвойных растений, они находятся преимущественно в хорошем состоянии, что связано со следующими факторами:

- высокое изначальное качество посадочного материала;
- трехсторонняя защищенность территории от преобладающего ветра и палящего солнца;
- сравнительно молодой возраст посадок;
- ответственность местных жителей и их участие в уходах и охране территории.

Известно, что одними из наиболее чувствительных дендроиндикаторов являются хвойные породы [4]. Необходимо продолжать и увеличивать сеть локальных исследований за хвойными деревьями и кустарниками, особенно в экологически неблагоприятных районах.

#### Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2020 году». Красноярск, 2021. 337 с.
2. Лисотова Е. В. Комплексная оценка состояния древесных растений в условиях урбосреды // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. Брянск, 2024. С. 36–39.
3. Методика инвентаризации городских зеленых насаждений (Минстрой России, 1997 г.). Введен в действие 01.01.1997. Разработан АКХ имени К. Д. Памфилова. Утвержден Департаментом ЖКХ 01.01.1997 [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4294815/4294815098.htm> (дата обращения: 22.10.2024).
4. Авдеева Е. В., Панов А. И. Биоиндикация урбозкосистем по морфологическим признакам хвойных растений // Хвойные бореальной зоны. 2017. Т. 35, № 1–2. С. 7–14.

## АДВЕНТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ПРИДОРОЖНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ДОНЕЦКО-МАКЕЕВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

*А. В. Калинина*

*Донецкий государственный университет,  
kalinina.angela91@mail.ru*

В статье представлены результаты обследования придорожных фитоценозов Донецко-Макеевской агломерации, адвентивной фракции сообществ. Составлен список заносных видов, установлена доля адвентивного компонента придорожных сообществ. Выполнен анализ спектра семейств адвентивных видов. Выявлены семь малораспространенных чужеродных видов. Отмечено распространение видов с инвазивным потенциалом: *Solidago canadensis* L., *Grindelia squarrosa* (L.) Nevski.

Ключевые слова: адвентивный вид, придорожный экотоп, антропогенно трансформированная среда, Донецко-Макеевская агломерация.

Проникновение чужеродных видов в природные растительные сообщества является одной из ключевых экологических проблем [1]. Процесс адвентизации флоры не связан с естественным ходом флорогенеза, он является следствием прямой и косвенной деятельности человека и климатических изменений [1]. Транспортные сети – одна из самых распространенных антропогенно трансформированных сред урбанизированных территорий [2, 3]. Они представляют собой важный компонент городской инфраструктуры, однако играют значимую роль для внедрения, натурализации и дальнейшего расселения адвентивных видов [2].

В настоящее время нагрузка на транспортные сети Донбасса увеличена, наблюдается повышение интенсивности движения, проводится большое количество ремонтных и восстановительных работ на транспортных магистралях республики. Соответственно исследование адвентивного компонента в составе придорожных экотопов является актуальным научным направлением для территории Донбасса. Цель работы – определить особенности состава адвентивной фракции флоры придорожных экотопов Донецко-Макеевской агломерации.

Территории, прилегающие к автомобильным дорогам, обладают рядом свойств, которые объясняют их уязвимость для внедрения заносных видов: регулярные нарушения целостности растительного покрова, связанные с эксплуатацией дорог; перенос семян посредством деятельности человека; нарушение эдафических свойств экотопа [1–4].

В 2022–2024 гг. осуществляли исследования травянистых сообществ обочин дорог Донецко-Макеевской агломерации, применяли общепринятые методы маршрутных флористических обследований. Изучение сообществ проводили в весенний, летний и осенний периоды. Номенклатура таксонов



адвентивных видов и их принадлежность к данной группе указана по сведениям из справочных работ донецкой ботанической школы В. М. Остапко.

В ходе исследования придорожных экотопов Донецко-Макеевской агломерации выявлено 142 вида сосудистых растений, которые относятся к 32 семействам. Адвентивная фракция изученных придорожных фитоценозов составила 51 вид, которые относятся к 48 родам и 22 семействам.

Анализ спектра семейств адвентивных видов показал, что лидирующую позицию занимает семейство Asteraceae – 27,5% от общего числа, далее следуют Poaceae – 11,8%, затем – Fabaceae, Brassicaceae, Lamiaceae, которые составляют по 5,8% каждое, остальные семейства представлены одним видом (рис.).

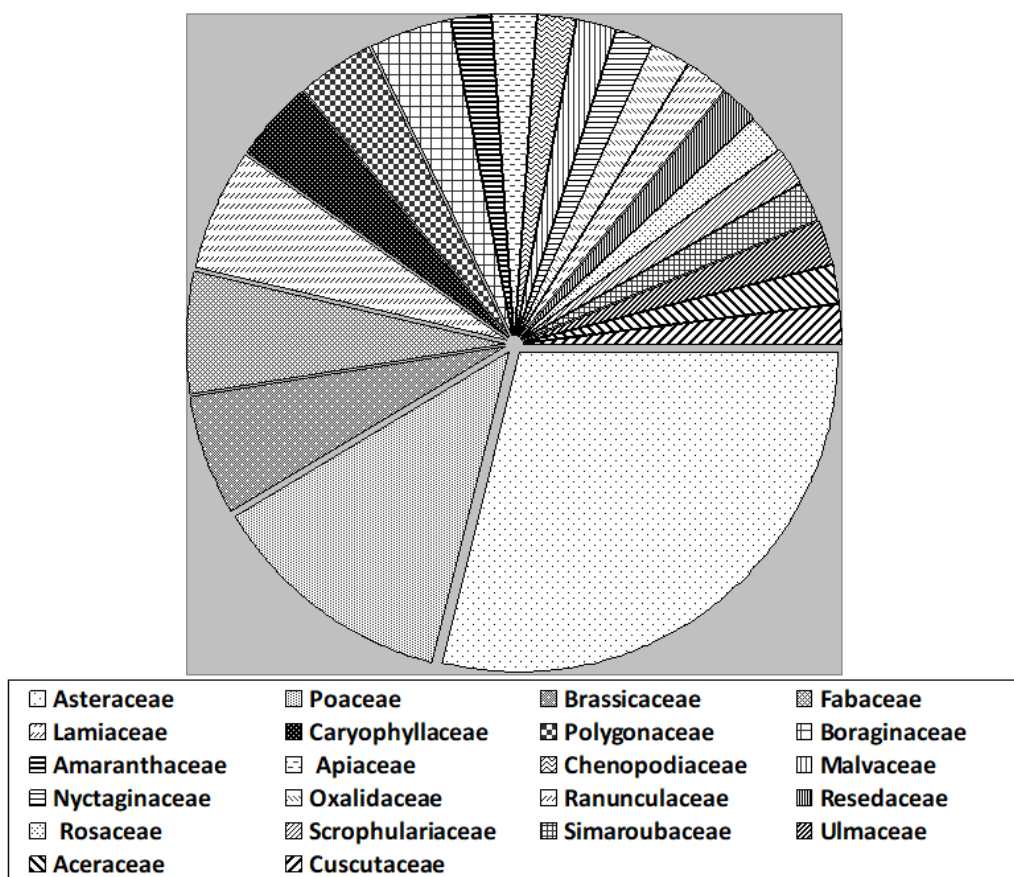


Рис. Спектр семейств адвентивных видов придорожных экотопов Донецко-Макеевской агломерации

В составе урбанофлоры Донбасса на конец XX в. отмечалось 26,0% адвентивных видов [5]. Адвентивный компонент исследованных травянистых фитоценозов придорожной территории составил 35,9% от общего числа видов, что превышает региональные показатели.

Увеличение доли адвентивных видов свидетельствует о том, что адвентивный компонент флоры является динамичной системой и постоянно находится в стадии активного формирования в придорожных экотопах.

Наиболее распространенными и часто встречающимися чужеродными видами являются: *Ambrosia artemisiifolia* L., *Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort,

*Conyza canadensis* (L.) Cronquist., *Atriplex tatarica* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC., *Setaria viridis* (L.) P.Beauv. Данные виды часто выступают в сообществах как в качестве доминантов, так и содоминантов, проективное покрытие может достигать 80%.

В ходе исследования выявлены малораспространенные ранее виды [6]: *Picris rigida* Ledeb. ex Spreng., *Oxybaphus nyctagineus* (Michx.) Sweet., *Rumex patientia* L., *Solidago canadensis* L., *Grindelia squarrosa* (L.) Nevski, (Pursh) Dunal, *Gypsophila paulii* Klokov., *Oxalis corniculata* L.

*Picris rigida*, *Oxalis corniculata*, *Gypsophila paulii* на обочинах дорог встречаются единично. *Solidago canadensis*, *Grindelia squarrosa*, *Oxybaphus nyctagineus* отмечены группами, наблюдается увеличение числа особей и проективного покрытия указанных видов в 2024 г. в сравнении с данными 2023 г. В случае с *Rumex patientia* выявлен один локалитет в количестве около 20 особей на разных стадиях развития на придорожном участке проспекта Ильича г. Донецка.

Таким образом, в ходе исследования установлено, что 35,9% от общего числа выявленных на придорожных экотопах Донецко-Макеевской агломерации видов являются адвентивными, что превышает региональные показатели адвентизации. В составе придорожных фитоценозов отмечено 7 малораспространенных видов, два из них – *Solidago canadensis* и *Grindelia squarrosa* – обладают инвазивным потенциалом, нуждаются в особом контроле распространения.

Для выявления закономерностей трансформации флор на придорожных участках, особенностей флорогенеза на современном этапе и контроля распространения адвентов необходимо проведение дальнейших мониторинговых исследований, которые являются актуальными для различных регионов.

*Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ НИОКТР124051400023-4).*

#### **Библиографический список**

1. Чадаева В. А., Пшегусов Р. Х. Закономерности адвентивизации придорожных сообществ юга Российского Причерноморья. DOI: 10.26907/2542-064X.2021.1 // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2021. Т. 163, № 1. С. 115–136.
2. Калинина А. В., Сафонов А. И. Травянистые фитоценозы придорожной территории г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 3. С. 6–11.
3. Экспозиционный материал кафедры ботаники и экологии ДонГУ для представления ДНР на Форуме ВДНХ «Россия» в 2024 году / А. И. Сафонов, Э. И. Мирненко, Н. С. Мирненко и др. // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2024. № 1. С. 27–38.
4. Пирко И. Ф., Корниенко В. О. Ресурсы флоры юга Восточно-Европейской равнины. Аборигенные виды злаков для придорожного озеленения Донецко-Макеевской агломерации. DOI: 10.5281/zenodo.13758407 // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2024. № 3. С. 65–78.
5. Бурда Р. И. Антропогенная трансформация флоры. К. : Наук. думка, 1991. 168 с.

6. Предварительные результаты по формированию «Черной книги Донбасса» / С. А. Приходько, Е. Г. Муленкова, А. А. Кривцун, В. М. Остапко // Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться. М. : Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова Издательский Дом, 2022. С. 188–195.

## **ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТОЧНОГО ОФОРМЛЕНИЯ ПРИДОРОЖНЫХ УЧАСТКОВ ДОНЕЦКО-МАКЕЕВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ**

*Ю. С. Калинина*

*Донецкий государственный университет,  
yu.kalinina91@mail.ru*

В работе представлены результаты оценки цветочного оформления некоторых улиц и автомагистралей Донецко-Макеевской агломерации. Проанализирован ассортимент декоративных видов растений, их распределение в группах по основным экологическим факторам, дана оценка состояния цветников.

Ключевые слова: озеленение, цветочное оформление, автомагистраль, экологическая группа, Донецко-Макеевская агломерация.

Одним из обязательных процессов в полноценном цветочном оформлении урбанизированных территорий является создание цветников вдоль крупных городских автомагистралей и транспортных развязок. В данных местах ежедневно сосредоточивается большое количество населения, которое перемещается на общественном и личном транспорте, а цветочное оформление таких территорий является наиболее доступным в основном для пассажиров и водителей.

Однако существуют некоторые особенности при зрительном восприятии цветочных композиций вдоль автомагистралей. В основном цветники обозреваются только из движущегося транспорта, постоянно смещаясь в поле зрения человека. Из-за этого отрезок времени для восприятия такого цветника может составлять всего несколько секунд.

Следует отметить, что повышение транспортной нагрузки оказывает негативное воздействие на состояние озелененных придорожных территорий. Декоративные травянистые растения в непосредственной близости от проезжей части испытывают целый ряд неблагоприятных факторов городской среды: осаждение сажи и копоти от выхлопных газов автотранспорта, воздействие пыли дорожного покрытия [1].

В озеленении придорожных территорий цветы занимают небольшую площадь в сравнении с газонами, кустарниковыми и древесными насаждениями. Однако, при удачном подборе и правильном размещении они обладают высоким декоративным эффектом [2]. Все зеленые насаждения особенно важны в формировании благоприятной городской среды со стороны экологи-



ческого аспекта, а также физического и психоэмоционального состояния горожан в условиях современного ритма жизни [3].

Цель работы – анализ актуального состояния цветников вдоль городских автомагистралей и транспортных развязок Донецко-Макеевской агломерации, установление их видового разнообразия и экологических характеристик.

Исследование проводили в июне–августе 2024 г. Объекты исследования: ул. Артема, ул. Набережная Ворошиловского района г. Донецка, просп. Павших Коммунаров, бульв. Шевченко, просп. Ильича, Макеевское шоссе Калининского района г. Донецка, пл. Буденновская Буденновского района г. Донецка, Донецкое шоссе Горняцкого района г. Макеевка, просп. 250-летия Донбасса, ул. Ленина Центрально-Городского района г. Макеевка. Все учетные площадки отличаются интенсивным движением автотранспорта.

По результатам ландшафтно-эстетического анализа и изучения систем проектирования установлено, что преобладают цветники в регулярном стиле: клумбы, рабатки, а также примером ландшафтно-архитектурного дизайна выступают рокарии (рис.).



Рис. Примеры цветочного оформления придорожных участков:  
А – клумба по ул. Артема г. Донецка; Б – рабатка по ул. Ленина г. Макеевки;  
В – рокарий по Макеевскому шоссе г. Донецка

Ассортимент растений представлен 16 семействами. Семейства: астровые (Asteraceae), маслиновые (Oleaceae), кипарисовые (Cupressaceae) составляют по 14,3% каждое; розовые (Rosaceae), барбарисовые (Berberidaceae), злаки (Poaceae) – по 7,1%; капустные (Brassicaceae), яснотковые (Lamiaceae), сосновые (Pinaceae), толстянковые (Crassulaceae), кутровые (Asteraceae), ирисовые (Iridaceae), осоковые (Cyperaceae), канновые (Cannaceae), пасленовые (Solanaceae), камнеломковые (Saxifragaceae) – по 3,6%.

Составлена характеристика видов растений (табл.) по принадлежности к экологическим группам:

1) по отношению к температурному фактору 61% видов эвритофен, что указывает на широкую экологическую валентность;

2) 79% видов приспособлены к жизни на открытых, хорошо освещенных местах;

3) 64% видов приспособлены к более или менее достаточному, но не избыточному увлажнению почвогрунтов и урбанозёмов.

Отмеченные закономерности отвечают характерным особенностям видов культур фитоценозов Донбасса: требуют обязательной агротехники и обеспечения дополнительным поливом в засушливый период.

Таблица

**Распределение видов растений придорожных экотопов  
Донецко-Макеевской агломерации по группам  
основных экологических факторов**

Вид	Экологический фактор		
	освещённость	температура	увлажнение
1	2	3	4
<b>Древесные растения</b>			
<i>Picea pungens f. glauca</i> (Regel) Beissn.	светолюбивое	эвритоф	мезофит
<i>Juniperus virginiana</i> L.	светолюбивое	термофит	мезофит
<i>Thuja occidentalis</i> L.	светолюбивое	эвритоф	мезофит
<b>Кустарниковые растения</b>			
<i>Juniperus horizontalis</i> Moench.	светолюбивое	эвритоф	эумезофит
<i>Juniperus sabina</i> L.	теневыносливое	термофит	эумезофит
<i>Berberis thunbergii</i> DC.	теневыносливое	термофит	эумезофит
<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb.	светолюбивое	эвритоф	мезофит
<i>Forsythia suspensa</i> (Thunb.) Vahl.	светолюбивое	эвритоф	мезофит
<i>Spiraea trilobata</i> L.	светолюбивое	эвритоф	ксерофит
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	теневыносливое	эвритоф	ксерофит
<i>Ligustrum ovalifolium</i> Hassk.	теневыносливое	эвритоф	ксерофит
<i>Mahonia aquifolium</i> (Pursh.) Nutt.	теневыносливое	эвритоф	мезофит
<b>Травянистые растения</b>			
<i>Petunia hybrida</i> (Hook.) Vilm.	светолюбивое	эвритоф	мезофит
<i>Gazania rigens</i> (L.) Gaertn.	светолюбивое	термофит	мезофит
<i>Rosa × hybrida</i> Hort.	светолюбивое	термофит	мезофит
<i>Cineraria maritime</i> L.	светолюбивое	термофит	мезофит
<i>Tagetes erecta</i> L.	светолюбивое	эвритоф	мезофит
<i>Catharanthus roseus</i> (L.) G. Don.	светолюбивое	термофит	мезофит
<i>Iris germanica</i> L.	светолюбивое	эвритоф	мезофит
<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson	светолюбивое	эвритоф	мезофит
<i>Stachys lanata</i> Jacq.	светолюбивое	термофит	ксерофит
<i>Lobularia maritima</i> (L.) Desv.	светолюбивое	термофит	мезофит
<i>Calendula officinalis</i> L.	светолюбивое	эвритоф	мезофит
<i>Canna indica</i> L.	светолюбивое	термофит	мезофит
<i>Hylotelephium telephium</i> (L.) H. Ohba	светолюбивое	термофит	ксерофит

1	2	3	4
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	теневыносливое	эвритоп	гигрофит
<i>Carex paniculata</i> L.	светолюбивое	эвритоп	гигрофит
<i>Bergenia crassifolia</i> (L.) Fritsch	светолюбивое	эвритоп	мезофит

При оценке цветников их качественное состояние определялось 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 [4].

В период исследования было зафиксировано большое количество сорных растений на территории рокариев, так же была нарушена плотность посадки цветочных культур на некоторых клумбах.

Таким образом, на исследуемых территориях состояние 40% цветников оценено как отличное, 40% цветников имеют удовлетворительное состояние и 20% в неудовлетворительном состоянии.

Помимо декоративного эффекта озелененные участки придорожных территорий функционально важны. В большинстве случаев они эффективно защищают дорожное полотно от снежных заносов, выполняют противозерозивную и пескозащитную функции, а также являются шумо-газопылезащитным барьером на участках дорог, проходящих через населенные пункты.

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

#### Библиографический список

1. Лаврова О. П., Елистратова Д. Б. Особенности цветочного оформления придорожных полос городских автомагистралей // Проблемы формирования ландшафтной архитектуры урбанизированных территорий. 2009. № 5. С. 61–63.
2. Терешко Н. Н. Роль цветочного озеленения в оформлении городского ландшафта // Язык. Общество. Медицина : материалы семинара преподавателей; материалы IX Республиканской науч.-практ. студенческой конф., посвященной Году родной земли. Гродно. 2010. С. 147–149.
3. Наволокина Я. В. Озеленение автомобильных и пешеходных улиц. Роль озеленения в городской среде // Современные проблемы архитектуры и градостроительства. 2022. № 1. С. 20–24.
4. Збруева И. И., Давлятчина М. И. Анализ цветочного оформления объектов общего пользования Мотовилихинского района г. Перми // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. № 33. С. 122–125.

## МОНИТОРИНГ ПЫЛЬЦЕВЫХ СПЕКТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ г. ДОНЕЦКА

*Н. С. Мирненко*

*Донецкий государственный университет,  
natalya\_zaharenkova@mail.ru*

В статье представлены данные о стерильности и жизнеспособности пыльцевых зерен некоторых древесных растений в условиях антропогенного воздействия на территории г. Донецка. Выявленная связь между степенью стерильности и условиями конкретных участков указывает на значительное негативное влияние городской среды на жизнеспособность древесных растений. Полученные данные свидетельствуют о низкой адаптивной способности изученных видов к условиям урбанизированной среды, что подчеркивает необходимость разработки более устойчивых систем озеленения, способных выдерживать воздействие антропогенных факторов.

Ключевые слова: биоиндикация, биотестирование, поверхностные воды, качество воды, водоросли.

В условиях современного города воздействие антропогенных факторов на воздушную среду является одним из определяющих факторов на жизнеспособность зеленых насаждений. Пыльцевые зерна растений, распространенных в городской среде, выступают как индикаторы состояния экологической обстановки, поскольку их жизнеспособность и стерильность могут отражать уровень загрязнения воздуха и степень адаптации растений к городским условиям [1–5].

Цель работы – определить показатели стерильности и жизнеспособности пыльцевых зерен некоторых видов древесных растений в условиях антропогенного воздействия на пробных участках г. Донецка.

В рамках работы проведено исследование пыльцы распространенных в городских насаждениях древесных растений, таких как: тополь белый (*Populus alba* L.), ива белая (*Salix alba* L.), каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.) и береза повислая (*Betula pendula* Roth.). Данные виды выбраны с учетом их широкой распространенности в Донецкой агломерации и способности адаптироваться к специфическим природно-климатическим условиям региона [4].

Для проведения исследования выбраны пробные площади в различных районах г. Донецка, отличающиеся по уровню антропогенной нагрузки (рис.). Расположение пробных площадей следующее:

- 1) Проспект Ильича – район с интенсивным транспортным потоком и высоким уровнем загрязнения;
- 2) Киевский проспект – зона со значительным антропогенным воздействием;



3) Ленинский проспект – крупная транспортная магистраль с повышенной нагрузкой;

4) дендрарий ГУ «Донецкий ботанический сад» – территория с относительно низкой антропогенной нагрузкой, выступающая как условно «чистая» зона для контроля;

5) Площадь Буденного – место с умеренным уровнем загрязнения, включающее зелёные насаждения в городской среде.

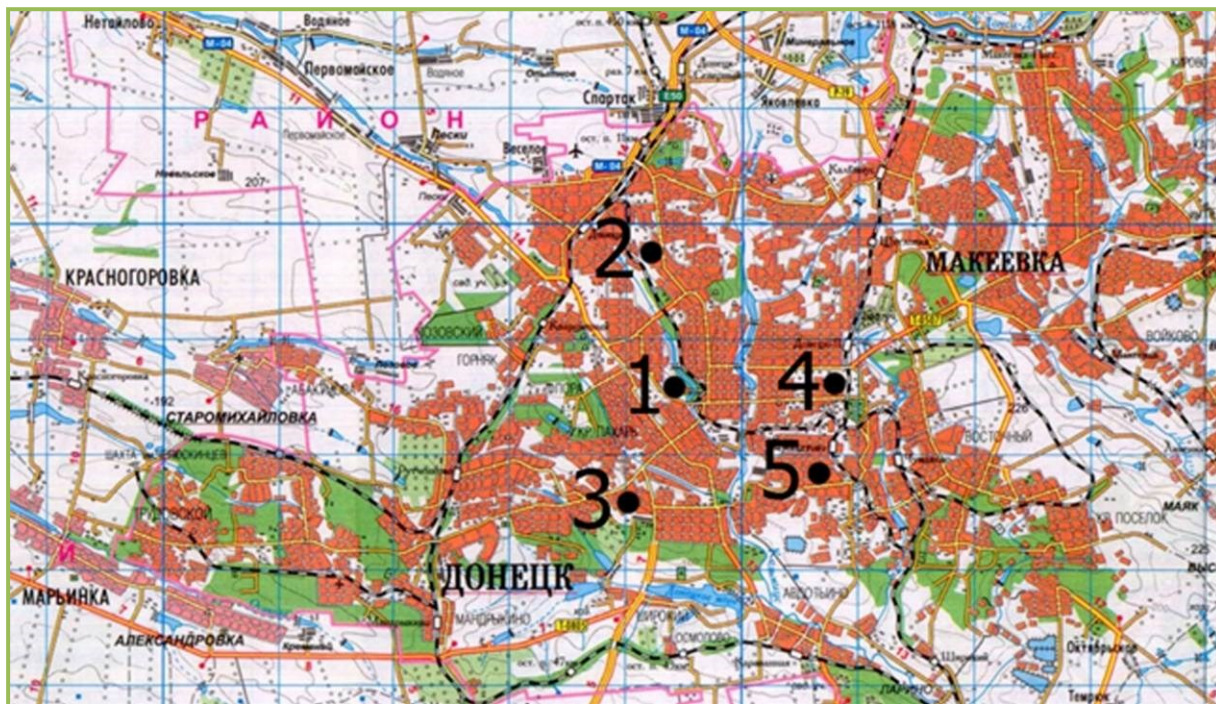


Рис. Точки отбора проб пыльцы древесных растений

Выбор данных точек отбора материала позволяет провести комплексный анализ, сравнив влияние условий высокой и низкой антропогенной нагрузки на жизнеспособность и стерильность пыльцы древесных растений.

В ходе проведённых исследований выявлено значительное снижение качества мужского гаметофита у *Betula pendula*, где показатель стерильности достиг почти 50%. Анализ образцов *Salix alba* показал, что в отдельных точках стерильность пыльцевых зерен также достигала 50%. Прочие виды по параметру стерильности не имели превышения 40%. Установленная степень стерильности свидетельствует о высокой чувствительности данных видов к неблагоприятным факторам окружающей среды в урбанизированной зоне.

Результаты анализа пробных площадей продемонстрировали, что наиболее нагруженными выступают площади № 2 и № 5, где уровень стерильности составил 32% и 33% соответственно. В то же время, наименьший уровень стерильности (25%) зафиксирован на площадке № 4, что делает её наиболее благоприятной из исследованных зон (табл.).

Установленная взаимосвязь между параметрами стерильности и точками отбора показала, что городская среда является крайне неблагоприятным фактором для произрастания растений. Учитывая, что практически все виды

были высажены искусственно, и их жизнеспособность также искусственно поддерживается, можно заключить, что полученные данные указывают на низкую степень адаптации древесных растений в городской среде.

Коэффициент Пирсона по показателю стерильности пыльцевых зерен в корреляции с точкой отбора показал положительную значимость (0,69), при  $p = 0,05$  табличчатый коэффициент составил 0,73.

Таблица

**Количественный показатель стерильности пыльцевых зерен  
на пробных площадях г. Донецка**

№ пробной площади	<i>Populus alba</i>	<i>Aesculus hippocastanum</i>	<i>Salix alba</i>	<i>Betula pendula</i>
1	9±0,45	25±1,25	15±0,75	65±3,25
2	26±1,3	14±0,7	32±1,6	58±2,9
3	14±0,7	8±0,4	47±2,35	33±1,65
4	8±0,4	36±1,8	25±1,25	41±2,05
5	25±1,25	37±1,85	39±1,95	27±1,35
Среднее значение	16±0,8	24±1,2	31±1,55	44±2,2

Оценка прорастания пыльцевых зерен показала, что на питательной среде в термостате жизнеспособность пыльцы имела колебания от 46% до 96%, среднее значение составляло 74,8%. Высокую степень жизнеспособности показали пробы пыльцы *Populus alba*. Также наблюдалось уменьшение количества проросшей пыльцы в точках отбора № 2 и № 3. В данных точках развиваются укороченные либо расширенные пыльцевые трубки, что может указывать на устойчивые генетические нарушения, приводящие к уменьшению репродуктивной способности пыльцы.

Таким образом, наблюдаемые показатели стерильности и жизнеспособности пыльцевых зерен в зависимости от точки отбора продемонстрировали значительную взаимосвязь между условиями городской среды и состоянием репродуктивной функции древесных растений. Выявлено, что растения подвержены ряду комплексных неблагоприятных факторов, включая загрязнение воздуха, дефицит почвенной влаги, воздействие тяжёлых металлов и плотную застройку, что приводит к снижению их репродуктивной способности и жизнеспособности. Полученные данные позволяют сделать вывод о низкой степени адаптации древесных растений к городской среде Донецка.

Эти результаты могут стать важной частью информационной базы для экологического мониторинга Донбасса, позволяя не только отслеживать состояние растений, но и оценивать уровень техногенного стресса в регионе. Данные исследования могут быть полезны для разработки рекомендаций по улучшению условий, для озеленения городов, а также по повышению устойчивости растений в условиях антропогенного воздействия. Кроме того, выявленные закономерности снижения жизнеспособности пыльцы могут служить индикаторами экологической деградации городской среды, что особенно важно для разработки долгосрочных стратегий по сохранению биоразнообра-

зия и улучшению экологической обстановки в Донецке и других промышленных городах.

Ввиду высокой доли искусственно созданных древесных насаждений и значительной чувствительности природных экосистем Донецкой Народной Республики к внешним воздействиям, особенно на территориях, подверженных водной и ветровой эрозии, важно развивать систему экологического мониторинга состояния растительности региона. В частности, в Донецке необходимо создать центр по изучению состояния пыльцевых зерен, который занимался бы мониторингом пыльцевого дождя (в том числе аллергенной пыльцы как фактора, вызывающего поллиноз у населения). Дальнейшее развитие исследований в области палинологии и палиноиндикации, проводимых Донецким государственным университетом, будет способствовать эффективной реализации этих задач.

*Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКТР 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12).*

#### **Библиографический список**

1. Бухарина И. Л., Двоглазова А. А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях : монография. Ижевск : Изд-во «Удмуртский университет», 2010. 184 с.
2. Мирненко Н. С. Жизнеспособность пыльцы некоторых видов древесных растений Донецкой агломерации // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 6. С. 55–61.
3. Сафонов А. И. Аномалии эмбриональных структур растений-индикаторов Донбасса // Разнообразие растительного мира. 2022. № 3 (14). С. 5–18.
4. Сафонов А. И., Глухов А. З. Комплексная оценка техногенной нагрузки в импактном фитомониторинге Донбасса // ЭкоБиоТех 2021 : материалы VII Всерос. конф. с междунар. участием (Уфа, 4–7 октября 2021 г.). Уфа : УИБ УФИЦ РАН, 2021. С. 150–154.
5. Сафонов А. И., Глухов А. З. Фитомониторинг в техногенно трансформированной среде: методология и практика // Экосистемы. 2021. № 28. С. 16–28.

## **СОДЕРЖАНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ И ПЛОДАХ ЗЕМЛЯНИКИ ЛЕСНОЙ**

*Н. О. Плюснина, Т. А. Адамович*  
*Вятский государственный университет,*  
*plyusnina.031@mail.ru*

В статье представлены результаты содержания микро- и макроэлементов в землянике лесной, собранной на территории Кировской области. Определено содержание магния, кальция, меди, цинка и железа в плодах и листьях земляники. По полученным данным установлено, что в листьях данного растения содержится больше микро- и макроэлементов, чем в плодах.

Ключевые слова: земляника лесная, лист, плод, макро- и микроэлементы.

Земляника лесная (*Fragaria vesca* L.) принадлежит к семейству розоцветные – Rosaceae Juss. В качестве лекарственного сырья используют плоды и листья. Плоды собирают в период их созревания, листья заготавливают в фазе цветения.

В плодах содержатся органические кислоты (салициловая, фолиевая, хинная, яблочная и др.), дубильные и пектиновые вещества, эфирное масло, флавоновые вещества (кверцетин), сахара, витамины, минеральные элементы (Ca, Co, Mn). В золе листьев земляники содержатся макроэлементы (K, Ca, Mg, Fe), а также микроэлементы (Mn, Cu, Zn и др.) [1, 2]. Земляника используется в официальной и народной медицине как лекарственное и витаминное растение.

Известно, что макро- и микроэлементы могут быть активаторами и ингибиторами процессов роста, развития растений и регуляции их продуктивности [3]. Растения накапливают химические элементы в тканях или на поверхности вследствие больших возможностей адаптации к изменениям химических свойств окружающей среды [4].

В связи с этим исследуемые растения служат лучшим естественным источником природного комплекса, сочетающего в себе жизненно необходимые элементы с ценными группами биологически активных веществ. Существенным достоинством растений является также то, что в них микроэлементы находятся в органически связанной, наиболее доступной и усваиваемой форме, а также в наборе, свойственном живой природе в целом [4].

Цель исследования – изучение содержания макро-, микроэлементов в плодах и листьях земляники лесной.

Органы земляники лесной для анализа собирали в мае–июле 2024 года на территории Кировской области. Содержание макроэлементов определяли методом перманганатометрии, микроэлементов – методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

В ходе эксперимента выявлено, что во всех образцах содержание макроэлементов в листьях гораздо больше, чем в плодах; содержание железа в листьях и плодах примерно одинаково (табл.). Содержание марганца и цинка в листьях несколько выше. В исследованных образцах содержание микроэлементов в листьях в 2 раза выше, чем в плодах.

Таблица

**Содержание макро- и микроэлементов в землянике лесной, мг/100 г**

Орган растения	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn
Листья	0,037±0,009	0,065±0,013	1,20±0,300	1,30±0,010	0,27±0,090
Плоды	0,0048±0,001	0,025±0,007	1,01±0,250	0,68±0,020	0,19±0,060



Полученные данные о содержании в землянике лесной биогенных элементов являются подтверждением возможности применения сырья этого растения в медицинской практике. Растение содержит также эссенциальные элементы (железо, цинк, марганец) [4]. Некоторые из них растение накапливает в терапевтически значимых количествах, что позволяет рассматривать листья земляники лесной как перспективное сырье для использования в медицинской и фармацевтической практике.

#### **Библиографический список**

1. Все о лекарственных растениях: атлас-справочник. СПб. : ООО «СЗКЭО», 2016. 192 с.
2. Абрамчук А. В., Чулкова В. В. Химический состав и фармакологические свойства земляники лесной (*Fragaria vesca* L.) // Аграрное образование и наука. 2020. № 2. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskiy-sostav-i-farmakologicheskie-svoystva-zemlyaniki-lesnoy-frag-riav-sca-l> (дата обращения: 18.10.2024).
3. Элементный состав листьев земляники восточной / Г. Я. Мечикова, Н. В. Бердников, Т. А. Степанова, А. Е. Будю // Дальневосточный медицинский журнал. 2008. № 1. С. 103–106.
4. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М. : Медицина, 1991. 496 с.

### **ОТХОДЫ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ КАК ИСТОЧНИК ПОЛЕЗНЫХ ВЕЩЕСТВ**

*Л. В. Хохрякова, Т. А. Адамович*  
*Вятский государственный университет,*  
*lluludmila617@mail.ru*

В статье представлены результаты по определению количественного содержания полифенолов, флавоноидов, аскорбиновой кислоты, дубильных веществ и пигментов в хвое ели. Указаны возможные способы переработки древесной зелени ели.

Ключевые слова: древесная зелень, хвоя, отходы, переработка, полифенольные соединения, флавоноиды, аскорбиновая кислота, дубильные вещества.

Кировская область богата лесами: среди регионов России она занимает 19 место по запасам лесов. Здесь производят древесину, это сопровождается образованием большого количества отходов. В качестве побочного продукта в деревообрабатывающей промышленности выступают кора и хвоя. Комплексная переработка древесных ресурсов обеспечит полное использование биомассы леса, что будет способствовать уменьшению количества отходов, а также развитию технологий производства продуктов, богатых витаминами, минералами и другими полезными веществами [1, 2].

Еловая древесная зелень имеет сложный фитохимический состав. Согласно источникам литературы, в хвое содержатся аминокислоты (аланин, аргинин, аспарагиновая кислота, глицин, валин, метионин, изолейцин, тирозин, фенилаланин, цистин, цистеин и триптофан), различные полисахариды, флавоноидные и стильбеновые гликозиды, соединения флавоноидов; в древесной зелени – большое количество витаминов, среди которых аскорбиновая кислота (витамина С), А, Е (токоферол), К (филлохинон), Р (флавоноиды), витамины группы В (тиамин, рибофлавин, никотиновая кислота, пантотеновая кислота, пиридоксин, биотин и фолиевая кислота). Также в ели содержатся различные минеральные соединения: кобальт, железо, марганец, медь и т. д. [3].

В работе исследовали количественное содержание в хвое полифенольных соединений, флавоноидов, аскорбиновой кислоты, антиоксидантов, дубильных веществ, хлорофилла и каротиноидов. Для определения количества полифенольных соединений, флавоноидов, хлорофилла и каротиноидов использовали спектрофотометрический метод. В основе метода определения полифенолов лежит реакция образования окрашенного соединения полифенолов с реактивом Фолина-Чокальтеу [4]. Количественное определение флавоноидов заключается в измерении оптической плотности раствора окрашенного комплекса флавоноидов с хлоридом алюминия [5]. Количественное определение антиоксидантов в пересчете на аскорбиновую кислоту основано на кулонометрическом титровании образца электрогенерированным йодом. Йод выделяется на аноде при электролизе раствора иодида калия [6]. Сумма дубильных веществ была определена с применением перманганатометрии в присутствии индигосульфокислоты [7]. Количественное определение хлорофилла и каротиноидов основано на их способности поглощать лучи определенной длины волны [8].

Результаты исследований представлены в таблице.

*Таблица*

**Результаты анализа хвои ели обыкновенной**

Показатель	Результат определения
Полифенольные соединения, мг/г	83,0±18,0
Флавоноиды, %	0,75 ±0,37
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	104,8±3,0
Дубильные вещества, %	8,5±0,5
Хлорофилл, мг/г	0,76±0,01
Каротиноиды, мг/г	0,145±0,003

В результате эксперимента доказано, что хвоя может являться перспективным сырьем для получения различных субстанций, поскольку содержит в себе широкий спектр биологически активных веществ. Эти вещества могут быть экстрагированы из сырья различными способами, а также возможна переработка хвои с использованием непосредственно всей хвойной лапки без применения дополнительных экстрагентов.

На основании результатов изучения фитохимического состава хвои ели обыкновенной можем предложить получение следующих продуктов на осно-

ве хвои: флорентинная вода (гидролат), хлорофилло-каротиновая паста, хвойный воск, хвойная мука. Разработанная технологическая схема представлена на рисунке.



Рис. Схема переработки древесной зелени ели обыкновенной

Данная схема предполагает полное использование хвои ели обыкновенной. Переработка её по такой схеме представляет собой многостадийный процесс, который позволяет в одном цикле получить несколько продуктов, обладающих различными свойствами, полезными как для человека, так и для животных за счет содержания в них биологически активных веществ.

Таким образом, в работе исследовали химический состав хвои ели обыкновенной. На основании полученных результатов составили возможную технологическую схему переработки древесной зелени ели.

### Библиографический список

1. Отходы переработки хвои сосны обыкновенной как материал для теплоизоляционных плит / М. И. Зайцева, Г. Н. Колесников, Е. В. Робонен, Н. П. Чернобровкина // Перспективное развитие науки, техники и технологий : материалы 3-й междунар. науч.-практ. конф. Т. 2. Курск, 2013. С. 27–30.
2. Лесной фонд. Лесные ресурсы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kirovreg.ru/econom/prres/forest.php> (дата обращения: 25.05.2024).
3. Данилова К. В., Новикова Е. К. Перспективы использования хвои ели в качестве фитосубстанции, обогащенной флавоноидами // Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения : материалы IX междунар. науч. конф. молодых учёных. М., 2021. С. 385–388.
4. ГОСТ Р 55488-2013. Прополис. Метод определения полифенолов. М. : Стандартинформ, 2014. 9 с.
5. ГОСТ Р 13399-89. Цветки арники. Технические условия. М. : Стандартинформ, 1995. 11 с.
6. Пат. 2464558 РФ. Способ кулонометрического определения содержания аскорбиновой кислоты в растительном сырье и препаратах из растительного сырья : № 2464558 : заявл. 08.09.2010 : опубл. 20.10.12 / Абдуллина С. Г., Агапова Н. М., Хазиев. Р. Ш.

7. ОФС.1.5.3.0008. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных средствах растительного происхождения.

8. Физиология растений: лабораторный практикум для студентов биологического факультета / А. П. Кудряшов, Т. И. Дитченко, О. В. Молчан и др. Минск : БГУ, 2011. 76 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.elib.bsu.by> (дата обращения: 10.10.2024).

## СИНТЕЗ ГИДРОЛАТА ИЗ ХВОИ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ И АНАЛИЗ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ И ПОЛИФЕНОЛОВ

А. К. Юферева<sup>1</sup>, М. Л. Сазанова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Вятский государственный университет, [yufereva.anna.k@list.ru](mailto:yufereva.anna.k@list.ru)

<sup>2</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, [sazanova.m.l@ib.komisc.ru](mailto:sazanova.m.l@ib.komisc.ru)

Методом водно-паровой дистилляции синтезирован гидролат на основе хвои пихты сибирской. Суммарное содержание антиоксидантов оценено методом перманганатного титрования и составило  $194,7 \pm 9,7$  мг/мл (в пересчете на кверцетин). Сумма фенольных соединений определена методом спектрофотометрии с использованием реактива Фолина-Чокальтеу и составила  $46,5 \pm 11,6$  мг/мл. Обсуждаются различия в оцениваемых показателях для полученного гидролата и промышленного аналога.

Ключевые слова: гидролат, антиоксиданты, полифенолы, пихта сибирская.

Использование хвои пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) в медицине и косметологии известно с глубокой древности в качестве общеукрепляющего, противопростудного, бактерицидного, противочинготного средства [1, 2]. В последние годы активно изучается биологическое действие отдельных химических веществ экстракта хвои пихты, например, противораковый и антивозрастной эффект терпенов [3], антирадикальный и антимикробный эффект отдельных фракций эфирного масла [4]. Наиболее известным и изученным является пихтовое эфирное масло, для извлечения которого использовались методы паровой дистилляции, мацерации, экстракции растворителем (метанол, этанол, ацетон, диэтиловый эфир, этилацетат; отдельно и в смесях с различными пропорциями воды), холодного прессования, ректификации, твердофазной экстракция и др. [1]. Количественное содержание масла в хвое пихты сибирской значительно выше, чем в хвое других хвойных растений. Так, по данным [5], хвоя пихты сибирской содержит 1,63–3,62% эфирного масла в зависимости от возраста дерева, тогда как содержание эфирного масла в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – 1,0–1,9% в зависимости от подвида [6], а в хвое ели европейской (*Picea abies* (L.) H.Karst.) – 0,3–1,1% в зависимости от сезона года и региона произрастания [7].

В настоящее время активизируется использование водно-паровых экстрактов – гидролатов (синонимы: гидрозоли, ароматические воды, флорентинные/цветочные воды, эфирно-ароматические воды), которые отгоняются вместе с эфирным маслом. Помимо традиционных способов (перегонка с водяным паром) для получения гидролатов и повышения соответствующей антиоксидантной активности *in vitro* L. Albanese и соавт. [1] протестировали метод контролируемой гидродинамической кавитации. Гидролаты, в отличие от эфирных масел, представляют собой водорастворимые экстракты и могут добавляться в продукты с высоким содержанием воды (косметические, пищевые и т. п.). Они имеют сложный химический состав с большим количеством биологически активных компонентов, в том числе витаминов, фитонцидов, антиоксидантов и др. [2, 8, 9]. Существенными недостатками гидролатов являются, во-первых, невысокая концентрация эфирных масел, что препятствует их длительному хранению и влечет за собой добавление различных консервирующих и стабилизирующих добавок. Во-вторых, некоторые компоненты эфирных масел, зачастую наиболее ценные из них, как, например, сложные эфиры лавандового масла, или стеароптены розового масла, переходят в гидролаты в незначительном количестве, тем самым существенно снижая их косметическую ценность [10].

Цель работы: получение гидролата на основе хвои пихты и определение в нем суммы антиоксидантов и полифенолов.

Хвоя пихты была собрана в сентябре 2023 г. в окрестностях п. Вичевщина (Куменский район Кировской области) в соответствии с [11]. Для получения гидролата на основе экстракта из хвои пихты методом двухчасовой перегонки с водяным паром в круглодонную колбу насыпали 100 г предварительно измельченной хвои пихты и 200 мл дистиллированной воды. Получено 250 мл гидролата. Суммарное содержание антиоксидантов (ССА) определяли с помощью достоверного, не трудоемкого, не требующего сложного лабораторного оборудования и позволяющего анализировать разные образцы в широком диапазоне антиокислительной активности [12] метода перманганатного титрования [13]; в качестве стандарта был спиртовой раствор кверцетина. Сумму фенольных соединений (СФС) определяли методом спектрофотометрии с использованием реактива Фолина-Чокальтеу [14]. Анализ общего содержания фенолов с помощью данного метода прост, удобен, дает большой объем сопоставимых данных и является рутинным анализом при изучении фенольных антиоксидантов из фруктов, овощей и лекарственных растений [15]. рН оценивали с помощью рН-метра «Эксперт-рН» (Россия). В качестве контрольного образца взят промышленный пихтовый гидролат «Hvoya» (Россия). Статистическую обработку проводили с помощью пакета программ MS Excel. Достоверность (\*) различий ( $p < 0,05$ ) оценивалась с помощью t-критерия Стьюдента.

Результаты исследований показали, что для полученного и коммерческого гидролатов рН  $4,81 \pm 0,02$ , что согласуется с данными литературы [2, 9] и соответствует рН кожи [16]. В полученном гидролате ССА в 5 раз ( $194,7 \pm 9,7^*$

мг/мл против  $36,0 \pm 1,8$  мг/мл), а СФС в 3,5 раза ( $46,5 \pm 11,6^*$  мг/мл против  $12,5 \pm 3,2$  мг/мл) больше, чем в коммерческом аналоге. Такое различие можно объяснить тем, что наш гидролат был свежеприготовленный, не содержал консервантов; также различия могут быть связаны с регионом произрастания, условиями окружающей среды, возрастом растений, сезоном сбора, а также генетической изменчивостью [1].

Общеизвестно [17, 18], что в растениях, встречающихся в условиях неблагоприятной экологической обстановки, отмечается повышение содержания антиоксидантов в ответ на избыточную генерацию активных форм кислорода при окислительном стрессе. В нашем случае, вблизи от места сбора сырья отсутствуют крупные промышленные предприятия, кроме Вожгальского маслодельно-сыродельного завод (в 8 км к юго-востоку). По данным [19], основными источниками выбросов предприятий молочной промышленности являются приемно-моечные отделения, гаражи, котельные, сварочные участки и др.; в выбросах могут присутствовать оксиды азота, оксид серы(IV), оксид углерода(II), сероводород, сажа, пыль (сухих паров, металлическая, абразивная, моющих средств) и другие загрязнители. В отношении вышеуказанного предприятия не было зарегистрировано превышений ПДК по выбросам загрязняющих веществ [20]. Однако, учитывая преобладающее юго-восточное направление ветра в этом районе [21], можно предположить длительное воздействие на окружающую среду невысоких концентраций загрязняющих веществ.

С другой стороны, накопление антиоксидантов в листьях объясняется генетическими особенностями растений. Так, согласно [22], после воздействия таких загрязнителей воздуха, как озон и оксид серы(IV), общее увеличение антиоксидантов в хвое пихты белой (*Abies alba* Mill.) выше, чем в хвое ели (*Picea abies* (L.) Karst). Однако, по данным [23], при увеличении содержания загрязняющих веществ в воздухе снижается содержание эфирного масла в хвое пихты сибирской, а также изменяется его компонентный состав: снижается содержание сесквитерпенов (лонгифолен,  $\alpha$ -бисаболол, хамазулен и др.) и кислородсодержащих терпеноидов (борнеол, борнилацетат, додеканаль) и увеличивается содержание монотерпенов ( $\alpha$ -пинен, камфен,  $\beta$ -мирцен, терпинолен и др.).

В условиях усиления негативного воздействия окружающей среды эндогенные антиоксиданты кожи не способны предотвратить окислительный стресс, поэтому топическое использование экзогенных антиоксидантов, в т. ч. в составе косметических средств, может стать мерой профилактики кожных заболеваний [24]. Например, установлено, что Fernblock<sup>®</sup> (IFC Group, Испания), натуральный стандартизированный водный экстракт из листьев *Polypodium leucotomos* Poir., благодаря высокому содержанию фенольных соединений, защищает кератиноциты кожи от ультрафиолетового излучения и ксенотоксического стресса, вызванного воздействием мелкодисперстных частиц – PM<sub>2,5</sub>, способствуя профилактике и лечению фотодерматозов, пигментных нарушений, кератозов [25, 26]. Поэтому производители должны

внедрять фитокосметику из натуральных соединений, качественную, безопасную и эффективную. Кроме того, гидролаты с антиоксидантной активностью могут быть включены в состав препаратов для стимуляции заживления ран. Известно, что гидроксильные радикалы в условиях снижения активности системы антиоксидантной защиты запускают вторичные свободнорадикальные реакции в зоне раневого дефекта и в клетках перифокальной зоны, в итоге тормозится развитие последующих за воспалением фаз раневого процесса. В частности, природный антиоксидант дигидрокверцитин оказывает также дезинтоксикационное, антитоксическое, противоотечное действие, способствует стабилизации фибрилл коллагена [27].

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 122040100032-5.*

#### Библиографический список

1. Affordable production of antioxidant aqueous solutions by hydrodynamic cavitation processing of silver fir (*Abies alba* Mill.) needles / L. Albanese, A. Bonetti, L. P. D'Acqui et al. DOI: 10.3390/foods8020065 // Foods. 2019. Vol. 8. Article No. 65.
2. Буркова В. Н., Сергун В. П., Иванов А. А. Химический состав и фармакологическая активность водного экстракта пихты сибирской (*Abies sibirica* L.) DOI: 10.14258/jcprm.20220210469 // Химия растительного сырья. 2022. № 2. С. 19–34.
3. Effects of *Abies sibirica* terpenes on cancer- and aging-associated pathways in human cells / A. Kudryavtseva, G. Krasnov, A. Lipatova et al. DOI: 10.18632/oncotarget.13467 // Oncotarget. 2016. Vol. 7. P. 83744–83754.
4. Antimicrobial and antiradical activities of individual fractions of *Pinus sibirica* Du Tour and *Abies sibirica* Ledeb. growing in Siberia / A. A. Efremov, I. D. Zyкова, V. A. Senashova et al. DOI: 10.1134/S1068162021070062 // Russ. J. Bioorg. Chem. 2021. Vol. 47. P. 1439–1444.
5. Ушанов С. В., Степень Р. А., Ушанова В. М. Возрастная динамика содержания пихтового масла в древесной зелени *Abies sibirica*. Теоретические аспекты оценки. DOI: 10.14258/jcprm.2017011448 // Химия растительного сырья. 2016. № 1. С. 129–136.
6. Анализ содержания основных компонентов эфирного масла в хвое различных климатипов и подвидов сосны обыкновенной / С. В. Ребко, П. Г. Мельник, С. А. Ламоткин и др. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5783 // Resources and Technology. 2021. Т. 18. № 3. С. 17–36.
7. Степень Р. А., Есякова О. А. Влияние антропогенного загрязнения среды на содержание и состав эфирного масла хвои ели // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24. № 1. С. 122–127.
8. Chemical characterization and bioactivity of commercial essential oils and hydrolates obtained from portuguese forest logging and thinning / A. Ruas, A. Graça, J. Marto et al. DOI: 10.3390/molecules27113572 // Molecules. 2022. Vol. 27. No. 11. Article No. 3572.
9. Jakubczyk K., Tuchowska A., Janda-Milczarek K. Plant hydrolates – antioxidant properties, chemical composition and potential applications. DOI: 10.1016/j.biopha.2021 // Biomed. Pharmacother. 2021. Vol. 142. Article No. 112033.
10. Пат. 2777192. РФ, МПК А61К 8/97 А61Q 13/00 В01D 57/00. Способ получения гидролат-концентрата : № 2020139129 : заявл. 01.06.2021 : опубл. 01.08.2022 / Янущик Ю. Б., Крестьянинова Т. А. 5 с.
11. Правила сбора и сушки лекарственных растений (сб. инструкций). М. : Медицина, 1985. 328 с.

12. Тринеева О. В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. № 4 (21). С. 180–197.
13. Пат. 2170930. РФ, МПК G01N 33/50, 33/52. Способ определения антиокислительной активности : № 2000111126/14 : заявл. 05.05.2000 : опубл. 20.07.2001 / Максимова Т. В., Никулина И. Н., Пахомов В. П. и др. 6 с.
14. Денисенко Т. А., Вишник А. Б., Цыганок Л. П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.4.012 // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19, № 4. С. 373–380.
15. Natural antioxidants in foods and medicinal plants: extraction, assessment and resources / D. P. Xu, Y. Li, X. Meng et al. DOI: 10.3390/ijms18010096 // Int. J. Mol. Sci. 2017. Vol. 18. No. 1. Article No. 96.
16. Ali S. M., Yosipovitch G. Skin pH: from basic science to basic skin care // Acta Derm Venereol. 2013. Vol. 93. No. 3. P. 261–267.
17. Баяндина И. И., Загурская Ю. В. Экологические условия и накопление фенольных соединений в лекарственных растениях // Лекарственные растения: фундаментальные и прикладные проблемы : материалы I междунар. науч. конф. (21–22 мая 2013 г., г. Новосибирск). Новосибирск : Изд-во НГАУ, 2013. С. 130–136.
18. The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant / X. Xie, Z. He, N. Chen et al. DOI: 10.1155/2019/9732325 // Biomed. Res. Int. 2019. Vol. 2019. Article No. 9732325.
19. Ушакова Е. А. Оценка источников загрязнения атмосферы пищевым предприятием // Форум молодых ученых. 2019. № 12 (40). С. 924–925.
20. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2023 году: Региональный доклад / Под ред. Т. Э. Абашева. Киров, 2024. 191 с.
21. Роза ветров в населенном пункте Кумены [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.meteocast.in/windrose/ru/kumeny/> (дата обращения: 26.09.2024).
22. Effect of SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> on production of antioxidants in conifers / H. Mehlhorn, G. Seufert, A. Schmidt, K. J. Kunert. DOI: 10.1104/pp.82.1.336 // Plant Physiol. 1986. Vol. 82. No. 1. P. 336–338.
23. Ефремов Е. А., Назиров Р. А., Ефремов А. А. Влияние экологического состояния территории на содержание и компонентный состав эфирного масла пихты сибирской // Вестник КрасГАУ. 2014. № 12. С. 89–93.
24. Костюк В. А. Роль эндогенных и экзогенных антиоксидантов в защите кожи от негативного воздействия экспозома // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. № 2. С. 3–12.
25. Fernblock® upregulates NRF2 antioxidant pathway and protects keratinocytes from PM2.5-induced xenotoxic stress // P. Delgado-Wicke, A. Rodríguez-Luna, Y. Ikeyama et al. DOI: 10.1155/2020/2908108 // Oxid. Med. Cell. Longev. 2020. Vol. 14. Article No. 2908108.
26. The role of the aqueous extract Polypodium leucotomos in photoprotection / C. Parrado, J. Nicolas, A. Juarranz, S. Gonzalez. DOI: 10.1039/d0pp00124d // Photochem. Photobiol. Sci. 2020. Vol. 19. No. 6. P. 831–843.
27. Современные методы стимуляции процесса регенерации послеоперационных ран / А. М. Морозов, А. Н. Сергеев, Н. А. Сергеев и др. DOI: 10.20333/2500136-2020-3-54-60 // Сибирское медицинское обозрение. 2020. № 3. С. 54–60.



## АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ГРИБНЫХ БОЛЕЗНЕЙ НА ПОСЕВАХ ОЗИМОЙ РЖИ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Л. М. Щеклеина

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого, [immunitet@fanc-sv.ru](mailto:immunitet@fanc-sv.ru)

Впервые проведен сравнительный анализ сортов озимой ржи, созданных в ФАНЦ Северо-Востока за 73-летний период, по иммунологическому состоянию и урожайности и обозначены приоритеты для их дальнейшего селекционного улучшения. Некоторые положительные тенденции выявлены в повышении устойчивости вновь создаваемых сортов к корневым гнилям и спорынье. Снижение развития корневых гнилей отмечены у сортов Флора, Перепел и Гармония; спорыньи – Флора, Графиня, Батист, Лика, Симфония и Графит ФП. Значительные успехи связаны с повышением урожайности сортов, особенно в III и IV периоде селекции. Наиболее урожайными являются сорта Флора, Лика, Батист, Перепел, Графит ФП и Симфония.

Ключевые слова: *Secale cereale* L., провокационно-инфекционные фоны, этапы селекции, иммунологическая характеристика, урожайность.

Рожь озимая – важная продовольственная культура в мировом земледелии, уникальность которой заключается в высокой зимо- и морозостойкости, выносливости к почвенной засухе, алюмо- и кислотоустойчивости, способности произрастать на низкоплодородных почвах, сдерживать развитие сорных растений, защищать почву от эрозии и улучшать её структуру, созревать раньше других зерновых культур [1–3]. Однако, одним из недостатков многих отечественных и зарубежных сортов ржи является восприимчивость к грибным болезням [4].

В посевах озимой ржи практически ежегодно диагностируются снежная плесень (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I. C. Hallett), спорынья (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.), корневые гнили (*Fusarium* Link.), мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *secalis* Marchal.), бурая ржавчина (*Puccinia recondita* Roberge ex Desm.), стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis* Pers. f.sp. *secalis* (Erikss.et Henn.)). Многолетняя селекция этой культуры в ФАНЦ Северо-Востока направлена в том числе на повышение устойчивости к комплексу болезней в меняющихся климатических условиях [5, 6].

В связи с усилением частоты проявления и вредоносности болезней в современных условиях сельскохозяйственного производства целью наших исследований были иммунологический анализ и оценка уровня урожайности сортов озимой ржи селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, относящихся к разным этапам их создания.

Исследования выполнены в ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» в 2019–2023 гг. На фитопатологическом участке изучено 15 сортов озимой ржи, созданных за 73-летний период. Среди них, 8 внесены в Государственный реестр селекционных достижений (Вятка 2, Кировская 89, Фалёнская 4, Снежана, Рушник, Флора, Графиня, Батист), 2 проходят Государственное испытание Лика (2021 г.) и Талица (2023 г.), 5 – перспективные, которые изучаются в питомнике конкурсного испытания. Площадь делянок – 1 м<sup>2</sup>, повторность 3-кратная.

Полевые опыты и изучение сортимента проводили на искусственных инфекционных фонах по снежной плесени, корневым гнилям и спорынье с использованием общеизвестных методик. Статистическая обработка проведена методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.) и программы Microsoft Office Excel.

Сорта озимой ржи с учетом применяемых в работе методов селекции, долговечности в селекционном процессе и производстве были сгруппированы в пять периодов. В первом использованы Вятка 2 (районирован в 1950 г.) и Кировская 89 (1993 г.); во втором – Фалёнская 4 (1999 г.), Снежана (2004 г.) и Рушник (2008 г.); в третьем – Флора (2010 г.), Графиня (2012 г.) и Батист (2023 г.); в четвертом – Лика (2021 г.) и Талица (2023 г.); в пятом – Симфония, Гармония, Графит, Графит ФП и Перепел (рис.).

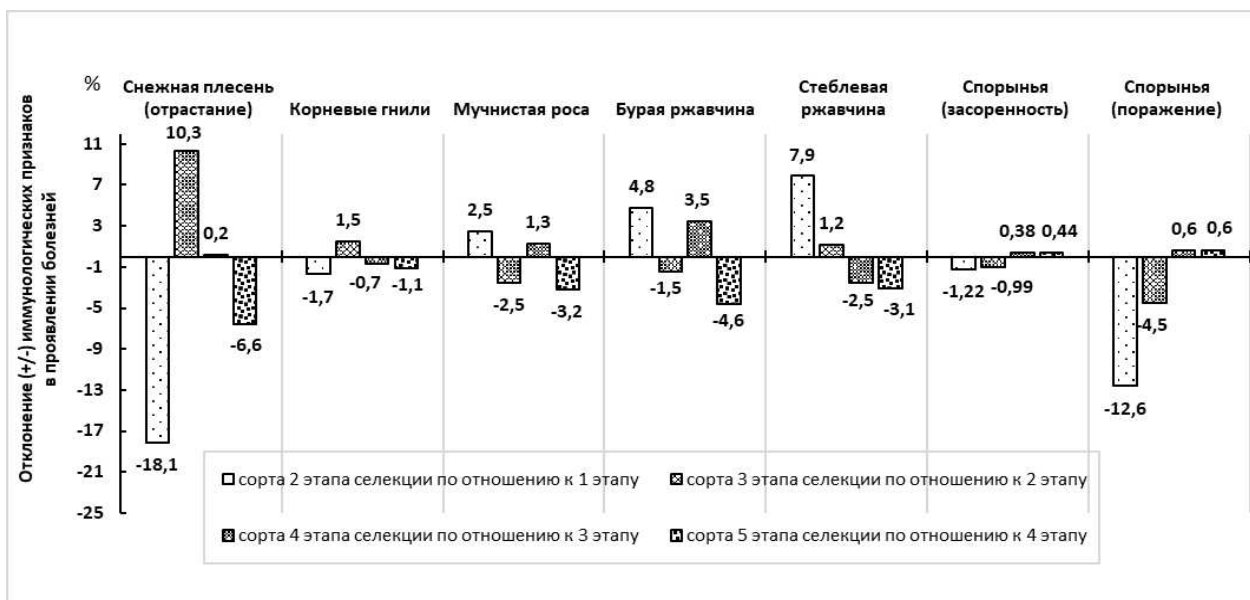


Рис. Изменчивость проявления болезней у сортов озимой ржи в разных периодах селекции

Все новые сорта не превышали по выносливости к снежной плесени высокозимостойкий сорт Вятка 2. Начиная со 2 периода селекции, отрастание после поражения снизилось в среднем по сортам на 7,7–18,1%. Можно лишь выделить сорта Флора и Лика с состоянием признака на уровне Вятка 2. Несмотря на высокую частоту проявления этой болезни в Кировской области,

степень поражения далеко не однозначна. Поражение на естественном фоне *Microdochium nivale* варьирует от 30,0 до 100%, на инфекционном фоне постоянно 85,0–100%. При искусственном заражении создается также более выровненный фон ( $V = 40,0\%$ ), чем без него ( $V = 24,6\%$ ), что очень важно для достоверной оценки селекционного материала и отбора устойчивых генотипов.

По отношению к корневым гнилям отмечали тенденцию уменьшения их развития у некоторых сортов (Флора, Перепел, Гармония) по сравнению с восприимчивым – Кировская 89.

Исследования по повышению устойчивости озимой ржи к спорынье в ФАНЦ Северо-Востока начаты с 2009 г. В процессе искусственной инокуляции суспензией конидий *Claviceps purpurea* выявлены несколько наименее поражаемых сортов: Флора, Графиня, Лика, Батист, Симфония, Гармония, Графит ФП. Отклонение иммунологических признаков у них по отношению к первому периоду селекции составило 0,6–12,6% (поражение) и 0,44–1,22% (засоренность зерна склероциями). Они сохраняют признак в течение 3–5 лет изучения и могут быть использованы в селекции в качестве источников. Среди них, популяции Гармония и Симфония созданы с использованием источников устойчивости, отобранных на отдельных или совместных инфекционных фонах по снежной плесени, спорынье и фузариозу колоса.

Не улучшилось состояние сортов по устойчивости к мучнисто-росяной и ржавчиной инфекциям. Можно лишь выделить наименее поражаемый сорт Кировская 89, который относится к числу первых в стране генотипов с неспецифической устойчивостью к мучнистой росе и бурой ржавчине. Признак сохраняется с периода районирования (1993 г.) до настоящего времени.

Усилия селекционеров были сконцентрированы в основном на повышении продуктивности растений и урожайности. Изучение генофонда ржи озимой на фитопатологическом участке показало, что урожайность сортов второго периода селекции составила в среднем 548,8 г/м<sup>2</sup>, третьего – 604,1 г/м<sup>2</sup>, четвертого – 661,5 г/м<sup>2</sup>, пятого – 543,2,9 г/м<sup>2</sup>, что на 85,8–204,1 г/м<sup>2</sup> больше первого периода (табл.). Следует отметить наиболее успешную в этом направлении селекцию 3 и 4 периодов, где созданы наиболее урожайные сорта Флора, Лика, Батист при среднем уровне признака 645,3 г/м<sup>2</sup>, 769,3 г/м<sup>2</sup> и 738,7 г/м<sup>2</sup> (НСР<sub>05</sub> = 175,4; P = 6,2%). Среди перспективных популяций можно отметить Перепел, Графит ФП и Симфония с урожайностью 654,2 г/м<sup>2</sup>, 629,5 г/м<sup>2</sup> и 611,2 г/м<sup>2</sup>.

Однако, многие сорта в условиях повышенной инфекционной нагрузки фитопатогенов характеризуются значительной нестабильностью признака, о чем косвенным образом свидетельствует динамика признака в годы исследований. Это возможно снижает их селекционную ценность, как источника признака. К наиболее адаптивным и пластичным можно отнести: Вятка 2, Фалёнская 4, Рушник, Графиня.

**Урожайность сортов ржи по периодам селекции  
в провокационно-инфекционных условиях развития грибных болезней  
(2019–2023 гг.)**

Сорт	Масса зерна с м <sup>2</sup>		
	г	среднее за период селекции	+/- к I периоду селекции
<i>Сорта I периода селекции</i>			
Вятка 2	460,3±16,8	457,4	–
Кировская 89	454,4±155,3		
<i>Сорта II периода селекции</i>			
Фалёнская 4 – ст.	578,8±92,9	548,8	+91,4
Снежана	492,6±132,2		
Рушник	575,1±59,2		
<i>Сорта III периода селекции</i>			
Флора	645,3±116,9	604,1	+146,7
Графиня	562,8±73,7		
<i>Сорта IV периода селекции</i>			
Батист	738,8±180,4	661,5	+204,1
Лица	769,3±120,8		
Талица	476,4±145,2		
<i>Сорта V периода селекции</i>			
Симфония	611,2±157,8	543,2	+85,8
Гармония	404,3±147,3		
Графит ФП	629,5±197,2		
Графит	416,9±188,9		
Перепел	654,2±161,2		
Среднее по сортам	564,7		
НСР <sub>0,5</sub>	175,4		

Между урожайностью и устойчивостью к некоторым болезням выявлено наличие отрицательной взаимосвязи в той или иной степени. Тесная и значимая ( $P \geq 0,95$ ) зависимость обнаружена между урожайностью и отрастанием после поражения снежной плесенью ( $r = 0,693 \dots 0,830$ ), засоренностью зерна склероциями ( $r = -0,531 \dots -0,712$ ). Между урожайностью и другими грибными болезнями связь несущественная и слабая: степень поражения корневыми гнилями ( $r = -0,253 \dots -0,390$ ), мучнистой росой ( $r = -0,291 \dots -0,442$ ), бурой ржавчиной – ( $r = -0,193 \dots -0,460$ ), стеблевой ржавчиной – ( $r = -0,070 \dots -0,332$ ). Выявленные взаимосвязи отражают приоритеты дальнейшей селекции озимой ржи на фитоиммунитет.

73-летняя селекция ржи озимой в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имеет некоторые положительные тенденции в повышении устойчивости вновь создаваемых сортов к корневым гнилям и спорынье. Снижение развития корневых гнилей отмечено у сортов Флора, Перепел, Гармония; спорыньи – Флора, Графиня, Батист, Лица, Симфония, Графит ФП. Отсутствует в настоящее время прогресс в селекции на устойчивость к мучнистой росе и видам ржавчины, что может быть связано с изучением генофонда ржи озимой на есте-

ственных фонах возбудителей и включением в селекционный процесс недостаточно устойчивых генотипов. Значительные успехи связаны с повышением урожайности новых сортов, особенно в III и IV периоде селекции. Наиболее урожайными являются сорта Флора, Лика, Батист, Перепел, Графит ФП и Симфония.

#### **Библиографический список**

1. Особенности селекции озимой ржи на адаптивность в Республике Татарстан / М. Л. Пономарева, С. Н. Пономарев, Г. С. Маннапова, Л. Ф. Гильмуллина // Достижения науки и техники АПК. 2015. № 29 (5). С. 11–14.
2. Чайкин В. В., Тороп А. А., Рыльков А. И. Зимо- и засухоустойчивость озимой ржи в условиях Центрально-Черноземного региона // Земледелие. 2017. № 2. С. 32–36.
3. Щеклеина Л. М. Мониторинг болезней озимой ржи в Кировской области и возможные направления селекции на иммунитет. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.124-132 // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21 (2). С. 124–132.
4. Shchekleina L. M., Sheshegova T. K. Winter Rye Varieties That Can Be Used as Sources of Resistance against Fungal Diseases in Phytoimmunity Breeding. DOI: 10.3103/S1068367424700022 // Russian Agricultural Sciences. 2024. Vol. 50. No. 2. P. 142–149.
5. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Иммунологический и продукционный анализ новых сортов озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока. DOI: 10.5281/zenodo.10930978 // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 1 (37). С. 198–209.
6. Щеклеина Л. М. Сорта озимой ржи с наилучшим сочетанием параметров экологической пластичности и стабильности по отношению к болезням // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов : материалы VI междунар. науч.-практ. конф., посвященной 300-летию РАН. Курск, 2024. С. 117–121.

### **ОБРАЗЦЫ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ИЗ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ КОЛЛЕКЦИИ ВСЕРОССИЙСКОГО ИНСТИТУТА РАСТЕНИЕВОДСТВА ИМЕНИ Н. И. ВАВИЛОВА, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ В СЕЛЕКЦИИ ФУЗАРИОЗОУСТОЙЧИВЫХ СОРТОВ**

*Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина*  
*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока*  
*имени Н. В. Рудницкого, [immunitet@fanc-sv.ru](mailto:immunitet@fanc-sv.ru)*

При тестировании образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции Всероссийского института растениеводства имени Н. И. Вавилова (ВИР) (г. Санкт-Петербург) в условиях искусственной инокуляции растений *Fusarium culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc. обнаружено доминирование (92%) среднеустойчивых форм. Для селекции на фузариозоустойчивость отобраны два умеренноустойчивых образца Bowie и Vaart (США), а также четыре толерантных: Йолдыс (РФ, Татарстан), Ласка (Беларусь), Арех (Канада), Норе (США). Толерантные образцы на 25,1–70,0% превышали стандартные сорта по урожайности. В селекции на устойчивость к фузариозу колоса предпочти-

тельнее остистые формы, у которых могут проявляться два типа неспецифической устойчивости: к внедрению патогена и распространению мицелия в тканях.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., искусственная инокуляция, *Fusarium culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc., источники устойчивости.

Яровая пшеница – важнейшая продовольственная культура в Российской Федерации, к качеству зерна которой предъявляются высокие требования. Одним из основных показателей биологической полноценности и микотоксикологической безопасности является отсутствие грибной и бактериальной инфекции в зерновке. Среди микробного пула наиболее вредоносны многие виды *Fusarium spp.*, как продуценты особо опасных токсинов дезоксиниваленол, зеараленол, фумонизин и Т-2 токсин [1]. Известно, что токсинообразующие патогенные грибы быстрее, чем сапротрофы приобретают резистентность к фунгицидным обработкам посевов и восстанавливают плотность популяции после этого [2]. Зараженное и токсичное зерно обладает сильным негативным действием на иммунную систему всех теплокровных организмов [3]. Поэтому содержание такого зерна согласно ГОСТ и Техническому регламенту Таможенного Союза ТР ТС 015 «О безопасности зерна» в продовольственных партиях не должно превышать 1%. Как правило, процесс его заражения начинается с поля – в период налива и созревания. Колосковые чешуйки постепенно обесцвечиваются; при сильном поражении на них визуальное просматривается беловато-розовый или красноватый (в зависимости от патогена) мицелий со споруляцией. Инфекция проникает в формирующуюся зерновку, инфицируя и ее. Обильные осадки и повышенная влажность воздуха в это время усиливают развитие *Fusarium spp.*, среди которых *Fusarium culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc. является основным в патосистеме «пшеница-фузариоз колоса» в условиях Кировской области и Волго-Вятского региона [4].

Экологизация защитных мероприятий заключается, прежде всего, в возделывании биотически устойчивых сортов. Создание их сопровождается постоянным тестированием генофонда культуры по устойчивости, поиск и создание источников для селекции, поскольку со временем они теряют свою эффективность вследствие изменения патогенных свойств возбудителя [5]. Исходя из вышеизложенного, целью наших исследований было выявление источников устойчивости яровой мягкой пшеницы к фузариозу колоса в условиях искусственной инокуляции растений *F. culmorum*.

Материалом исследований в 2023–2024 гг. было 25 образцов яровой мягкой пшеницы из генетической коллекции ВИР (г. Санкт-Петербург), относящихся к остистым и безостым формам и к пяти разновидностям. Изучение данного генофонда проводили на фитопатологическом участке; площадь делянок 1 м<sup>2</sup>, повторность – 3-кратная. Инокуляцию осуществляли в период цветения растений водной суспензией конидий патогенного штамма *F. culmorum* ( $5 \times 10^5$  кон./мл); учет болезни – в фазу молочно-восковой спелости

зерна. Использовали авторскую методику [6], согласно которой: нет видимых симптомов поражения – иммунитет; поражено до 20% колосков в колосе – высокая устойчивость; 21–40% – умеренная; 41–60% – средняя; 61–80% – слабая; 81–100% – высокая восприимчивость.

Исследования показали существенное повышение восприимчивости к фузариозу у изучаемого генофонда при тестировании его на инфекционном фоне *F. culmorum* (табл.). На естественном фоне у четырех образцов (Diamant, Норе, Sinton, Norka) не обнаружено симптомов болезни, у пяти (Baart, Nova Prata, Naihari S 60, Heins Kolben и стандарт Баженка) – количество растений с симптомами фузариозного поражения не превышало 1,0%, что характеризует весь генофонд в этих условиях как иммунный и высокоустойчивый. Однако на инфекционном фоне внутрисортная частота восприимчивых растений варьировала от 75,8% (Baart) до 93,8% (Diamant) при степени поражения – от 27,3% (Bowie) до 61,4% (Баженка). Оценивая генофонд по этому признаку, можно констатировать безусловное доминирование среднеустойчивых образцов. Лишь два американских сорта Bowie и Baart характеризуются умеренной устойчивостью к фузариозу колоса. Однако урожайность их в агроэкологических условиях Кировской области крайне низкая (86,9 г/м<sup>2</sup> и 49,6 г/м<sup>2</sup>), что обусловлено, вероятно, низкой продуктивностью растений у этих генотипов (0,50 г и 0,39 г). Наиболее высокая и статистически доказанная к стандартам урожайность (198,0–260,1 г/м<sup>2</sup>) получена у четырех сортов: Йолдыс, Ласка, Арех, Норе, которые можно считать толерантными к фузариозу колоса. Особую селекционную ценность представляют все признаки и свойства генотипа, препятствующие внедрению и распространению патогена в клетках и тканях растения. Вероятно, эти сорта характеризуются одним из этих типов неспецифической устойчивости, когда при явных симптомах фузариозного поражения колоса, гриб по разным причинам не поражает зерновку. Однако, это наша гипотеза, которую нужно проверить. Обнаружена также меньшая восприимчивость остистых форм (разновидность *erythrospermum*) по сравнению с безостыми (*lutescens*, *milturum*, *graecum*) в поражении растений и развитии фузариоза на колосе, что косвенным образом может свидетельствовать о наличии и проявлении у них двух механизмов устойчивости: к внедрению патогена и внутритканевому распространению инфекции. Поэтому признак остистости – достаточно надежный и доступный биомаркер для поиска устойчивых к фузариозу колоса форм пшеницы.

**Наименее поражаемые и толерантные к фузариозу колоса  
коллекционные образцы яровой мягкой пшеницы  
(инфекционный фон, 2023–2024 гг.)**

№ каталога ВИР	Сорт	Происхождение	Разновидность	Поражение, %		Степень поражения, %	Продуктивность растения, г	Масса 1000 зерен, г	Масса зерна, г/м <sup>2</sup>
				К	ИФ	ИФ			
<i>Безостые формы</i>									
	Каменка – ст.	Беларусь	lutescens	8,3	87,1	52,4	0,96	29,3	153,0
64870	Баженка – ст.	РФ, Кировская обл.	milturum	0,5	86,7	61,4	0,87	30,6	158,2
64981	Triso	Германия	lutescens	16,5	86,7	55,0	0,65	27,4	192,2
66407	Сударыня	Беларусь	lutescens	7,5	86,6	56,7	0,70	30,1	188,6
66411	Йолдыз	РФ, Татарстан	lutescens	3,8	88,2	46,2	0,80	33,6*	198,0*
66421	Ласка	Беларусь	lutescens	2,5	86,2	50,7	0,70	28,5	260,1*
46608	Januss	Германия	lutescens	2,5	90,8	56,0	0,73	28,7	181,1
34057	Vaart	США	graecum	0,5	75,8	37,5	0,50	29,3	86,9
33252	Арех	Канада	lutescens	5,1	76,5	56,9	0,56	31,3	217,2*
В среднем по сортименту				4,9	84,9	52,0	0,74	29,3	147,6
<i>Остистые формы</i>									
25665	Норе	США	erythrosperrum	0,0	76,2	45,8	0,91	31,3	225,2*
44983	Bowie	США	erythrosperrum	1,5	76,3	27,3	0,39	29,3	49,6
В среднем по сортименту				0,6	81,4	45,1	0,61	29,5	127,2

*Примечание:* К – контроль (естественный фон); ИФ – инфекционный фон; \* – превышение достоверно к стандартам при  $P \geq 0,05$ .

Выявленные образцы яровой мягкой пшеницы и биомаркер «остистость» могут быть использованы в селекции на повышение устойчивости к фузариозу колоса и снижение инфицированности зерна.

#### Библиографический список

1. Фузариоз зерновых культур / Т. Ю. Гагкаева, О. П. Гаврилова, М. М. Левитин, К. В. Новожилов // Приложение к журналу «Защита и карантин растений». 2011. № 5. 51 с.
2. Монастырский О. А. Токсинообразующие грибы, паразитирующие на зерне // Агро XXI. 2001. № 11. С. 6–7.
3. Emerging *Fusarium* and *Alternaria* mycotoxins: occurrence, toxicity and toxicity and toxicokinetics / S. Fraeyman, S. Croubels, M. Devreese, G. Antonissen // Toxins. 2017. Vol. 9. No. 7. P. 228.
4. Тенденции изменения комплексов видовой разнообразия, внутривидовых структур и динамики вредных организмов / сост. В. А. Захаренко. М. : РАСХН, 2003. 76 с.



5. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Вредоносность фузариоза колоса яровой пшеницы и поиск устойчивых генотипов для селекции. DOI: 10.47737/2307-2873\_2024\_47\_64 // Пермский аграрный вестник. 2024. № 3 (47). С. 64–70.

6. Шешегова Т. К., Кедрова Л. И. Методические рекомендации по созданию искусственных инфекционных фонов и оценке озимой ржи на устойчивость к фузариозным болезням. Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2003. 30 с.

## СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗЕРНОВКЕ ОВСА ПОСЕВНОГО И ЕГО ФРАКЦИЯХ

*Е. В. Товстик*<sup>1,2</sup>, *О. Н. Шуплецова*<sup>1</sup>,  
*В. В. Окулова*<sup>2</sup>, *А. С. Романова*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого,*

<sup>2</sup> *Вятский государственный университет, tovstik2006@inbox.ru*

В статье представлены результаты исследования содержания свободных и связанных фенольных соединений (ФС) в зерновке овса посевного (*Avena sativa* L.) сортов Кировский 2 и Медведь. Установлено, что основная часть (93,2–93,3%) ФС в плодах находится в связанном состоянии и достоверно не различается у исследованных сортов. Доля связанных ФС в покровах выше (98,6–98,9%), чем в эндосперме (84,5–86,7%). Более высокий вклад в общее содержание ФС в зерновке вносит оболочка (21,1–21,3 мг/г). Вклад эндосперма ниже в 4,1–4,7 раза и составляет 4,4–5,2 мг/г.

Ключевые слова: *Avena sativa* L., связанные, свободные фенольные соединения, общее содержание, оболочка, эндосперм.

Интерес к овсу посевному (*Avena sativa* L.) в области функциональных пищевых продуктов, сочетающих высокую питательную ценность и антиоксидантные свойства, растет [1]. К основным антиоксидантам овса относят витамин Е, фитиновую кислоту, фенольные соединения (ФС), в том числе авенантрамиды [2]. Последние содержатся только в овсе и не встречаются в других зерновых культурах [3].

ФС овса в основном сосредоточены во внешней оболочке зерновки и представлены феруловой, п-кумаровой, кофейной, ванилиновой, гидроксibenзойной кислотами, а также их производными [4]. Содержание ФС в овсе варьируется в широком диапазоне (1,70–31,30 мг/г), определяется генотипом и условиями произрастания. Доля высокофенольных генотипов овса (21,50–31,30 мг/г) от общего числа не превышает 2%, тогда как средне- (11,70–21,40 мг/г) (48%) и низкофенольные (1,70–11,60 мг/г) составляют 50% [5].

ФС в злаковых в большей степени встречаются в нерастворимой форме и связаны с полисахаридами и белками клеточной стенки [6]. В связи с этим только незначительная часть ФС (10%), потребляемых с пищей, всасывается в тонком, а 90% метаболизируются микробиотой толстого кишечника [7]. По-

сколькo употреблeниe в пищу продуктов с высоким содержанием биодоступных ФС несет потенциальную пользу для здоровья человека [8], актуальна селекция овса, направленная на объединение высоких агрономических и биохимических показателей в одном сорте [9].

Целью данной работы была сравнительная оценка содержания свободных и связанных ФС в зерновке овса и его фракциях (эндосперм и покровы).

Объектами исследования служил пленчатый овес сортов селекции ФАНЦ Северо-Востока – Кировский 2 и Медведь, характеризующиеся крупной зерновкой. Цельную зерновку делили на покровы и эндосперм, высушивали, измельчали. Из абсолютно сухих проб зерновки и его фракций извлекали свободные и связанные ФС, используя соответственно 70%-ый этиловый спирт и 2н раствор гидроксида натрия. Содержание ФС определяли спектрофотометрическим методом. В качестве внутреннего стандарта использовали галловую кислоту [10].

По результатам проведенного исследования установлено, что в зерновке овса обоих сортов основная часть ФС находилась в связанном состоянии: оболочка (93,2–93,3%) > цельное зерно (98,6–98,9%) > эндосперм (84,5–86,7%) (табл.).

Таблица

**Содержание фенольных соединений в различных генотипах овса**

Вариант	Содержание, мг/г / доля, %	
	Кировский 2	Медведь
Цельное зерно	$\frac{0,68 \pm 0,04}{10,1 \pm 0,8} / 93,3$	$\frac{0,72 \pm 0,04}{10,6 \pm 0,8} / 93,2$
Покровы	$\frac{0,22 \pm 0,02}{21,3 \pm 1,7} / 98,9$	$\frac{0,30 \pm 0,02}{21,1 \pm 1,7} / 98,6$
Эндосперм	$\frac{0,69 \pm 0,05}{5,2 \pm 0,4} / 86,7$	$\frac{0,68 \pm 0,05}{4,4 \pm 0,4} / 84,5$

*Примечание:* в числителе приведено содержание свободных ФС, в знаменателе – общее содержание ФС; после «/» указана доля связанных ФС.

Наибольшее содержание свободных ФС, определяемых в спиртовых извлечениях, наблюдали в цельном зерне. Независимо от генотипа, оно снижалось по сравнению с цельным зерном в оболочке в 3,1 и 2,4 раза (Кировский 2 и Медведь соответственно, различия достоверны) и эндосперме в 10 и 10,2 раза (Кировский 2 и Медведь соответственно). Более высокое содержание свободных ФС в цельном зерне сорта Медведь обусловлено за счет вклада аналогичных форм во фракции оболочки.

Сравнительный анализ общего содержания ФС по фракциям зерна показал их наибольшее количество в оболочке обоих сортов ( $21,2 \pm 1,7$  мг/г) и снижение в цельном зерне в 2 раза ( $(10,1–10,6) \pm 0,8$  мг/г), а также в эндосперме в 4,1–4,7 раза (4,4 и 5,2 мг/г). Отмечено отсутствие достоверных различий между сортами по общему содержанию ФС в цельном зерне и оболочке, но

меньший уровень данного показателя в 1,2 раза (достоверно) в эндосперме зерновки ячменя сорта Медведь по сравнению с сортом Кировский 2.

Таким образом, не зависимо от сорта отмечали значительное преобладание в зерне овса связанных ФС над свободными формами. Достоверных различий в концентрации связанных ФС в зерновке овса и его фракциях не выявлено. Показано преимущество сорта Медведь по содержанию свободных ФС в оболочке и отставание по общему количеству в эндосперме. Однако, у обоих сортов овса в большей степени свободные ФС концентрируются в эндосперме. Наибольший вклад в содержание ФС в зерновке вносит оболочка. В связи с этим для повышения биодоступности ФС овса необходимо разрушение клеточной стенки покровов, что будет способствовать большему извлечению данной группы высокоактивных соединений.

### Библиографический список

1. Oat and oat processed products – Technology, composition, nutritional value, and health / D. Leszczyńska, A. Wirkijowska, A. Gasiński et al. DOI: 10.3390/app132011267 // Applied Sciences. 2023. Vol. 13. No. 20. Article No. 11267.
2. The utilization of oat for the production of wholegrain foods: Processing technology and products / H. Mao, M. Xu, J. Ji et al. DOI: 10.1002/fft2.120 // Food Frontiers. 2022. Vol. 3. Iss. 1. P. 28–45.
3. Nutritional and Phytochemical Composition and Associated Health Benefits of Oat (*Avena sativa*) Grains and Oat-Based Fermented Food Products / G. F. Alemayehu, S. F. Forsido, Y. B. Tola, E. Amare. DOI: 10.1155/2023/2730175 // Scientific World Journal. 2023. Vol. 2023. Article No. 2730175.
4. Nutritional and functional characterization of different oat (*Avena sativa* L.) cultivars / S. M. Ibrahim, A. Ahmad, A. Sohail, M. Asad. DOI: 10.1080/10942912.2020.1806297 // International Journal of Food Properties. 2020. Vol. 23. Iss. 1. P. 1373–1385.
5. Biochemical assessment of oat genotypes revealed variability in grain quality with nutrition and crop improvement implications / A. Poonia, D. S. Phogat, Versha et al. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131982 // Food Chemistry. 2022. Vol. 377. Article No. 131982.
6. Effects of solid-state yeast treatment on the antioxidant properties and protein and fiber compositions of common hard wheat bran / Z. Moore, J. Cheng, G. Hao et al. DOI: 10.1021/jf071590o // Agricultural and Food Chemistry. 2007. Vol. 55. No. 25. P. 10173–10182.
7. Spinola V., Llorent-Martinez E. J., Castilho P. C. Polyphenols of *Myrica faya* inhibit key enzymes linked to type II diabetes and obesity and formation of advanced glycation end-products (*in vitro*): Potential role in the prevention of diabetic complications. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.10.010 // Food Research International. 2019. Vol. 116. P. 1229–1238.
8. Пояркова Н. М., Сапарклычева С. Е. Физиологическая роль фенольных соединений // Аграрное образование и наука. 2019. № 4. С. 14–19.
9. Реакция растений овса и ячменя на действие кадмия в чистом виде и в смеси с алюминием / О. А. Паладич, Л. Н. Шихова, Е. А. Русских, Е. М. Лисицын. DOI: 10.25750/1995-4301-2009-1-072-077 // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 1. С. 72–77.
10. Шеромов А. М., Товстик Е. В., Шуплецова О. Н. Валидация методики определения полифенолов в зерне ячменя // Съезд общества физиологов растений России «Биология растений в эпоху глобальных изменений климата»: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Уфа: Изд-во «УФИЦ РАН», 2023. С. 395.

## ВЛИЯНИЕ КУЛЬТУРАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПШЕНИЦЫ ПРИ ТОКСИЧЕСКОМ ДЕЙСТВИИ АЛЮМИНИЯ

*Д. В. Попыванов, А. Е. Агеева, М. И. Мулина*  
Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого, lfast@mail.ru

Проведена оценка стресс-протекторных свойств культуральной жидкости ксилотрофных базидиальных грибов при моделировании токсического действия ионов алюминия в рулонной культуре. В качестве тест-объекта использованы проростки пшеницы сорта Награда. Оценивали длину проростка и корня, сухой биомассы. Установлено, что культуральные жидкости *Fomes fomentarius* изолят FF 2/1 и *Trametes pubescens* изолят TPub1 достоверно не снижают стрессового воздействия ионов алюминия на проростки пшеницы.

Ключевые слова: полисахариды, базидиомицеты, рулонная культура, биологически активные вещества, жидкофазное культивирование.

Одним из факторов токсического воздействия среди эдафических стрессоров является ионная токсичность алюминия. Токсичное действие ионов алюминия становится выраженным в условиях повышенной кислотности почв и вызывает существенные изменения в биохимическом составе растений, а также оказывает значительное влияние на их морфометрические параметры.

На сегодняшний день активное внимание уделяется поиску и разработке природных стимуляторов роста растений и защитных агентов против стрессовых факторов окружающей среды, способных снизить негативное воздействие на сельскохозяйственные культуры. В этом контексте особый интерес представляют базидиальные грибы (*Basidiomycota*), многие из которых обладают уникальными биологически активными соединениями, оказывающими положительное воздействие на растения, в том числе в условиях стресса. Исследования показывают, что некоторые виды ксилотрофных базидиальных грибов способны улучшать всхожесть, усиливать рост и повышать устойчивость растений к различным стрессовым факторам, включая засуху и ионную токсичность [1–4].

Указанные свойства базидиомицетов объясняются их способностью синтезировать вторичные метаболиты, такие как полисахариды, фенольные соединения и различные антиоксиданты, которые не только стимулируют рост, но и защищают клетки растений от окислительного стресса и повреждений.

Таким образом, использование базидиальных грибов как фитостимуляторов и стресс-протекторов представляет собой перспективное направление для повышения экологичности и устойчивости сельского хозяйства, что особенно актуально в условиях нарастающих климатических изменений [5].

В работе использовали культуры изолятов ксилотрофных базидиальных грибов из коллекции лаборатории биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений ФАНЦ Северо-Востока: *Fomes fomentarius* изолят FF 2/1 и *Trametes pubescens* изолят TPub1, выделенные из экотопов Кировской области. Грибы культивировали на жидком пивном сусле, разведенном до 4° Баллинга. Процесс культивирования осуществляли в колбах Эрленмайера объемом 500 мл с объемом среды 100 мл, закупоренных ватно-марлевыми пробками. Перемешивание культуральной жидкости осуществляли на лабораторном шейкере (скорость вращения 200 об/мин) в течение 10 суток при температуре 26°C. После культивирования биомассу грибов отделяли фильтрованием через фильтр белая лента.

Оценку ростостимулирующей способности проводили методом рулонной культуры на пшенице сорта Награда. В работе использовано разведение культуральной жидкости каждого гриба в соотношении 1:10 и 1:100. В качестве контроля использовано разведенное пивное сусло и дистиллированная вода. Зерновки пшеницы в количестве по 100 штук на каждый исследуемый вариант замачивали на 24 часа в культуральной жидкости, после чего помещали в рулоны. Рулоны проращивали в течение 5 суток. После снятия опыта проводили измерение всхожести, длины корня и побега, общей сухой биомассы. Статистическая обработка выполнена в программе MSExcel 2020.

В результате эксперимента установлено, что положительное влияние на всхожесть обеспечивают культуральные жидкости TPub1 (разведение 1:100) – всхожесть 80%, FF2/1 (разведение 1:10) – всхожесть 76%. Контрольная проба, замоченная в дистиллированной воде, продемонстрировала всхожесть 60%.

Отмечено негативное влияние на всхожесть пшеницы среды для культивирования базидиомицетов – пивного сусла, разведенного в соотношении 1:100, всхожесть составила 52%.

При измерении длины корня проростков выявлено негативное влияние культуральной жидкости TPub1 1:10 (рис. 1). Средние значения длины корня при обработке культуральными жидкостями Tpub1 (1:100) и FF2/1 (1:10) были выше, однако стандартное отклонение перекрывает контрольные значения и различия нельзя считать статистически достоверными.

При измерении длины проростков отмечено увеличение этого параметра у изолята FF2/1 в концентрации 1:10 (рис. 2), однако планка погрешности также не позволяет говорить о статистически значимых различиях.

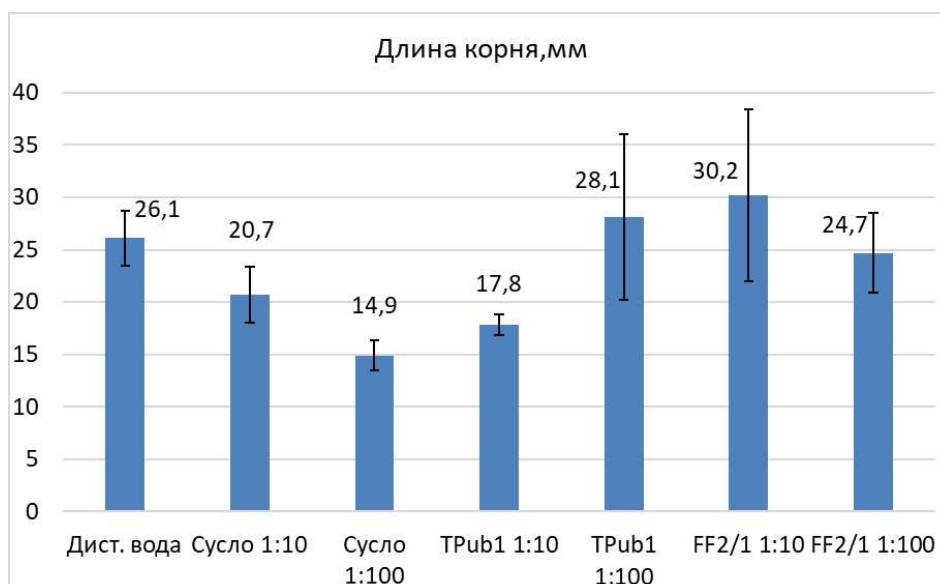


Рис. 1. Влияние культуральной жидкости на длину корня пшеницы

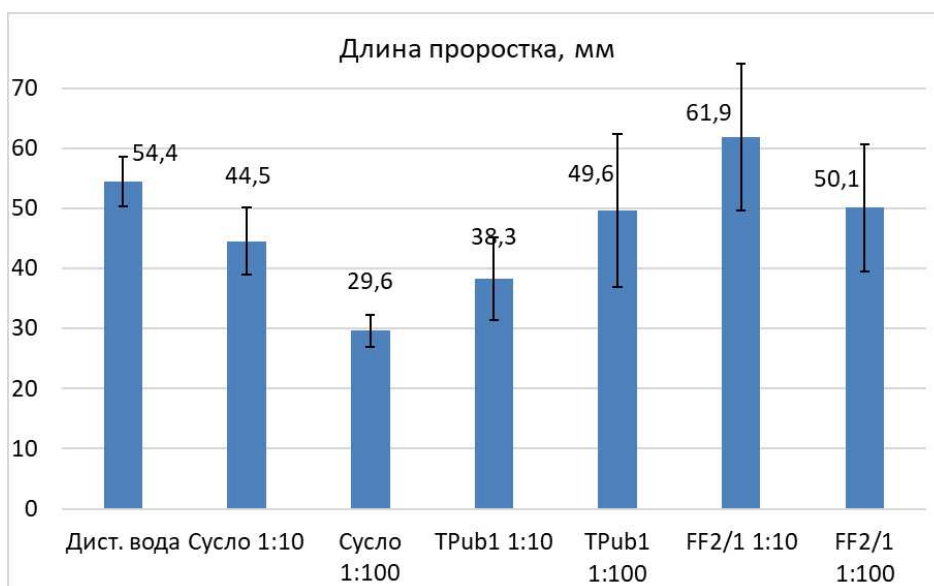


Рис. 2. Влияние культуральной жидкости на длину побега пшеницы

Анализ данных сухой биомассы корней и проростков пшеницы выявил, что у образцов TPub1 (1:100) и FF2/1 (1:10) значения биомассы находились на уровне контрольных значений (рис. 3).

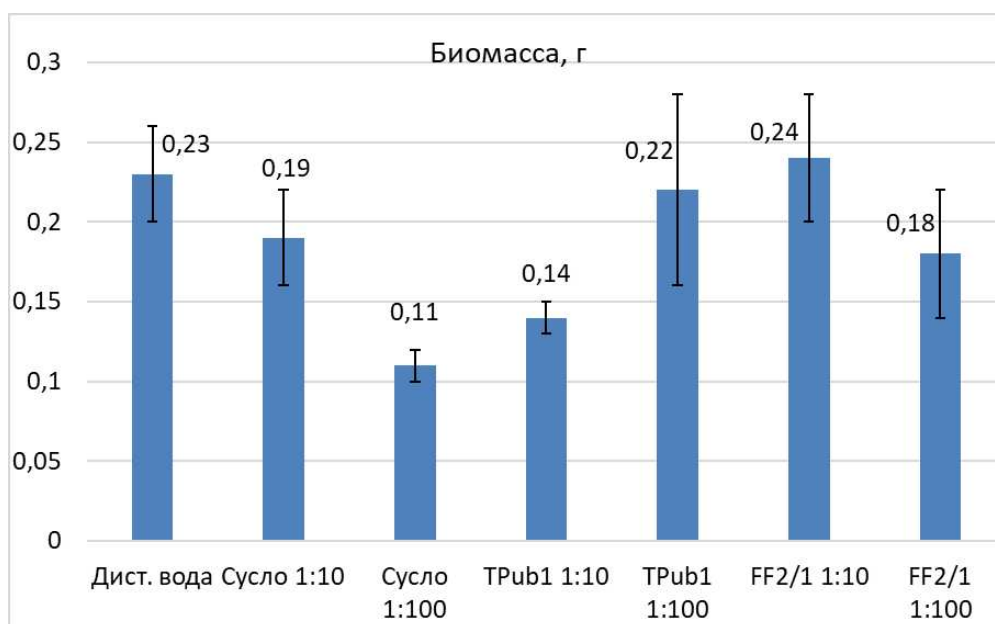


Рис. 3. Влияние культуральной жидкости на биомассу проростков пшеницы

В результате проведенных исследований установлено, что культуральные жидкости видов *Fomes fomentarius* изоляты FF 2/1 и *Trametes pubescens* изоляты TRub1 достоверно не снижают стрессового воздействия ионов алюминия на проростки пшеницы. Возможно, это связано с необходимостью корректировки действующих концентраций культуральной жидкости. В некоторых повторностях опыта установлено положительное влияние экзо-метаболитов культуральной жидкости грибов, что свидетельствует о необходимости проведения более полных исследований с расширением спектра токсических агентов.

Полученные данные могут быть использованы для планирования будущих исследований протекционных свойств культуральной жидкости базидиальных грибов в целях биоремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами. Использование питательной среды для культивирования грибов на основе растительных отходов позволит получить экономически эффективные агенты для защиты растений, а также биоремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами.

#### Библиографический список

1. Киселева И. С., Ермошин А. А., Нсенгиюмва Д. С. Экстракты трутовых грибов как регуляторы роста растений // Актуальные вопросы органической химии и биотехнологии : материалы очных докладов Междунар. науч. конф. (Екатеринбург, 18–21 ноября 2020 года). Екатеринбург : ООО «Изд-во АМБ», 2020. С. 491–494.
2. Ермошин А. А., Синенко О. С., Никконен И. В. Экстракты ксилотрофных грибов снижают токсическое действие ионов кадмия у ячменя // Современные подходы и методы в защите растений: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 16–18 ноября 2020 года). Екатеринбург: ООО «Изд-во АМБ, 2020. С. 76–77.
3. Бызова М. А., Ермошин А. А., Киселева И. С. Экстракты трутовых грибов уменьшают цитотоксичность ионов кадмия в *Hordeum*-тесте // Биомика. 2022. Т. 14, № 4. С. 310–314.

4. Никконен И. В., Новиков В. В., Ермошин А. А. Экстракты ксилотрофных базидиомицетов как биопротекторные препараты в растениеводстве // Биосистемы: организация, поведение, управление : тезисы докладов 74-й Всерос. с междунар. участием школы-конференции молодых ученых, посвященной памяти проф. А. П. Веселова (Ниžний Новгород, 20–23 апреля 2021 года). Нижний Новгород : Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского, 2021. С. 159.

5. Влияние экзометаболических базидиальных грибов на адаптацию растений *in vitro* к почвенным условиям / Ю. А. Злобина, О. Е. Кононова, Д. В. Попыванов, О. Н. Шуплецова // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. Киров : ФАНЦ Северо-Востока, 2024. С. 267–272.

## **ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ И БИООРГАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «МИЛЕФУНГ™ БОР+МОЛИБДЕН» НА СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО**

*А. П. Кислицына, А. Ю. Софронова*

*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого, zemltdel\_niish@mail.ru*

В статье представлены результаты изучения биоорганического удобрения «Милефунг™ Бор+Молибден» и инокуляции семян на содержание пигментов в листьях люпина узколистного. Показана связь величины пигментного комплекса с урожайностью люпина, содержанием сырого протеина и выносом азота урожаем.

Ключевые слова: люпин узколистный, пигменты, каротиноиды, хлорофилл, сырой протеин, урожайность, сухое вещество.

Люпин узколистный является ценной кормовой культурой и отличается высоким содержанием белка в зерне (до 40%) и до 2,0–2,7% в зелёной массе. Кроме того, благодаря его уникальным биологическим особенностям, он способствует повышению плодородия почвы с одновременным улучшением ее физического, агрохимического и фитосанитарного состояния [1, 2].

В настоящее время в растениеводстве широкое распространение получают новые технологии, включающие использование регуляторов роста растений или комплексов, состоящих из органических и минеральных (макро и микро) соединений, обогащённых витаминами, органическими и аминокислотами, а также другими микробиологическими и физиологически активными веществами [3]. Биоорганические удобрения, стимуляторы роста способствуют усилению роста и развития растений, повышают их устойчивость к негативному воздействию различных стрессов. В последние годы в мире ими обрабатывают до 50–80% площадей под сельскохозяйственными культурами [3]. Активно ведётся работа по разработке новых препаратов комплексного действия, включающих стимуляторы роста, микроэлементы, и задача состоит в



разработке комплексных приёмов использования данных препаратов в сочетании с другими средствами химизации сельскохозяйственного производства [4].

В научно-исследовательских работах при оценке устойчивости растений к абиотическим и биотическим стрессам, к воздействию различных агрохимикатов активно используется определение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) в листьях, как основных показателей фотосинтетической способности тканей.

Цель данной работы – определить влияние инокуляции семян микробиологическим препаратом «Risovertm», обработки семян и посевов биоорганическим комплексом «Милефунг™ Бор+Молибден» на урожайность зелёной массы и содержание компонентов пигментного комплекса в листьях люпина узколистного сорта Брянский кормовой.

На опытном поле ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого изучали элементы адаптивной технологии возделывания люпина узколистного с использованием бактериализации семян *Rhizobium lupine* (Risovertm) и обработки семян и посевов стимуляторами роста, препарат «Милефунг™ Бор+Молибден» (производитель «Вятский агроконцерн»). Препарат создан на основе комплекса биостимуляторов природного происхождения (гуминовые и терпеновые кислоты) с добавлением микроэлементов в хелатной форме. Препарат стимулирует рост и развитие растений, обладает выраженным антистрессовым эффектом.

Обработку семян проводили перед посевом в рекомендованной производителем дозе препарата (0,2 л/т). Внекорневую обработку травостоев люпина узколистного «Милефунг™ Бор+Молибден» (по схеме опыта) осуществляли в фазу «бутонизации» в дозе 0,2 л/га, расход рабочей жидкости 200 л/га.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, сильнокислая, с повышенным содержанием подвижного фосфора и обменного калия, низким содержанием гумуса – 1,67%, средней обеспеченностью бором и низкой – молибденом.

Общая площадь делянки 15 м<sup>2</sup>, повторность 4-х кратная. Минеральные удобрения внесены под культивацию по схеме опыта. Предшественник – яровая пшеница.

Отбор проб листьев для последующего определения содержания пигментов отбирали в фазу массового цветения люпина. Содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях осуществляли в ацетоновых вытяжках на спектрофотометре UVmini-1240 (SHIMADZU Corporation, Japan) согласно методике.

Работу фотосинтетического аппарата и функциональное состояние растений наиболее информативно отражает пигментный комплекс хлорофилл-каротиноиды. От содержания фотосинтетических пигментов – хлорофиллов – зависит эффективность функционирования фотосинтетического аппарата и биологическая продуктивность растений [5].

Из полученных нами данных следует, что инокуляция семян, применение стимуляторов роста и внесение азотных удобрений способствовали по-

вышению содержания пигментов в листьях люпина узколистного в сравнении с контролем (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание пигментов в листьях люпина узколистного**

Варианты	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	Каротин	<i>Chl a+Chl b</i>	<i>Chl b a+Chl b+</i> каротин
	мг/г сух. в-ва			мг/г сух. в-ва	
1. Люпин P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> (контроль)	7,80	3,30	2,50	11,09	13,59
2. Люпин N <sub>30</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	11,36	4,98	3,54	16,34	19,87
3. Люпин (P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> ) + инокуляция	10,99	4,63	3,45	15,62	19,07
4. Люпин (P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> ) + Милефунг <sup>TM</sup> В +Мо (обработка семян)	9,98	4,51	3,03	14,49	17,52
5. Люпин (P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> ) + инокуляция + Милефунг <sup>TM</sup> В +Мо (обработка семян)	10,81	4,72	3,32	15,52	18,85
6. Люпин (P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> ) + инокуляция + Милефунг <sup>TM</sup> В +Мо (по вегетации)	10,99	4,83	3,42	15,82	19,23

При инокуляции семян содержание хлорофилла *a* (*Chl a*), как основного фотосинтезирующего пигмента, в сравнении с контрольным вариантом, возросло на 40,9%. Содержание хлорофилла *b* (*Chl b*), который является облигатным компонентом фотосинтетического аппарата высших растений и регулятором процесса биосинтеза и деградации светособирающих антенных комплексов [6], увеличился на 40,3% по отношению к контролю. Содержание каротина возросло в 1,3 раза. Каротиноиды – обязательные компоненты пигментных систем. Они выполняют защитную функцию, предохраняя хлорофилл от фотоокисления, и тем самым стабилизируют его содержание.

Обработка семян только «Милефунг<sup>TM</sup>+Бор+Молибден» также увеличивала содержания хлорофиллов в листьях люпина узколистного по отношению к контрольному варианту (на 27,8%), но её влияние было значительно ниже действия бактериализации. Совместное использование при обработке семян стимулятора роста и инокуляции *Rhizobium lupine* не привело к росту концентрации пигментов в тканях листа относительно бактериализации. Лучший эффект был достигнут при инокуляции семян и обработке посевов препаратом «Милефунг<sup>TM</sup>Бор+Молибден».

Для бобовых культур полноценное азотное питание непосредственно связано с образованием и активностью симбиотического аппарата. При оптимальных условиях для их функционирования наблюдается активность фотосинтетического аппарата и рост продуктивности [7].

После дождливой и холодной погоды первой декады мая 2023 года почва была сильно уплотнена. Дальнейшее резкое потепление и сухая погода привели к образованию корки на поверхности почвы, что не способствовало образованию клубеньков на корнях люпина при недостатке кислорода. Гидротермический коэффициент периода «ветвление-начало цветения» составил – 0,93. В фазе «бутонизация-цветение» клубеньки на корнях люпина узко-

лиственного отсутствовали. Образование их было отмечено во второй пятидневке июля после установления тёплой и дождливой погоды, что непосредственно сказалось на продуктивности культуры. Урожайность зеленой массы в фазу зелёных бобов составила от 3,14 кг/м<sup>2</sup> (контроль) до 5,13 кг/м<sup>2</sup> при внесении NPK. Сбор сухого вещества соответственно от 0,56 до 0,9 кг/м<sup>2</sup> (табл. 2).

В условиях слабой азотфиксации лучшие результаты фотосинтетической активности посевов люпина наблюдались в варианте опыта с внесением азотных удобрений под культивацию. Содержание *Chl a* и *Chl b*, а также каротина в фазу цветения люпина здесь было соизмеримо с действием инокуляции ризобиями.

Определение содержания пигментов светопоглощающего комплекса в листьях люпина, проведённое в фазу массового цветения, показало высокую связь содержания *Chl a*, *Chl b* и каротиноидов с урожайностью люпина узколистного. Коэффициент корреляции сбора сухого вещества с содержанием *Chl a* составил 0,84, с *Chl b* – 0,86, с каротиноидами – 0,82, а с суммарным содержанием хлорофиллов и каротина – 0,82...0,86 (при  $p \leq 0,05$ ).

Таблица 2

**Влияние удобрений, инокуляции и ростостимулирующих препаратов на урожайность, содержание и сбор сырого протеина люпина узколистного (фаза массового цветения)**

Вариант	Урожайность зелёной массы, кг/м <sup>2</sup>	Сбор сухого вещества, кг/м <sup>2</sup>	Сырой протеин	
			в сухом веществе, %	г/м <sup>2</sup>
1. Люпин P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> (контроль)	3,26	0,53	8,33	44,2
2. Люпин N <sub>30</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	5,13	0,86	8,70	74,5
3. Люпин (P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> ) + инокуляция	4,97	0,90	9,73	87,6
4. Люпин (P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> ) + Милефунг <sup>TM</sup> В +Mo (обработка семян)	4,85	0,86	9,11	78,6
5. Люпин (P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> ) + инокуляция + Милефунг <sup>TM</sup> В +Mo (обработка семян)	4,40	0,76	10,20	77,2
6. Люпин (P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> ) + инокуляция + Милефунг <sup>TM</sup> В +Mo (по вегетации)	4,27	0,79	10,46	82,6
НСР <sub>05</sub>	0,88	0,146	–	–

При слабом развитии клубеньков на корнях люпина узколистного содержание сырого протеина в зелёной массе было невысоким: 8,33–10,46% в сухом веществе (табл. 2). Однако совместное использование препаратов способствовало повышению концентрации сырого протеина в зелёной массе люпина.

Коэффициент корреляции содержания сырого протеина в зелёной массе с суммой пигментов составил 0,73, с выносом азота урожаем ( $r = 0,89$ ), что указывает на высокую связь между активностью симбиотической азотфиксации и снабжением растений продуктами фотосинтеза.

Таким образом, при недостатке в почве влаги для проявления азотфиксации эффект от инокуляции семян люпина узколистного препаратом *Risoverm* и обработке «Милефунг™ Бор+Молибден» на сбор сухого вещества были сопоставимы с действием внесения 30 кг азота под культивацию. Совместное использование биоорганического комплекса с инокуляцией семян способствовало повышению суммарного количества пигментов в листьях и повышало концентрацию сырого протеина в зелёной массе люпина в большей мере, чем применение только одного препарата.

#### **Библиографический список**

1. Горох, люпин, вика, бобы: оценка и использование в кормлении сельскохозяйственных животных / В. М. Косолапов, А. И. Фицев, А. П. Гаганов, М. В. Мамаева. М., 2009. 373 с.
2. Агеева П. А., Почутина Н. А., Матюхина М. В. Люпин узколистный – источник ценных питательных веществ для использования в кормопроизводстве // Кормопроизводство. 2020. № 10. С. 29–33.
3. Шаповал О. А., Можарова И. П., Коршунов А. А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях // Защита и карантин растений. 2014. № 6. С. 16–20.
4. Рябчинская Т. А., Зимина Т. В. Средства, регулирующие рост и развитие растений, в агротехнологиях современного растениеводства // Агрехимия. 2017. № 12. С. 62–92.
5. Никитишен В. И., Терехова Л. М., Личко В. И. Формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза растений в различных условиях минерального питания // Агрехимия. 2007. № 8. С. 35–43.
6. Тютерева Е. В., Дмитриева В. А., Войцеховская О. В. Хлорофилл b как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 5. С. 843–855.
7. Комплексные стимуляторы роста как элемент агротехнологии при выращивании люпина белого (*Lupinus albus* L.) / Л. Г. Яговенко, Т. В. Яговенко, С. А. Пигарева и др. // Кормопроизводство. 2024. № 3. С. 27–34.

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ К СТРЕССУ**

**С. А. Чуракова**

*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого, sveta.1917@mail.ru*

Оценивали основные параметры флуоресценции хлорофилла *a* фотосистемы 2 с использованием JIP-теста. Пшеница показала большую чувствительность к алюминиевому стрессу. Три сорта (Линия 2, Баженка и Маргарита) продуктивнее наращивали надземную часть в алюминиевом стрессе, а два сорта (Карабалыкская 98 и Саратовская 29) – в засухе.

Ключевые слова: флуоресценция, хлорофилл, засуха, алюминий, OJIP-тест, сухая масса.

Одной из актуальных проблем современного растениеводства в России является негативное влияние повышенной почвенной кислотности на урожайность зерновых культур. В Российской Федерации почти 30% пахотных земель характеризуются как сильно- и среднекислые [1]. Для дерново-подзолистых почв Кировской области также характерно низкое естественное плодородие [2] и низкий уровень pH почвенного раствора, обусловленный повышенным содержанием ионов алюминия. Получение гарантированных урожаев на таких почвах зависит от введения в производство алюмо- (кислото) устойчивых сортов. Экологическая устойчивость растений позволит сократить дорогостоящую мелиорацию кислых почв, станет действенным средством защиты посевов от стрессовых факторов среды.

Так же для территории Кировской области характерен нестабильный гидротермический коэффициент (ГТК), когда недостаток влаги оказывает негативное воздействие в любом вегетативном периоде. Наиболее чувствительным к осмотическому стрессу считается растение на ранних этапах развития. Н. И. Вавилов выделил три группы растений по засухоустойчивости [3]. Пшеница отнесена к группе злаковых со средней устойчивостью к осмотическому стрессу.

Поскольку урожай зерновых культур обеспечивается эффективной работой фотосинтетического аппарата, оценка фотосинтетических функций и структур становится неотъемлемой частью изучения продуктивности селекционного материала.

Объектом исследования являлись пять сортов яровой пшеницы: Маргарита, Баженка, Линия 2, Саратовская 29, Карабалыкская 98. Для оценки параметров кинетики индукции флуоресценции хлорофилла использовали двухнедельные проростки, выращенные при фотопериоде 16/8 ч (день/ночь) и комнатной температуре на полном питательном растворе – контроль, 10% растворе полиэтиленгликоля (ПЭГ) – засуха 7 атм и 1М водном растворе  $Al_2(SO_4)_3$ . Семена проращивали в рулонах в растворе Кнопа 1 неделю, затем в варианте опыта питательный раствор заменяли на 10% раствор ПЭГ /  $Al_2(SO_4)_3$  до окончания эксперимента. Флуоресценцию хлорофилла *a* регистрировали на адаптированных к темноте в течение 20 минут листьях с использованием флуорометра FluorPen FP 110/S (Photon Systems Instruments, Czech Republic) согласно руководству производителя. Индукционные кривые флуоресценции хлорофилла *a* инициировали красным светом длиной волны 650 нм интенсивностью  $1500 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Методика и измеряемые параметры подробно описаны в статье [4]. Статистическую обработку данных проводили в программах Microsoft Excel 2016 с использованием методов вариационной статистики.

В ходе эксперимента обнаружена тенденция снижения значений параметров флуоресценции в варианте осмотического стресса для большинства сортов. Так, начальная флуоресценция снижалась на 6,44–14,66%, максимальная – на 6,40–8,50% (рис. 1).

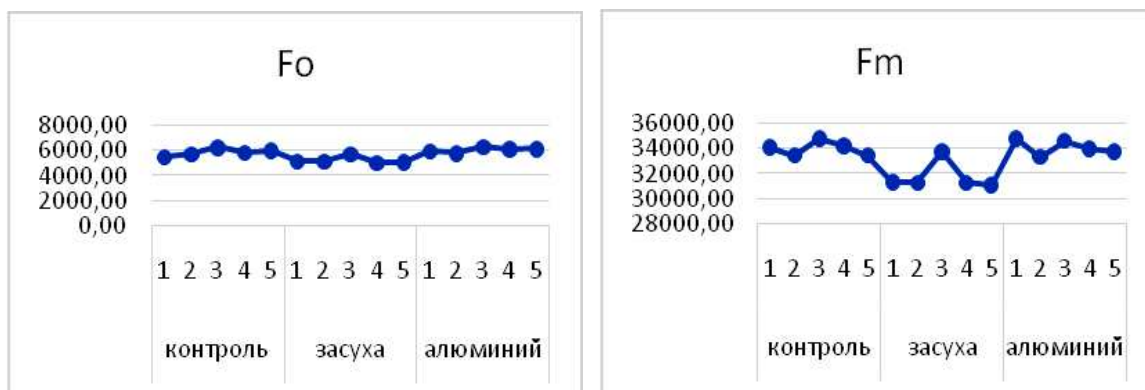


Рис. 1. Начальная ( $F_0$ ) и максимальная ( $F_m$ ) флуоресценции: сорта: 1 – Линия 2; 2 – Саратовская 29; 3 – Карабалыкская 98; 4 – Маргарита; 5 – Баженка

Потоки энергии (рис. 2) реагировали на стресс соответственно для четырех сортов из пяти. Самым значительным снижением характеризовались потери энергии (на 12,22–21,34%), что говорит о перестройке работы фотосистемы 2 (ФС2), направленной на сокращение диссипации. На 7,28–12,38% уменьшился размер антенн светособирающего комплекса, что привело к сокращению количества поглощенных фотонов и, соответственно, депрессии электронного транспорта внутри фотосистемы (до 11,15% для  $TR_0/RC$  и до 6,61% для  $ET_0/RC$ ). Исключением из закономерности стал сорт Линия 2, показавший незначительный прирост значений потоков энергии, входящий в рамки ошибки.

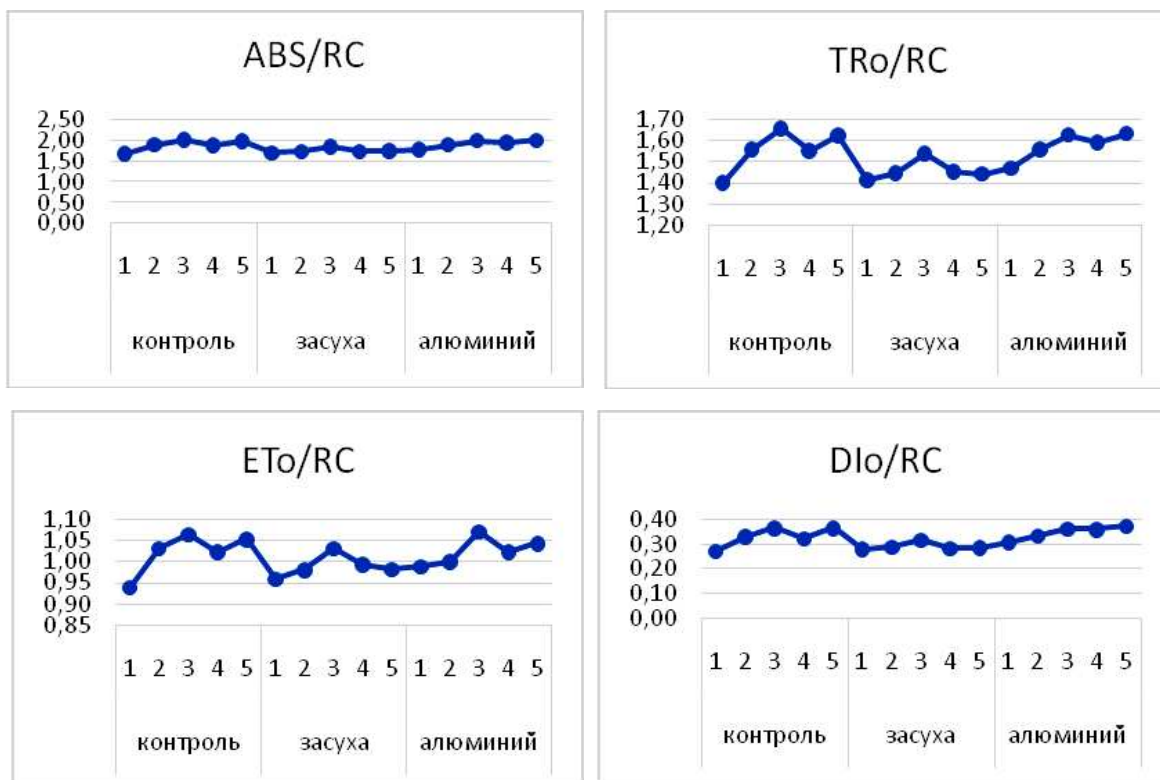


Рис. 2. Потоки энергии в расчете на один активный реакционный центр: сорта: 1 – Линия 2; 2 – Саратовская 29; 3 – Карабалыкская 98; 4 – Маргарита; 5 – Баженка

В варианте воздействия раствора алюминия только сорт Линия 2 показал достоверные изменения  $F_0$  и  $F_m$  на 8,50% и 1,94% соответственно. Среди показателей потоков энергии Линия 2 так же показал значимый прирост всех потоков энергии на 5,04–12,67%. Саратовская 29 сократила поток электронного транспорта от  $Q_A$  до  $Q_B$  на 3,03%, а Маргарита стала терять энергию на 11,56% больше относительно контроля. Остальные сорта сохраняли показатели на уровне контроля.

Определение перфоманс-индексов (рис. 3) позволит провести итоговую оценку устойчивости фотосинтетического аппарата. Линия 2, обладая наивысшими в группе сортов значениями  $PI_{ABS}$  и  $PI_{ABS\_total}$ , снижала их показатели в обоих случаях стресса на 1,10% и 9,99% в засухе, на 12,62% и 25,96% в присутствии алюминия. В остальных случаях при осмотическом стрессе перфоманс-индексы увеличивали значения от 22,02% до 63,52%. Алюминий в свою очередь имел угнетающие свойства. Так,  $PI_{ABS}$  снижался у всех сортов пшеницы (на 6,86–28,08%).  $PI_{ABS\_total}$  вырос у сортов Карабалыкская 98 на 63,79% и Баженка на 13,33%. Остальные теряли характеристики сохранения энергии на 13,52–25,96%.

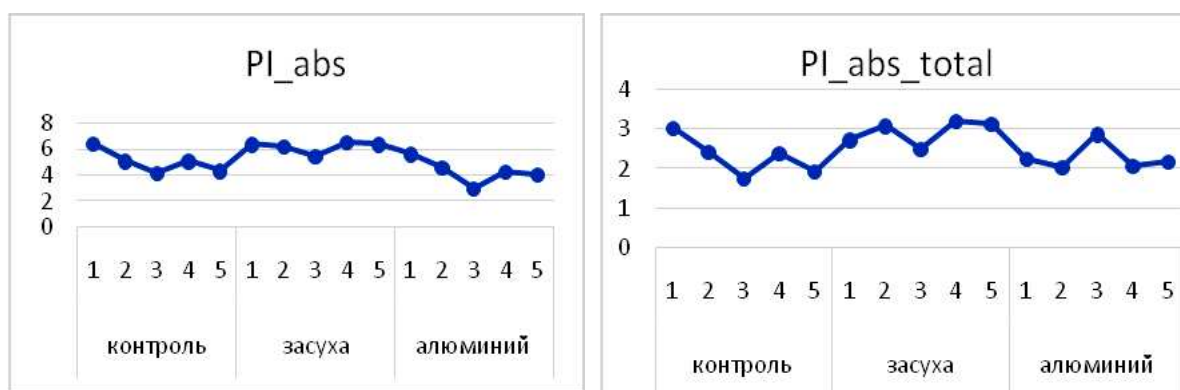


Рис. 3. Перфоманс-индексы: сорта: 1 – Линия 2; 2 – Саратовская 29; 3 – Карабалыкская 98; 4 – Маргарита; 5 – Баженка

Таким образом, выбранные сорта пшеницы выявили устойчивость к засухе. Несмотря на снижение значений всех определяемых параметров флуоресценции, сохранение энергии на пути от поглощения фотона до редукции на акцепторе ФС2 и фотосистемы 1 (ФС1) в том числе сохранялось на уровне контроля либо его превышало. Это говорит о способности ФС2 в условиях осмотического стресса перестроиться таким образом, чтобы при дефиците поступающей энергии фотонов использовать ее максимально продуктивно. Доказательством этого является меньшие относительно контроля значения диссипации ( $DI_0/RC$ ). У сорта Линия 2, сохранившего значения потоков энергии на прежнем уровне, несмотря на стресс, в том числе и потери энергии, в итоге пострадала способность к сохранению энергии на обеих фотосистемах. В доказательство адаптивных функций можно привести закономерность последовательного повышения значений потоков энергии от поглощения фотонов ( $ABS/RC$ ) до подачи электронов на  $Q_B(ET_0/RC)$ . Сорт Линия 2 проявил

негативную чувствительность к стрессу, сорт Баженка – лучшую адаптивную способность к засухе.

Одномолярный раствор алюминия оказал более негативное воздействие на пшеницу. Несмотря на незначительное снижение либо рост значений как начальной и максимальной флуоресценций, так и потоков энергии, перформанс-индексы всех сортов теряли до 28% значений относительно контроля. Баженка повторно занял лидирующую позицию самого устойчивого к стрессу сорта. Карабалыкская 98 показал рекордное значение  $PI_{ABS\_total}$  в группе, но также и минимальное  $PI_{ABS}$ . Это говорит о больших потерях энергии внутри ФС2.

В таблице показано, что большими потерями продуктивной массы характеризовались сорта Карабалыкская 98 и Баженка, потерявшие при обоих стрессах 40,49–48,61% массы надземной части растения. Продуктивная масса сорта Линия 2 на 16,44% больше в присутствии алюминия, но на 21,38% меньше в условиях засухи. Три сорта (Линия 2, Баженка и Маргарита) продуктивнее наращивали надземную часть в алюминиевом стрессе, а два сорта (Карабалыкская 98 и Саратовская 29) – в засухе.

Таблица

**Влияние стресса на продуктивную массу пшеницы**

Сорт	Контроль			Алюминий			Засуха		
	кол-во	сухая масса		кол-во	сухая масса		кол-во	сухая масса	
		надземная часть	корни		надземная часть	корни		надземная часть	корни
Линия 2	27,00	0,53	0,25	18,33	0,42	0,18	26,00	0,43	0,38
Баженка	29,33	0,55	0,26	8,33	0,09	0,05	33,00	0,51	0,46
Маргарита	31,00	0,50	0,27	13,00	0,20	0,11	31,33	0,41	0,40
Саратовская 29	29,33	0,67	0,28	16,33	0,30	0,14	28,00	0,67	0,50
Карабалыкская 98	32,00	0,86	0,33	13,67	0,20	0,10	31,33	0,65	0,56

Таким образом, сорта Баженка и Карабалыкская 98 характеризовались лучшей способностью к сохранению энергии при снижении диссипации, но этот процесс был связан со значительным снижением продуктивной массы растения. Линия 2 показал снижение перформанс-индексов при обоих стрессах, при этом стал единственным сортом с приростом массы надземной части растения под воздействием алюминия. В целом, сорта показали обратную пропорциональность отношений перформанс-индексов и массы растения.

Для селекционных работ по выведению устойчивых и продуктивных сортов может быть рекомендовано использование Баженка в качестве материнских родительских форм по алюмоустойчивости, так как он может передать лучшие характеристики работы фотосинтетического аппарата. А именно: основные параметры под воздействием стресса не изменились, при этом выросла способность к сохранению энергии при переносе до ФС1. В качестве



отцовской формы рекомендовано брать сорт Линия 2, так как этот сорт единственный не потерял продуктивную массу.

Для засушливых условий можно рекомендовать сорта Саратовский 29 и Маргарита в качестве материнской и отцовской форм соответственно. Они обладали сходными фотосинтетическими процессами с лучшими способностями к переносу энергии внутри ФС2 и сохранением ее на всем этапе передачи до конечного пункта. К тому же Саратовский 29 потерял наименьший процент массы надземной части растения.

#### Библиографический список

1. Курина А. Б., Косарева И. А., Артемьева А. М. Генетическое разнообразие *Raphanus sativus* L. коллекции ВИР по алюмоустойчивости // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24, № 6. С. 613–624.
2. Молодкин В. Н., Бусыгин А. С. Плодородие пахотных Кировской области почв // Земледелие. 2016. № 8. С. 16–18.
3. Агаркова С. Н., Новикова Н. Е. Реализация идей Н. И. Вавилова о роли генетических и физиологобиохимических исследований в селекции сортов зернобобовых культур // Зернобобовые и крупяные культуры. 2012. № 4. С. 28–33.
4. Чуракова С. А. Связь параметров флуоресценции хлорофилла *a* с элементами структуры продуктивности растений ярового ячменя // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2021. С. 73–77.

### ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ МЫШЬЯКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ НА ВСХОЖЕСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛОВ В ЛИСТЯХ ПШЕНИЦЫ

А. А. Колкова<sup>1,2,3</sup>, Э. А. Капарова<sup>2</sup>, Д. Б. Петренко<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Геологический институт Российской академии наук,  
kolkova\_angelina01@mail.ru,

<sup>2</sup> Государственный университет просвещения,

<sup>3</sup> Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук

В ходе эксперимента исследовано воздействие концентраций мышьяксодержащих отходов производства серной кислоты на всхожесть и содержание хлорофиллов в листьях пшеницы (*Triticum* L.). Установлено, что существует узкий диапазон концентраций мышьяка в почвах, при котором он оказывает стимулирующее влияние на всхожесть семян. Эксперимент показал, что концентрации хлорофиллов *a*, *b* и их суммы в листьях не могут служить маркером воздействия мышьяка в почвах на растения, даже в концентрациях, существенно превышающих фоновые.

Ключевые слова: мышьяк, пшеница, всхожесть, содержание хлорофилла.

Загрязнение мышьяком является экологической проблемой мирового масштаба. Он может попадать в окружающую среду в результате антропогенной деятельности, такой как добыча полезных ископаемых, производство минеральных удобрений и использование мышьяксо­держащих пестицидов и гербицидов. Загрязнение мышьяком также может происходить в результате естественных процессов, таких как эрозия горных пород и минералов, вулканическая и геотермальная активность [1].

В городе Воскресенск располагается один из крупнейших заводов по производству минеральных удобрений, производящих серную кислоту, необходимую для переработки фосфатного сырья. С 1930-х по 1970-е гг. сырьем для производства серной кислоты являлся пирит, содержащий примесь арсени­пирита. При получении серной кислоты из пирита в значительных количествах образуются пиритные огарки, которые складываются на территории объектов размещения отходов [2].

Данные о воздействии мышьяка на растения, встречающихся на субстратах с высокой концентрацией этого элемента, противоречивы. Мышьяк не является необходимым для растений, хотя до сих пор не решен вопрос о том, является ли он естественным компонентом некоторых растений [3, 4]. В повышенных концентрациях мышьяк может оказывать пагубное влияние на рост и развитие растений. Имеются данные о том, что очень незначительная концентрация As положительно влияет на растения [4].

В этой связи целью данной работы явилось выявление закономерностей воздействия различных типов мышьяк­содержащих отходов производства серной кислоты на травянистые растения на примере пшеницы озимой (*Triticum aestivum* L.) по результатам модельного эксперимента.

В качестве объекта для постановки модельного эксперимента выбрана пшеница озимая, поскольку она является классическим таксоном для изучения различных экотоксикантов, в том числе и мышьяка на растения. Модельный эксперимент заключался в изучении воздействия внесения в почву мышьяк­содержащих отходов производства серной кислоты на всхожесть семян и содержание хлорофиллов в листьях.

Для выполнения эксперимента в качестве мышьяк­содержащих субстратов использовали отходы, в значительных количествах находящиеся в зоне загрязнения: пиритные огарки; продукт выветривания пиритных огарков и продукт их биотрансформации, представляющий собой почву с высоким содержанием органического вещества, более 40 лет назад контаминированную пиритными огарками. Содержание мышьяка в использованных субстратах составляло 1425, 622 и 728 мг/кг соответственно. В пластиковые емкости помещали 400 г смеси мышьяк­содержащего субстрата и незагрязненной дерново-подзолистой почвы, содержащую от 0, 1, 5, 10, 25 и 50% субстрата по массе. В каждую емкость было посеяно по 50 семян. Эксперимент проводили в течение 2 месяцев. Полив осуществляли ежедневно, используя 50 см<sup>3</sup> дистиллированной воды на одну емкость. Быстрое прорастание семян и усилен-

ный рост растений были достигнуты путем облучения светодиодными лампами.

На графиках (рис. 1) представлены зависимости всхожести семян пшеницы от концентрации мышьяка в почвах, контаминированных различными типами мышьяксодержащих отходов. Из графиков видно, что зависимости имеют сходный характер для всех исследованных мышьяксодержащих субстратов. При внесении незначительных количеств мышьяксодержащих веществ всхожесть семян существенно снижается. Дальнейшее внесение приводит к увеличению всхожести, затем наблюдается ее снижение. Из графиков следует, что сравнительно низкие или, наоборот, весьма высокие концентрации мышьяка в почвах приводят к значительному снижению всхожести. Таким образом существует узкий диапазон концентраций мышьяка в почвах, составляющий 30–70 мг/кг для разных типов отходов, который благоприятно сказывается на всхожести семян, что согласуется с литературными данными про стимулирующее влияние низких концентраций мышьяка на растения [5].

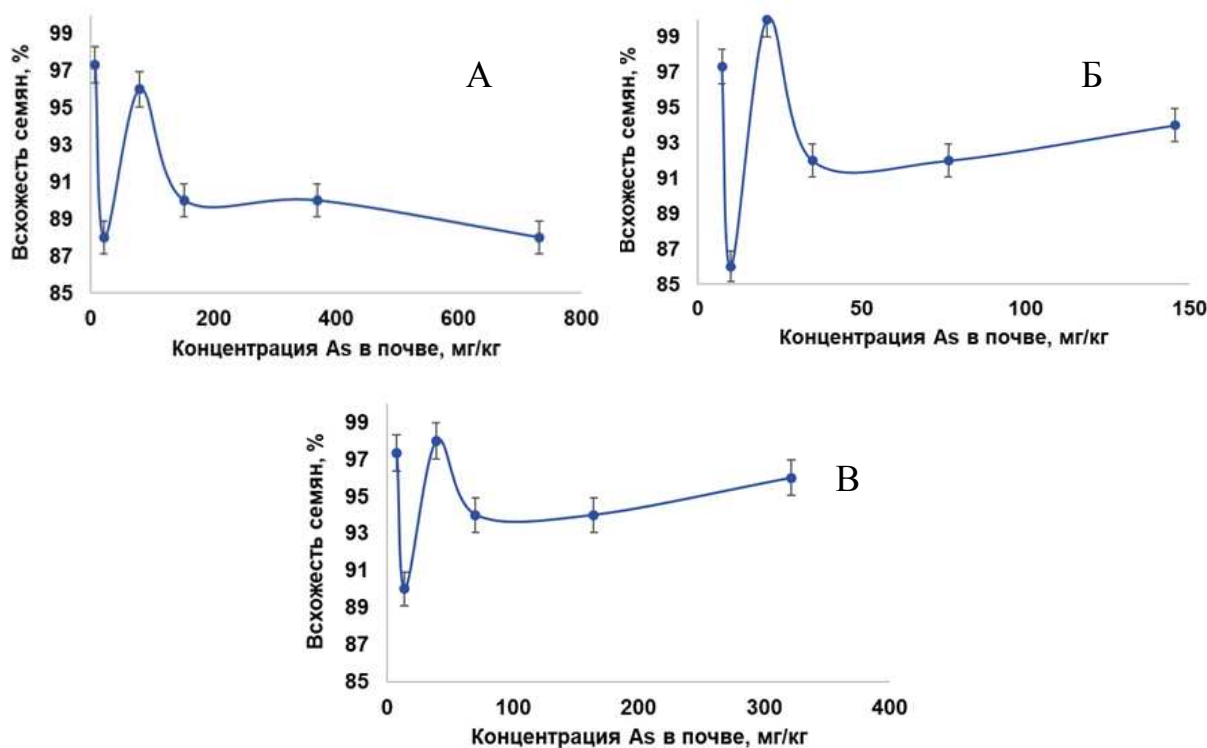


Рис. 1. Влияние концентрации мышьяка в почвах, контаминированных: А – пиритными огарками; Б – продуктом биотрансформации пиритных огарков; В – продуктом выветривания пиритных огарков

Исследованные концентрации мышьяка не вызывали видимые пожелтения, либо возникновение хлорозов и некрозов на листьях. Зависимости содержания хлорофиллов а, b и их суммы в листьях пшеницы (рис. 2) от содержания As в почве для всех трех исследованных отходов не позволяют сделать однозначных выводов. В этой связи концентрации хлорофиллов в листьях не

могут служить маркером воздействия мышьяка в почвах на растения, даже в концентрациях, существенно превышающих фоновые.

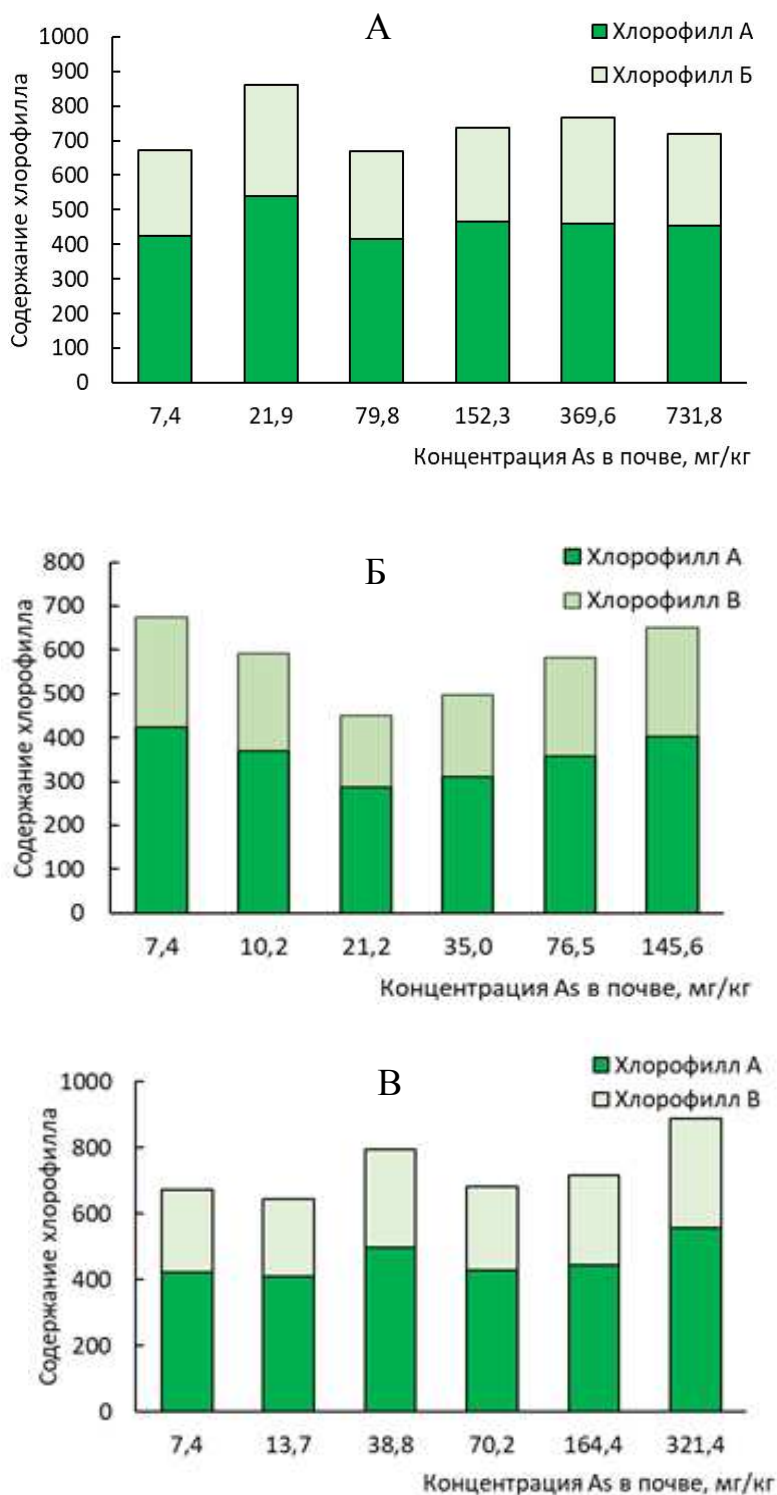


Рис. 2. Содержание хлорофиллов в листьях пшеницы, выросшей на почве, загрязненной: А – пиритными огарками; Б – продуктом выветривания пиритных огарков; В – продуктом биотрансформации пиритных огарков

Таким образом, в модельном эксперименте на примере пшеницы установлено, что внесение пиритных огарков, продуктов их выветривания и био-

логической трансформации в почву оказывает сходное воздействие на прорастание семян, проявляющееся в снижении всхожести при малых количествах мышьяксодержащих отходов, последующем увеличении всхожести с ростом концентрации As и снижении всхожести при высоких его концентрациях в почвах. Зависимость содержания хлорофиллов от содержания As в почве для всех трех исследованных отходов не позволяет сделать однозначных выводов о влиянии мышьяка на изменение концентрации пигментов в листьях пшеницы.

#### Библиографический список

1. Singh H., Goomer S. Arsenic – A Hidden Poison in Water-Soil-Rice Crop Continuum // International Journal of Scientific & Technology Rresearch. 2019. Vol. 8. P. 864–877.
2. Васильев Б. Т., Отвагина М. И. Технология серной кислоты. М. : Химия, 1985. 384 с.
3. Геохимические аспекты накопления мышьяка травянистыми растениями в импактной зоне предприятия по производству минеральных удобрений / А. А. Колкова, А. С. Чепрасова, Е. В. Аристархова и др. // Современные направления развития геохимии. 2022. Т. 1. С. 238–240.
4. Abbas G., Murtaza B., Bibi I. Arsenic Uptake, Toxicity, Detoxification, and Speciation in Plants: Physiological, Biochemical, and Molecular Aspects // Int. J. Environ Res Public Health. 2018. Vol. 15. P. 59.
5. Arsenic accumulation in the roots of *Helianthus annuus* and *Zea mays* by irrigation with arsenic-rich groundwater: Insights from synchrotron X-ray fluorescence imaging / H. Neidhardt, U. Kramar, X. Tang et al. // Chem. Erde-Geochem. 2015. Vol. 75. P. 261–270.

### ВЛИЯНИЕ КАДМИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ И ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОРОСТКАХ ЯЧМЕНЯ

*Е. В. Товстик<sup>1,2</sup>, О. Н. Шуплецова<sup>1</sup>, Ю. А. Злобина<sup>1</sup>,  
В. В. Окулова<sup>2</sup>, А. С. Романова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого,*

<sup>2</sup> *Вятский государственный университет, tovstik2006@inbox.ru*

Исследовано действие четырех концентраций кадмия (10, 20, 50, 80 мг/л) на морфометрические и биохимические признаки проростков ячменя. Установлено, что 50 и 80 мг/л кадмия являются критическими концентрациями для жизнеспособности растений. При 20 и 50 мг/л кадмия отмечали усиление выработки фенольных соединений (ФС) в корнях и снижение при 80 мг/л; для побегов – снижение независимо от концентрации кадмия. По результатам исследования показатели индекс длины корней и уровень содержания ФС в корнях рекомендованы в качестве эффективных критериев скрининга устойчивости растений ячменя к кадмиевому стрессу.

Ключевые слова: связанная фракция, свободная фракция, общее содержание, длина корня, высота побега, критическая концентрация.

Существенные различия в толерантности растений к токсичности тяжелых металлов обусловлены механизмами различной природы. Мониторинг этих изменений может дать представление о стратегиях поддержания метаболического гомеостаза и выявить защитные соединения, которые способствуют толерантности растений к стрессу [1]. Большинство исследований ответной реакции растений на кадмиевый стресс опираются одновременно на физиологические и биохимические изменения в растительной ткани, что позволяет отбирать генотипы, в том числе зерновых культур, сочетающие устойчивость и высокую урожайность [2].

Кадмий является одним из наиболее токсичных и высокоподвижных тяжелых металлов. Легко поглощаясь корневой системой, он может накапливаться в различных органах растений, передаваться по трофическим цепям [3]. Порог фитотоксической концентрации кадмия в почве варьируется в широком диапазоне. Для ячменя он может составлять 25 мг/кг [4]. Одним из самых ранних и наиболее отчетливых симптомов токсичности кадмия является замедление роста корней [5]. Однако не у всех генотипов может наблюдаться значительное снижение показателей морфофизиологических признаков. Подобная дифференциальная толерантность к кадмиевому стрессу в основном объясняется транслокацией кадмия и антиоксидантной защитой растений [6].

Ключевыми антиоксидантами, образующимися как в нормальных, так и в стрессовых условиях, в растениях выступают фенольные соединения (ФС) [7].

В представленной работе изучали реакцию на кадмий ячменя, известного относительно высокой чувствительностью к почвенным стрессорам, обусловленной, прежде всего, слаборазвитой корневой системой при низкой способности к хелатообразованию [8].

Цель работы – оценка влияния кадмия на содержание и фракционирование фенольных соединений в проростках ячменя.

Объектами исследования служили проростки ячменя сорта Белгородский 100. Растения выращивали в рулонной культуре в течение 10 суток. Исследовали действие 10, 20, 50, 80 мг/л ионов кадмия (II) в виде  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Контролем служила дистиллированная вода.

Критические концентрации кадмия для проростков оценивали по морфометрическим показателям (длина корня, высота побега). Дополнительно рассчитывали индекс длины корней, % (ИДК – соотношение средней длины корня проростков в опыте и контроле). Определение ФС производили в объединенных пробах спектрофотометрическим методом. Свободные ФС (негликозидные) экстрагировали 70%-ым этиловым спиртом при температуре 5 °С в течение 24-х час., суммарные (гликозидные) – щелочью (2н. NaOH) при 80 °С в течение 2-х час. По разности между суммарным содержанием и содержанием свободных ФС определяли массовую долю связанной фракции [9].

Результаты представлены в виде средних значений от трех повторностей и их стандартных отклонений. В таблице и на рисунке знак «\*» означает достоверные отличия от контроля.

В ходе исследования было установлено, что кадмий в первую очередь замедлял рост корней. Средняя длина корня в варианте с наиболее высокой концентрацией кадмия (80 мг/л) была ниже контроля на 94,2 мм (составив 76%), а в случае побегов – только на 30,7 мм (28%) (табл.).

Таблица

### Морфометрические показатели проростков ячменя

Вариант опыта	Средняя длина корня, мм	Средняя высота побега, мм	ИДК, %
Контроль	124,7±3,6	108,2±6,9	–
10 Cd <sup>2+</sup> , мг/л	76,2±3,4*	94,7±4,9*	61
20 Cd <sup>2+</sup> , мг/л	71,1±7,8*	95,3±1,1*	57
50 Cd <sup>2+</sup> , мг/л	45,2±3,1*	87,1±0,3*	36
80 Cd <sup>2+</sup> , мг/л	30,5±3,6*	77,5±3,3*	24

Примечание: «–» – показатель не рассчитывается.

Однако, в целом увеличение концентрации кадмия (10, 20, 50 мг/л) вызывало торможение роста как корней (на 48,5; 53,6; 79,5 мм относительно контроля или 39, 43, 64%), так и побегов (на 13,5; 12,9; 21,1 мм или 12, 12, 20%).

Известно, что решающее значение для прорастания семян в условиях стресса имеют неферментативные компоненты, в основном связанные с перепроизводством антиоксидантов, в том числе ФС [10]. В данном исследовании наблюдали различный вклад свободных и связанных фракций в общее содержание ФС в проростках ячменя в контрольных и стрессовых условиях. При этом, как в корнях, так и побегах преобладали связанные ФС. Их доля от общего пула ФС в корнях практически не зависела от стрессовой нагрузки и составила 83,4–85,8%; в побегах – 73,9–81,7% (рис.).

Кадмиевый стресс (20, 50 мг/л) способствовал усилению выработки ФС в корнях (исключение – наиболее высокая концентрация кадмия в опыте – 80 мг/л), и, напротив, к снижению (без исключения) – в побегах.

Согласно ИДК критическими концентрациями (ИДК < 50%) кадмия для проростков ячменя в растворе явились 50 и 80 мг/л (табл.). В случае ФС, их большая (30 и 32 мг/г), по сравнению с контролем (26 мг/г), выработка в корнях произошла при 20 и 50 мг/л кадмия. Учитывая, что ФС часто играют роль антиоксидантов, повышение их содержания в корнях, находящихся в прямом взаимодействии с токсикантом, может являться ответной реакцией на окислительный стресс, вызванный действием токсиканта. Снижение содержания ФС до контрольного уровня при действии наиболее высокой концентрации кадмия (80 мг/л), вероятно указывает на исчерпание адаптивных механизмов, связанных с ограничением окислительных повреждений за счет ФС.

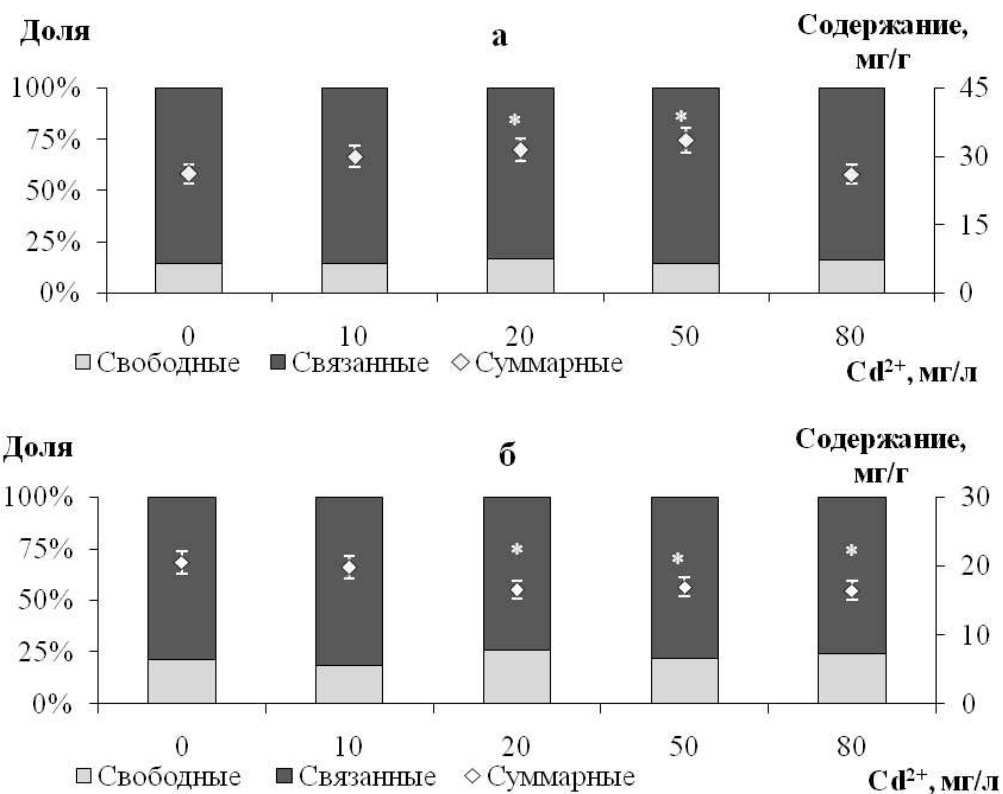


Рис. Массовая доля и общее содержание фенольных соединений в корнях (а) и побегах (б) ячменя

Таким образом, сопоставление морфометрических и биохимических показателей проростков ячменя позволило выявить взаимосвязь между структурными изменениями и функциональной реакцией на стресс, вызванный кадмием. Показатели ИДК и уровень содержания ФС в корнях можно рекомендовать в качестве эффективных критериев скрининга устойчивости растений ячменя к кадмиевому стрессу.

#### Библиографический список

1. Goncharuk E. A., Zagoskina N. V. Heavy Metals, Their Phytotoxicity, and the Role of Phenolic Antioxidants in Plant Stress Responses with Focus on Cadmium: Review. DOI: 10.3390/molecules28093921 // *Molecules*. 2023. Vol. 28. No. 9. Article No. 3921.
2. Determination of Physiochemical Characteristics Associated with Various Degrees of Cadmium Tolerance in Barley Accessions / N. A.-r. Tahir, D. D. Lateef, K. M. Mustafa et al. DOI: 10.3390/agronomy13061502 // *Agronomy*. 2023. Vol. 13. No. 6. Article No. 1502.
3. Шуплецова О. Н., Товстик Е. В. Аккумуляция кадмия и цинка регенерантами ячменя на провокационном почвенном фоне с кадмием. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-117-125 // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021. Т. 182, № 4. С. 117–125.
4. Подвижность в почве и накопление Zn и Cd в ячмене в условиях совместного загрязнения / Д. В. Крыленкин, В. С. Анисимов, Л. Н. Анисимова и др. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-1-009 // *Агрехимический вестник*. 2023. № 1. С. 56–63.
5. Sterckeman T., Thomine S. Mechanisms of Cadmium Accumulation in Plants. DOI: 10.1080/07352689.2020.1792179 // *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2020. Vol. 39. No. 4. P. 322–359.



6. Genetic variation in cadmium tolerance is related to transport and antioxidant activities in field peas (*Pisum sativum* L.) / M. F. Rahman, M. Islam, M. C. Begum et al. DOI: 10.1080/03650340.2016.1224859 // Archives of Agronomy and Soil Science. 2016. Vol. 63. No. 4. P. 578–585.
7. Hithamani G., Naveen J., Pushpalatha H. G. Phenolic Compounds: Stress Markers of Plants and Their Protective Role. DOI: 10.1201/9781003304869-12 // Plant Metabolites under Environmental Stress. Apple Academic Press, 2023. P. 249–276.
8. Косарева И. А. Изучение коллекции сельскохозяйственных культур и диких родичей по признакам устойчивости к токсическим элементам кислых почв // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 170. С. 34–44.
9. 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.
10. Proteomic insights into seed germination in response to environmental factors / L. Tan, S. Chen, T. Wang, S. Dai. DOI: 10.1002/pmic.201200394 // Proteomics. 2013. Vol. 13. No. 12–13. P. 1850–1870.

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

### ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНА РЕКИ ВЕТЛУГА ПО МАКРОЗООБЕНТОСУ

*П. В. Бедова, И. В. Чернова*  
*Марийский государственный университет, bedova@marsu.ru*

Впервые в Юринском районе Республики Марий Эл проведены гидробиологические исследования малых рек: Муза, Дябилиха, Арбаж, Кугай, Инея. Показано, что фауна изученных малых рек Юринского района довольно богата, количество видов варьировало от 29 видов в реках Дябилиха и Арбаж до 46 видов в реке Инея. Значения информационных индексов позволяют отнести зообентоценозы исследуемых малых рек к устойчивым, сбалансированным, за исключением реки Дябилиха. По значениям биотических индексов вода в реках относится к категории –  $\beta$ -мезосапробные воды.

Ключевые слова: макрозообентос, фауна, численность, биомасса, доминирующие виды, встречаемость, информационные индексы.

В Республике Марий Эл речные экосистемы изучались в ГПЗ «Большая Кокшага» [1], а также в Сернурском и Куженерском районах [2–4]. Среди малых рек Юринского района имеются данные только по реке Перше [5].

Целью данной работы было проведение оценки экологического состояния малых рек бассейна реки Ветлуга в Юринском районе по макрозообентосу.

Юринский район расположен в западной части Республики Марий Эл на левом берегу р. Волги. Река Кугай протекает в Воскресенском районе Нижегородской области и Юринском районе Республики Марий Эл. Длина реки составляет 23 км, площадь водосборного бассейна 122 км<sup>2</sup>. Река Инея протекает по территории Юринского района Республики Марий Эл. Длина реки составляет 25 км, площадь водосборного бассейна 110 км<sup>2</sup>. Река Арбаж является крупнейшим левым притоком реки Инея. Река Дябилиха является притоком реки Перша с устьем в центре села Васильевское. Река Муза является притоком реки Люнда [6].

Отбор гидробиологического материала проводился на реках Кугай, Дябилиха, Муза, Арбаж, Инея Юринского района Республики Марий Эл в летний период 2023 г. Сбор и обработка материала осуществлялись по стандартным методикам [7].

В результате проведенных исследований выяснилось, что наибольшее таксономическое разнообразие среди малых рек выявлено в реке Инея, макрозообентос насчитывает 46 видов, относящихся к 40 родам, 27 семействам, 16 отрядам, 8 классам и 4 типам. Наименьший таксономический состав в исследуемых малых реках был на реках Дябилиха и Арбаж, которые насчитывали по 29 видов макрозообентоса (табл. 1).

Таблица 1

**Таксономический состав макрозообентоса малых рек**

Река	Число видов	Число родов	Число семейств	Число отрядов	Число классов	Число типов
Кугай	37	32	26	17	9	5
Дябилиха	29	27	20	14	7	3
Муза	40	35	27	16	8	5
Арбаж	29	27	23	14	8	4
Инея	46	40	27	16	8	4

Во всех изучаемых реках наибольшей встречаемостью характеризовались 2 вида: *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) и *Nemoura cinerea* (Retzius, 1783).

Наибольшая средняя численность зафиксирована в реке Арбаж, которая составила  $120,0 \pm 9,33$  экз/м<sup>2</sup>. Наименьшая средняя численность отмечена в реке Дябилиха ( $88,0 \pm 4,79$  экз/м<sup>2</sup>).

Наибольшая средняя биомасса макрозообентоса зарегистрирована в реке Муза ( $7,46 \pm 0,69$  г/м<sup>2</sup>), а наименьшая в реке Дябилиха ( $5,20 \pm 0,52$  г/м<sup>2</sup>) (табл. 2). Кормность всех исследуемых рек (Кугай, Дябилиха, Муза, Арбаж, Инея) выше средней кормности.

Таблица 2

**Количественные характеристики макрозообентоса малых рек**

Река	Средняя численность (экз/м <sup>2</sup> )	Средняя биомасса (г/м <sup>2</sup> )	Индекс Шеннона (бит/экз)	Индекс Симпсона (бит/экз)
Кугай	$117,33 \pm 7,07$	$6,82 \pm 0,89$	$3,41 \pm 0,13$	$0,89 \pm 0,01$
Дябилиха	$88,0 \pm 4,79$	$5,20 \pm 0,52$	$2,94 \pm 0,07$	$0,85 \pm 0,01$
Муза	$109,33 \pm 8,47$	$7,46 \pm 0,69$	$3,24 \pm 0,80$	$0,88 \pm 0,01$
Арбаж	$120,0 \pm 9,33$	$5,33 \pm 0,81$	$3,09 \pm 0,06$	$0,86 \pm 0,01$
Инея	$99,87 \pm 8,63$	$6,48 \pm 0,84$	$3,20 \pm 0,14$	$0,87 \pm 0,01$

В изученных водоемах в общей биомассе доминируют представители класса Брюхоногие моллюски, которые составляют от 21,1 до 46,4%.

В общей численности во всех водоемах также значительна доля брюхоногих моллюсков и достигала до 24,8% от общей численности. В р. Арбаж наибольшую долю в общей численности имели представители класса Ракообразные (16,3%). В р. Дябилиха по численности доминировали представители отряда Веснянки, которые составили 15,6% от общей численности.

Оценка устойчивости донных сообществ рек Кугай, Дябилиха, Муза, Арбаж и Инея проводилась на основе анализа информационных индексов.

Биотопы исследуемых малых рек Юринского района характеризовались устойчивостью и сбалансированностью, кроме реки Дябилиха (она является самой маленькой по протяженности и в ней зарегистрирована наименьшая средняя численность и наименьшая средняя биомасса макрозообентоса) (табл. 2).

Для зообентоса реки Кугай Бельгийский биотический индекс равен 9, водоток едва испытывает влияние стоков. Индекс Пантле-Букка составил 2,83 –  $\beta$ -мезосапробные воды. Индекс Майера составляет 26 – чистые воды. Для зообентоса реки Дябилиха Бельгийский биотический индекс равен 10, водоток не испытывает влияния стоков. Индекс Пантле-Букка составил 2,73 –  $\beta$ -мезосапробные воды. Индекс Майера составляет 21 – чистые воды. Для зообентоса реки Муза Бельгийский биотический индекс равен 9, водоток едва испытывает влияние стоков. Индекс Пантле-Букка составил 2,82 –  $\beta$ -мезосапробные воды. Индекс Майера составляет 22 – чистые воды. Для зообентоса реки Арбаж Бельгийский биотический индекс равен 8, водоток испытывает влияния стоков. Индекс Пантле-Букка составил 2,75 –  $\beta$ -мезосапробные воды. Индекс Майера составляет 18 – чистые воды. Для зообентоса реки Инея Бельгийский биотический индекс равен 10, водоток не испытывает влияния стоков. Индекс Пантле-Букка составил 2,73 –  $\beta$ -мезосапробные воды. Индекс Майера составляет 23 – чистые воды.

Таким образом, по результатам исследований можно сделать следующие выводы: количество видов макрозообентоса в изученных малых реках Юринского района варьировало от 29 в реках Дябилиха и Арбаж до 46 в реке Инея. Во всех водоемах по частоте встречаемости доминировали мелкие рачки *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) и личинки веснянки *Nemoura cinerea* (Retzius, 1783). Наибольшая средняя численность зафиксирована в реке Арбаж ( $120,0 \pm 9,33$  экз/м<sup>2</sup>). По значениям средней биомассы все водоемы относятся к категории – выше средней кормности. Во всех водоемах наибольший вклад в общую биомассу внесли брюхоногие моллюски, в численность – брюхоногие моллюски, равноногие раки и личинки веснянок. Значения информационных индексов позволяют отнести зообентоценозы исследуемых малых рек к устойчивым, сбалансированным, за исключением реки Дябилиха. По значениям биотических индексов вода в реках относится к категории –  $\beta$ -мезосапробные воды.

#### Библиографический список

1. Бедова П. В. Структура макрозообентоса и оценка качества воды некоторых водоемов заповедника // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». 2008. № 3. С. 159–182.
2. Егوشي́на Е. Э., Бедова П. В. Современное состояние макрозообентоса реки Шаба // Современные проблемы медицины и естественных наук : материалы Всерос. науч. конф. Вып. 7. Йошкар-Ола, 2018. С. 215–219.
3. Иванова О. В., Бедова П. В. Фауна беспозвоночных животных реки Пича Новоторьяльского района Республики Марий Эл // Современные проблемы медицины и естественных наук : материалы Всерос. науч. конф. Вып. 6. Йошкар-Ола, 2017. С. 151–155.

4. Михеева А. А., Бедова П. В. Современное экологическое состояние реки Немда в районе поселка Куженер Республики Марий Эл // Актуальные проблемы состояния и рационального использования водных ресурсов : сб. статей региональной науч.-практ. конф., посвященной Дню воды. Йошкар-Ола, 2015. С. 185–190.

5. Бедова П. В., Бушуева И. В. Структурно-функциональные характеристики макрозообентоса реки Перша // Современные проблемы естественных наук и медицины : материалы Всерос. науч. конф. Вып. 9. Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, 2020. С. 129–132.

6. Иванов Н. В. География Марийской АССР. Йошкар-Ола : Марийское книжное изд-во, 1992. 104 с.

7. Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. Вып. 2. Л. : Гидрометеоздат, 1989. 276 с.

## **МОНИТОРИНГ РЕДКИХ ОХРАНЯЕМЫХ ВИДОВ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ В НЕКОТОРЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ**

*Г. А. Богданов<sup>1</sup>, П. В. Бедова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> ГПЗ «Большая Кокшага»,*

*<sup>2</sup> Марийский государственный университет, bedova@marsu.ru*

Проведены полевые исследования и анализ данных предыдущих лет по находкам редких охраняемых видов беспозвоночных животных на территории Медведевского, Звениговского, Волжского районов Республики Марий Эл. Отмечены точки нахождения 48 редких, нуждающихся в охране видов: насекомых – 42 вида, паукообразных – 2 вида, ракообразных – 1 вид, брюхоногих моллюсков – 1 вид, пиявок – 1 вид, ресничных червей – 1 вид. Обнаружены места обитания 2 видов находящихся под угрозой исчезновения; 10 видов сокращающихся в численности; 31 вида редких; 3 видов неопределенных по статусу; 2 видов восстанавливаемых и восстанавливающихся.

Ключевые слова: Красная книга, беспозвоночные животные, статус, охрана, насекомые, паукообразные, ракообразные, пиявки, брюхоногие моллюски, ресничные черви, находки.

Основной целью данной работы было изучение редких и исчезающих видов животных, включенных в Красную книгу Республики Марий Эл на территории Медведевского района, Волжского района, Звениговского района Республики Марий Эл.

В соответствии с поставленной целью решались задачи: проведение полевых исследований для уточнения и дополнения информации, содержащейся в Красной книге Республики Марий Эл «Животные» [1], необходимой для подготовки к переизданию Красной книги Республики Марий Эл том «Животные»; подготовка предложений о включении видов беспозвоночных животных в Красную книгу Республики Марий Эл.

Республика Марий Эл расположена на востоке Восточно-Европейской равнины в средней части бассейна реки Волги. С северо-востока с ней грани-

чит Кировская область, на юго-востоке Республика Татарстан, на юге Республика Чувашия, на западе Нижегородская область [2].

Муниципальное образование «Волжский муниципальный район» расположен в юго-восточной части Республики Марий Эл [3].

Муниципальное образование «Звениговский муниципальный район» расположен на левом берегу реки Волги и граничит с юга по Волге с Республикой Чувашия [4].

Муниципальное образование «Медведевский муниципальный район» расположен в центральной части территории Республики Марий Эл и окружает муниципальное образование Городской округ «Город Йошкар-Ола» [5].

Материалом для данной работы послужили результаты полевых исследований животных, проведенных в мае-сентябре 2024 г. В работе использовались также материалы ранних наблюдений (с 2016 г.).

Качественные сборы насекомых проводили с помощью энтомологического сачка. Работы на водных объектах проводились с использованием гидробиологического сачка и резиновой лодки.

В результате проведенных полевых исследований и обобщения ранее полученных данных выяснили, что на территории исследуемых районов зарегистрировано обитание 48 видов редких охраняемых беспозвоночных. Список приведен в таблице 1.

Таблица 1

**Список редких видов, зарегистрированных на исследуемой территории**

Беспозвоночные животные Invertebrates		
Тип Членистоногие Arthropoda		
Класс Насекомые Insecta		
1	2	3
1.	Красотка-девушка	<i>Calopteryx virgo</i> (Linnaeus, 1758)
2.	Дозорщик-император	<i>Anax imperator</i> Leach, 1815
3.	Сжатобрюх предгорный	<i>Sympetrum pedemontanum</i> Müller in Allioni, 1766
4.	Пластинокрыл серпоносный	<i>Phaneroptera falcata</i> (Poda, 1761)
5.	Цикада горная	<i>Cicadetta montana</i> Scopoli, 1772
6.	Ранатра палочковидная	<i>Ranatra linearis</i> (Linnaeus, 1758)
7.	Мегахила округлая	<i>Megachile rotundata</i> (Fabricius, 1787)
8.	Пчела-плотник	<i>Xylocopa valga</i> Gerstaecker, 1872
9.	Шмель моховой	<i>Bombus muscorum</i> (Fabricius, 1775)
10.	Шмель пятнистоспинный	<i>Bombus maculidorsis</i> (Skorikov, 1922)
11.	Шмель Шренка	<i>Bombus schrencki</i> F. Morawitz, 1881
12.	Скакун лесной	<i>Cicindela sylvatica</i> (Linnaeus, 1758)
13.	Копр лунный	<i>Copris lunaris</i> (Linnaeus, 1758)
14.	Навозник весенний	<i>Trypocopris vernalis</i> (Linnaeus, 1758)
15.	Отшельник кожевенный	<i>Osmoderma coriarium</i> (De Geer, 1774)
16.	Бронзовка гладкая	<i>Protaetia aeruginosa</i> (Drury, 1770)
17.	Бронзовка мраморная	<i>Protaetia marmorata</i> (Fabricius, 1792)
18.	Краснонадкрыл Келера	<i>Purpuricenus kaehlerii</i> (Linnaeus, 1758)
19.	Крепкоголовка Палемон	<i>Carterocephalus palaemon</i> (Pallas, 1771)
20.	Разнокрылка Морфей	<i>Heteropterus morpheus</i> (Pallas, 1771)
21.	Хвостносец Махаон	<i>Papilio machaon</i> Linnaeus, 1758

1	2	3
22.	Ификлид Подалирий	<i>Iphiclides podalirius</i> (Linnaeus, 1758)
23.	Зеринтия Поликсена	<i>Zerynthia polyxena</i> ([Denis et Schiffermüller], 1775)
24.	Парусник Мнемозина	<i>Parnassius mnemosyne</i> (Linnaeus, 1758)
25.	Парусник Аполлон	<i>Parnassius apollo</i> (Linnaeus, 1758)
26.	Хвостатка вязовая	<i>Nordmannia w-album</i> (Knoch, 1782)
27.	Червонец бурый	<i>Lycaena tityrus</i> (Poda, 1761)
28.	Червонец непарный	<i>Lycaena dispar</i> (Haworth, 1802)
29.	Переливница большая	<i>Apatura iris</i> (Linnaeus, 1758)
30.	Шашечница Феба	<i>Melitaea phoebe</i> ([Denis et Schiffermüller], 1775)
31.	Чернушка эфиопка	<i>Erebia aethiops</i> (Esper, [1777])
32.	Чернушка Лигея	<i>Erebia ligea</i> (Linnaeus, 1758)
33.	Бархатница Дриада	<i>Satyrus dryas</i> (Scopoli, 1763)
34.	Крупноглазка Ахина	<i>Lopinga achine</i> (Scopoli, 1763)
35.	Шелкопряд березовый	<i>Endromis versicolora</i> (Linnaeus, 1758)
36.	Павлиний глаз малый ночной	<i>Eudia pavonia</i> (Linnaeus, 1758)
37.	Шмелевидка скабиозовая	<i>Hemaris (Haemorrhagia) tityus</i> (Linnaeus, 1758)
38.	Ленточница голубая	<i>Catocala fraxini</i> (Linnaeus, 1758)
39.	Ленточница малиновая	<i>Catocala sponsa</i> (Linnaeus, 1767)
40.	Медведица-госпожа	<i>Callimorpha dominula</i> (Linnaeus, 1758)
41.	Лжепестрянка черноусая	<i>Syntomis nigricornis</i> Alpheraky, 1883
42.	Ляфрия горбатая	<i>Laphria gibbosa</i> (Linnaeus, 1758)
Класс Паукообразные Arachnida		
43.	Тарантул южнорусский	<i>Lycosa singoriensis</i> (Laxmann, 1770)
44.	Эрезус чёрный	<i>Eresus cinnaberinus</i> (Olivier, 1789)
Класс Ракообразные Crustacea		
45.	Щитень летний	<i>Triops cancriformis</i> (Bosc, 1801)
Тип Моллюски Mollusca		
Класс Брюхоногие моллюски Gastropoda		
46.	Слизень черно-синий	<i>Limax cinereoniger</i> Wolf, 1803
Тип Кольчатые черви Annelida		
Класс Пиявки Hirudinea		
47.	Пиявка медицинская	<i>Hirudo medicinalis</i> (Linnaeus, 1758)
Плоские черви Plathelminthes		
Класс Ресничные черви Turbellaria		
48.	Планирия молочно-белая	<i>Dendrocoelum lacteum</i> Müller, 1774

Кроме того, составлен список беспозвоночных животных предлагаемых для включения в Красную книгу Республики Марий Эл: пелопей обыкновенный – *Sceliphron destillatorium* (Illiger, 1807); батозонеллус ящеричный – *Batozonellus lacerticida* (Pallas, 1771); бембекс носатый – *Bembix rostrata* (Linnaeus, 1758); эписирон arrogant – *Episyron arrogans* (Smith, 1873); сфекс погребальный или зубчатый – *Sphex funerarius* Gussakovskij, 1934; сколия степная – *Scolia hirta* (Schrank, 1781); шерстобит флорентийский – *Anthidium florentinum* (Fabricius, 1775); целиоксис конусовидный – *Coelioxys conoidea* (Illiger, 1806); пестроглазка Галатея – *Melanargia galathea* (Linnaeus, 1758); желтушка ша-

франовая – *Colias croceus* (Geoffroy, 1785); желтушка торфяниковая – *Colias palaeno* (Linnaeus, 1761); зефир берёзовый – *Thecla betulae* (Linnaeus, 1758); зефир дубовый – *Neozephyrus quercus* (Linnaeus, 1758); пеструшка Сапфо – *Neptis sappho* Pallas, 1771; болория северная – *Boloria aquilonaris* Stichel, 1908; рогач однорогий – *Sinodendron cylindricum* (Linnaeus, 1758); бронзовка Фибера – *Protaetia fieberi* (Kraatz, 1880); аргиопа Брюнниха – *Argiope bruennichi* (Scopoli, 1772).

По итогам проведенных полевых исследований на территории Медведевского, Звениговского, Волжского районов и анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

Всего отмечены точки нахождения 48 редких, нуждающихся в охране видов животных. Из них насекомых – 42 вида, паукообразных – 2 вида, ракообразных – 1 вид, брюхоногих моллюсков – 1 вид, пиявок – 1 вид, ресничных червей – 1 вид.

Обнаружены места обитания 2 видов со статусом 1 – находящиеся под угрозой исчезновения; 10 видов со статусом 2 – сокращающиеся в численности виды; 31 вида со статусом 3 – редкие виды; 3 видов со статусом 4 – неопределенные по статусу виды; 2 видов со статусом 5 – восстанавливаемые и восстанавливающиеся виды.

Из класса Насекомые в Медведевском районе зарегистрировано 35 видов; в Звениговском районе зарегистрировано 4 вида; в Волжском районе зарегистрирован 21 вид. Всего зафиксирована 231 встреча. В Медведевском районе – 163; в Звениговском районе – 15; в Волжском районе – 53.

Из класса Паукообразные обнаружено два вида: тарантул южнорусский в Звениговском районе, эрезус черный в Медведевском районе. Из класса Ракообразные в Волжском районе зарегистрировано обитание щитня летнего. На территории исследуемых районов выявлены местообитания слизня черно-синего. В Медведевском районе – 9; в Звениговском районе – 1; в Волжском районе – 1.

В Волжском районе в озере Конаньер подтверждено обитание пиявки медицинской. На исследуемой территории зафиксирован редкий червь из класса Ресничные черви – планария молочно-белая, которая отмечена в Волжском и Медведевском районах.

На территории исследуемых районов обнаружены места обитания 18 видов беспозвоночных животных, предлагаемых для включения в Красную книгу Республики Марий Эл.

*Работа выполнена в рамках ГК № 10/А/2024 от 22.04.2024 года «Изучение редких и исчезающих видов животных, включенных в Красную книгу Республики Марий Эл».*

*В работе использованы данные находок редких видов следующих авторов: В. Н. Шулаева, Н. Е. Степановой, М. Э. Степановой, Н. Ю. Тимофеева, М. Ю. Тимофеевой, В. А. Бакутова, Н. Борисовой, Е. Синдеевой, П. Н. Васильева, В. Бобрикова, К. Воронцова, В. Короткова, С. Сошникова, С. В. Маланова, И. А. Ошуева, А. Полевщикова, Г. Н. Новожиловой, С. Русова, О. Бабенко,*



Т. Яшиной, Н. Ивановой, Т. Порхановой, Г. Цивликовой, Л. Майоровой, Н. Ильина, С. Уколовой, А. Говорухина, Н. Товашовой, М. В. Мичуковой, Т. В. Шпарбер, Т. Костроминой, А. И. Толстова, В. А. Рузановой, Д. Вайцмара, Г. Белоненко, Т. Бахтиной, Л. Тимургалиевой, А. Трубникова.

#### Библиографический список

1. Красная книга Республики Марий Эл. Том Животные. Йошкар-Ола : МарГУ, 2016. 256 с.
2. Иванов Н. В. География Марийской АССР. Йошкар-Ола : Марийское книжное изд-во, 1992. 104 с.
3. Схема территориального планирования муниципального образования «Волжский муниципальный район» [Электронный ресурс] – URL: <https://rvolzsk.ru/shemy-territorialnogo-planirovaniya-volzhsкого-rayona> (дата обращения: 20.10.2024).
4. Генеральный план муниципального образования «Кокшайское сельское поселение» Звениговского муниципального района Республики Марий Эл. [Электронный ресурс] – URL: <http://admzven.ru/kokshaisk/generalnyj-plan-poselenija> (дата обращения: 20.10.2024).
5. Схема территориального планирования муниципального образования «Медведевский муниципальный район» [Электронный ресурс] – URL: <http://medvedevo-12.ru/regulatory/gradostr/?ysclid=m4172kwtxj985742913> (дата обращения: 20.10.2024).

### ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БАТРАХОФАУНЫ НА ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦЫНА

О. С. Вихарева<sup>1</sup>, Л. М. Мурадова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Костромской государственной университет,

<sup>2</sup> Государственный природный заповедник

«Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына,

[lolovihareva@yandex.ru](mailto:lolovihareva@yandex.ru), [mlv44@mail.ru](mailto:mlv44@mail.ru)

В данной статье приводятся результаты исследования состояния батрахофауны на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына за 2023–2024 гг. Приведена половая и возрастная структура популяций *Rana temporaria* и *Bufo bufo*, определены морфометрические параметры и индексы, абсолютная плодовитость особей разных возрастов. Стабильность развития популяций оценивалась по показателям флуктуирующей асимметрии билатерально расположенных признаков.

Ключевые слова: биоиндикация, амфибии, батрахофауна, морфометрия, флуктуирующая асимметрия, *Rana temporaria*, *Bufo bufo*, заповедник «Кологривский лес».

Одним из методов оценки состояния окружающей среды является биомониторинг, который применяется для отслеживания изменений в экосистеме при помощи организмов-биоиндикаторов. Земноводные часто используются в биоиндикации, так как обладают необходимыми признаками

для исследования: относительным долголетием, обитанием в двух средах – водной и наземно-воздушной, отсутствием миграционной активности, примитивностью строения и высокой чувствительностью к абиотическим факторам и изменениям в среде. Амфибии реагируют на внешние стимулы и стрессоры изменениями в возрастной, половой структуре и морфометрических показателях. Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына является территорией со строгим режимом охраны и может считаться эталоном экологического состояния, так как отсутствует прямой антропогенный пресс на фито- и зооценозы. На территории заповедника обитают четыре вида бесхвостых амфибий: лягушка травяная – *Rana temporaria* (Linnaeus, 1758), лягушка остромордая – *Rana arvalis* (Nilsson, 1842), лягушка прудовая – *Rana lessonae* (Camerano, 1882), жаба обыкновенная – *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758). Целью работы была оценка состояния популяций амфибий на территории заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына.

Исследование проводили в летний период 2023 и 2024 гг. Отлов особей производился методом ручного сбора в вечернее время на двух маршрутах протяженностью в 1 км в пойме р. Сехи. Растительные сообщества по берегам реки были разного характера. Маршрут № 1 представлен следующими растительными сообществами: березняк осиновый с подростом из ели, осинник березовый высокотравный с подростом из рябины и ели, смешанный лес, ельник березовый с подростом из рябины. В фитоценозе маршрута № 2 присутствовали ельник брусничник, ельник черничник, березняк еловый высокотравный с подростом из рябины и малины. На маршруте присутствовало большое количество подтоплений и канав. За время исследования было отловлено 240 особей земноводных, которые относились к 3 видам – *Bufo bufo*, *Rana temporaria* и *Rana arvalis*. Плотность особей на маршруте протяженностью в 1 км определялась по следующей формуле:

$$N_1 = n \times 1000 / L \text{ (экз. на 1 км)},$$

где  $N_1$  – относительная численность на 1 км,  $n$  – количество учтенных на маршруте особей данного вида,  $L$  – длина пройденного маршрута в метрах [1]. Исследование морфометрических признаков проводилось с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм по методике Ищенко [2]. Интегральную оценку стабильности развития популяции проводили по показателю флуктуирующей асимметрии по методике Захарова [3]. Для оценки нарушения стабильности развития были использованы билатеральные признаки окраски травяной лягушки (число полос и пятен на бедре, голени стопе, число пятен на спине, число белых пятен на плантарной стороне пальцев задней конечности). В качестве показателя асимметрии рассчитывалась средняя частота асимметричного проявления на признак по формуле:

$$\text{ЧАПП} = \Sigma A / NM,$$

где  $A$  – число асимметричных признаков у отдельных особей;  $N$  – число особей в выборке;  $M$  – число анализируемых признаков [3]. Абсолютную

плодовитость (АП) определяли весовым методом. Яичник взвешивался, отделялась небольшая навеска, в которой икринки подсчитывались поштучно. Полученное число пересчитывается на всю массу яичников [4, 5].

В 2023 г. в видовой структуре амфибий преобладали особи *Bufo bufo* – 67%, *Rana temporaria* – 29%, *Rana arvalis* – 4%. В 2024 г. соотношение изменилось: *Bufo bufo* – 60%, *Rana temporaria* – 39%, *Rana arvalis* – 1%. Плотность амфибий на маршрутах в годы исследования была невысокая, а распространение по площади – неравномерным. В 2023 г. плотность *Bufo bufo* составила 17,9 экз./га, *Rana temporaria* – 8,8 ос./га. На обоих маршрутах доминировали особи *Bufo bufo*, от 12 экз./км на маршруте № 1 до 26 экз./км на маршруте № 2. Особи *Rana temporaria* встречались реже – от 5 экз./км (маршрут № 1) до 9 экз./км (маршрут № 2). Лягушки более влаголюбивы, чем жабы, потому чаще встречались на более влажной территории маршрута № 2 с канавами и подтоплениями [6]. В 2024 г. плотность особей увеличилась: *Bufo bufo* – 33,8 экз./га, *Rana temporaria* – 21,3 экз./га. Доминирование *Bufo bufo* на обоих маршрутах сохранилось, от 37 экз./км (на маршруте № 1) до 25 экз./км (на маршруте № 2).

Морфометрические показатели играют очень важную роль при характеристике благополучия популяции, так как с их помощью можно определить динамику изменения размеров тела и его частей, нарушение процессов онтогенеза, обеспеченность кормовой базой. Соответствие или несоответствие морфометрических показателей физиологической норме свидетельствует о степени приспособленности и устойчивости организма к изменяющимся условиям среды обитания [7, 8]. В результате исследования были установлены морфометрические показатели особей *Bufo bufo* (табл. 1).

Таблица 1

**Морфометрические показатели *Bufo bufo* в 2023–2024 гг.**

Промеры (мм)	2023		2024	
	X±Sx	C <sub>v</sub> (%)	X±Sx	C <sub>v</sub> (%)
L	67,6±4,2	25	73,3±2,9	19
L.c	12,0±0,7	25	12,7±0,8	31
Lt.c	23,3±1,7	31	24,8±1,3	25
D.r.o	7,4±0,8	47	9,0±0,6	33
L.o	5,1±0,3	26	5,6±0,3	27
L.tym	2,5±0,3	52	1,7±0,2	64
Sp.oc	8,8±0,6	28	8,6±0,6	36
F	22,0±1,4	26	27,7±1,5	26
T	23,3±1,5	26	25±1,1	22
D.p	3,5±0,3	37	3,8±0,2	24
C.int	2,3±0,2	39	2,4±0,2	33

В 2023 г. средний размер тела половозрелой особи *Bufo bufo* составил 67,6 мм при массе тела – 24,2 г. В 2024 г. размер тела увеличился на 8,4% и составил 73,3 мм при массе тела – 42,2 г. Коэффициент вариации размерных показателей указывает на однородность популяции по данным признакам.

Все остальные морфометрические параметры закономерно увеличились, кроме L.tym (максимальная длина барабанной перепонки) и Sp.oc (расстояние между передними краями глазных отверстий). Разница показателей по t-критерию Стьюдента достоверна (при  $p < 0,05$ ).

Размеры самцов и самок отличались, самки были достоверно крупнее самцов – в 2023 г. на 36,5% по длине тела и на 31,2% по массе тела, в 2024 г. – на 26,1% и 61,3% соответственно. Большинство самок были с икрой.

В результате исследования были установлены морфометрические показатели особей *Rana temporaria* (табл. 2).

Таблица 2

**Морфометрические показатели *Rana temporaria* в 2023–2024 гг.**

Промеры (мм)	2023		2024	
	X±Sx	C <sub>v</sub> (%)	X±Sx	C <sub>v</sub> (%)
L	65,0±3,0	14	65,7±2,5	13
L.c	13,0±0,9	22	13,3±0,8	20
Lt.c	21,4±1,0	15	21,7±1,0	15
D.r.o	7,8±0,4	17	9,8±0,8	27
L.o	5,4±0,2	13	5,3±0,2	14
L.tym	4,2±0,3	26	3,8±0,2	18
Sp.oc	7,9±0,4	18	8,0±0,5	20
F	28,0±1,3	14	31,5±1,4	14
T	32,8±1,9	18	33,7±1,3	12
D.p	6,3±0,7	37	3,4±0,3	30
C.int	2,4±0,2	29	1,8±0,3	49

В 2023 г. средний размер тела половозрелой особи *Rana temporaria* составил 65 мм при массе тела в 27,5 г. В 2024 г. длина тела практически не изменилась – 65,7 мм, масса тела уменьшилась на 4,4% и составила 26,3 г. Все остальные морфометрические показатели увеличились, кроме L.o (длина глаза), L.tym (максимальная длина барабанной перепонки), D.p (длина первого пальца задней конечности), C.int (длина внутреннего пяточного бугра). Статистически достоверная разница по t-критерию Стьюдента установлена по показателям D.r.o (длина от переднего края глазного отверстия до кончика морды) и D.p (длина первого пальца задней конечности).

В 2023 г. самцы были крупнее на 5,7% и весили на 2,2% больше чем самки. В 2024 г. самцы были крупнее на 6,3% по длине тела и весили больше на 24,1% чем самки.

Возрастная структура характеризует устойчивость популяции на определенной территории. При благоприятных условиях среды обычно представлены все возрастные категории с преобладанием молодых особей [9]. Возрастная структура *Bufo bufo* была представлена всеми возрастными группами. В 2023 г. преобладали неполовозрелые особи, с длиной тела менее 50 мм – 68%, количество взрослых особей составило 32%. В 2024 г. соотношение возрастных групп в популяции *Bufo bufo* изменилось: количество неполовозрелых особей составило – 72%, взрослых особей – 28%.

В популяции *Rana temporaria* в 2023 г. преобладали взрослые половозрелые особи – 68%, неполовозрелые особи – 32%. В 2024 г. чаще встречались неполовозрелые особи, с преобладанием сеголеток, их количество составило 80%, взрослые особи – 20%.

Половая структура является лабильным, специфическим показателем, отражающим генетическое, онтогенетическое и биогеоценотическое влияние на популяцию и может быть использована для характеристики ее репродуктивных возможностей и благополучия. Соотношение самок и самцов в популяции 1:1 повышает вероятность встречи двух разнополых особей и увеличивает репродуктивный потенциал популяции, так как один самец способен оплодотворить несколько самок [10]. В 2023 г. в популяции *Bufo bufo* преобладали самцы, половое соотношение составило 1:3,2. В 2024 г. количество самцов и самок стало одинаковым, соотношение 1:1. Таким образом, состояние популяции благополучное, репродуктивный потенциал вида на данной территории увеличился. В популяции *Rana temporaria* преобладали самцы, половое соотношение в 2023 г. – 1:4, 2024 г. – 1:2. Такое соотношение неблагоприятно для популяции, так как уменьшение самок может привести к снижению репродуктивного потенциала и численности.

Стабильность развития амфибий определяли по показателю флуктуирующей асимметрии билатерально расположенных признаков окраски и остеологии [2]. В результате исследования были определены показатели частоты асимметричного проявления признаков (ЧАПП). Показатель ЧАПП в 2023 и 2024 гг. составил 0,35 и 0,28, соответственно. Значение, не превышающее 0,39, соответствует 1 баллу по пятибалльной шкале оценки стабильности развития, указывает на незначительное число асимметричных признаков и свидетельствует об условно нормальном развитии особей на территории заповедника.

Способность особей воспроизводить потомство характеризуется плодовитостью или количеством икринок у самки. Максимальная плодовитость обеспечивается ранним возрастом самки, климатическими условиями, наибольшим размером тела [11]. В результате исследования была определена плодовитость *Bufo bufo* (табл. 3).

Таблица 3

**Абсолютная плодовитость *Bufo bufo* в 2024 г.**

Возрастная группа	Диапазон особи, мм	Средний размер тела, мм	Средняя масса особи, г	Количество плодовитых особей в группе, %	Плодовитость, шт. X±Sx
1	59–77,4	69,0	37,1	0	0
2	77,5–91,9	88,8	68,1	100	3354,9±1160,5
3	92,0–95,6	93,8	75,4	100	2190,5±212

Самок *Bufo bufo* условно мы разделили на 3 возрастных группы, различающихся по размеру. Икра была обнаружена у особей, принадлежащих ко 2 и 3 возрастной группе, со средним размером тела 88,8 мм и 93,8 мм при массе тела в 68,1 г и 75,4 г соответственно. Средняя плодовитость особей

2 возрастной группы составила 3354,9 шт. икринок, особей 3 возрастной группы – 2190,5 шт. икринок, что указывает на постепенное снижение репродуктивного потенциала с возрастом самки [12].

Таким образом, в результате исследования было установлено, что состояние популяции *Bufo bufo* в 2023–2024 гг. относительно стабильное, условия обитания на территории заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына благоприятные. Сокращение количества самок в половой структуре популяции *Rana temporaria* указывает на снижение репродуктивного потенциала и более неустойчивое положение данного вида в экосистеме.

#### Библиографический список

1. Щербак Н. Н. Количественный учёт // Руководство по изучению земноводных и пресмыкающихся. Киев, 1989. С. 120–125.
2. Ищенко В. Г. Динамический полиморфизм бурых лягушек фауны СССР. М. : Наука, 1978. 148 с.
3. Захаров В. М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход) / отв. ред. А. В. Яблоков. М. : Наука, 1987. 216 с.
4. Основы ихтиологии. Сборник классических методов ихтиологических исследований для использования в аквакультуре / Г. К. Плотников, Т. Ю. Пескова, А. Шкуте и др. Даугавпилс : Сауле, 2018. 253 с.
5. Loman J. Local variation in *Rana temporaria* egg and clutch size: adaptation to pond drying? // *Alytes*. 2001. Vol. 19. No. 1. P. 45–52.
6. Банников А. Г. Жизнь животных. М. : Просвещение, 1969. Т. 4. Ч. 2. 478 с
7. Сиротина М. В. Морфометрические показатели популяции травяной лягушки заповедника «Кологривский лес» // Вестник КГУ имени Н. А. Некрасова. 2012. № 1. С. 18–20.
8. Тёщина О. С, Мурадова Л. В. Оценка состояния популяции лягушки травяной (*Rana temporaria*) по комплексу признаков // Белозёровские чтения : материалы Всерос. (с междунар. участием) науч.-практ. конф., посвященной 120-летию со дня рождения ученого-флориста П. И. Белозёрова. Кострома : КГУ, 2020. С. 196–200.
9. Клеткина М. С, Мурадова Л. В. Характеристика популяции травяной лягушки (*Rana temporaria*) и остромордой лягушки (*Rana arvalis*) на территории Мантуровского участка ГПЗ «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 347–352.
10. Лебединский А. А., Поморина Е. Н. Некоторые особенности популяции травяной лягушки в связи с её обитанием на урбанизированной территории // Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. 2008. № 2. С. 91–95.
11. Банников А. Г. Об особенностях и сроках размножения бесхвостых земноводных различных биологических групп // Учен. зап. МГПИ имени В. П. Потемкина. 1957. Т. 65, № 3. С. 103–107.
12. Корзиков В. А. К изучению плодовитости серой жабы *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758) // Вестник ТГУ. 2013. Т. 18, № 6. С. 3017–3018.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ РЕДКИХ И НАХОДЯЩИХСЯ ПОД УГРОЗОЙ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ ВИДОВ РЫБ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

*А. К. Куватов*<sup>1,2</sup>, *Ф. Б. Соатова*<sup>1</sup>, *М. Т. Шербутаева*<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> “Alfraganus university” Республика Узбекистан,  
<sup>2</sup> Ташкентский государственный аграрный университет,  
*asqarquvatovxabb@mail.ru*

В статье представлен краткий анализ морфологических характеристик 6 видов рыб, занесенных в Красную книгу Республики Узбекистан. Наблюдения проводились в полевых условиях, при которых они не были изъятые из среды природы. Представлена характеристика водоемов в которых проводили ихтиологические исследования.

Ключевые слова: *Salmo oxianus*, *Luciobarbus conocephalus*, *Alburnus oblongus*, *Sabanejewia aralensis*, *Glyptosternon oschanini*, *Cottus jaxartensis*.

Первые ихтиологические исследования видов рыб, распространенных в водоёмах Центральноазиатского региона, в частности в Республике Узбекистан, были проведены Н. Варпаховским, С. Герсенштейном [1]. Дальнейшие научные исследования отражены в работах К. Ф. Кесслера, [2] Л. С. Берг [3]. Современные данные представлены в работах У. Т. Мирзаева [4], А. К. Куватова [5].

Материалы были собраны из различных водных объектов республики в течение 2019–2023 гг., в частности, р. Амударья (Кашкардинская область), р. Угам, р. Пском, р. Шерабад (табл.).

Таблица

**Видовой состав ихтиологических образцов,  
использованных в исследовании, и акватории их сбора**

№	Таксон	Территория	Водоём
1	2	3	4
Семейство Salmonidae			
1	<i>Salmo oxianus</i> Kessler, 1874	Кашкардинская область	Каршинский магистральный канал
Семейство Cyprinidae			
2	<i>Luciobarbus conocephalus</i> Kessler, 1872	Ташкентская область	Нижнее течение р. Чирчик
3	<i>Alburnus oblongus</i> Bulgakov, 1923	Ташкентская область	Среднее течение р. Чирчик
Семейство Cobitidae			
4	<i>Sabanejewia aralensis</i> Kessler, 1877	Ташкентская и Сурхандарьинская области	р. Чирчик, р. Шерабад

1	2	3	4
Семейство Sisoridae			
5	<i>Glyptosternon oschanini</i> Herzenstein, 1889	Ташкентская область	р. Угам
Семейство Cottidae			
6	<i>Cottus jaxartensis</i> Berg, 1916	Ташкентская область	р. Угам, р. Пском

Морфологические параметры отобранных образцов оценивали по общепринятыми ихтиологическими методами [6].

Результаты исследования.

Туркестанский сомик – *Glyptosternon oschanini*, Herzenstein, 1889

Обитает в верхнем течении р. Амударьи, бассейне р. Сырдарьи (Нарын, Карадарья, Чирчик), р. Инд и Тарым [7, 8]. Обитает в относительно теплых, с медленным течением, прозрачных, не очень глубоких (20–30 см) реках, под небольшими естественными камнями и среди мелких камушек (частично погружаясь в них). Очень чувствителен к внешним воздействиям. Малоподвижен. Окраска тела у молодых особей в основном темно-коричневая, у взрослых особей темно-серая. В настоящее время внесён в Красную Книгу Республики Узбекистан как «сокращающийся, мозаично распространённый, горный азиатский эндемичный вид» (2VU:D – КК РУз) [9].

Чаткальский подкаменьщик – *Cottus jaxartensis* Berg, 1916

Обитает в реке Угам в бассейне р. Чирчик [3]. На голове и лбу есть хорошо развитые шипы. Окраска тела обычно темно-коричневая. В настоящее время внесён в Красную Книгу Республики Узбекистан как «сокращающийся, локально распространённый Западно-Тянь-Шаньский эндемичный реликтовый вид» (2VU:D – КК РУз) [9].

Туркестанский усач – *Luciobarbus conocephalus* Kessler, 1872

Обитает в бассейне р. Зарафшан [2]. В настоящее время внесён в Красную Книгу Республики Узбекистан как «сокращающийся, аральский эндемичный подвид» (2VU:D – КК РУз) [9].

Ташкентская верховодка – *Alburnus oblangus* Bulgakov, 1923

Обитает в бассейне р. Сырдарьи: р. Чирчик (Ташкентская область), р. Бадам (бассейн р. Арис) [7, 8]. Анальный плавник имеет слегка выемчатое окончание. Черная линия проходит от середины жаберной крышки до середины хвостового плавника, и эта линия гармонирует с цветом верхней части тела, образуя темно-коричневый цвет. В настоящее время внесён в Красную Книгу Республики Узбекистан как «сокращающийся, сырдарьинский локально распространённый эндемичный вид» (2VU:D – КК РУз) [9].

Аральская шиповка – *Sabanejewia aralensis* Kessler, 1877

Обитает в бассейнах р. Амударьи и Сырдарьи (р. Чирчик) [10]. Туловище слегка и равномерно поджато с боков. На теле имеются пятна разного размера, цвет которых представляет тело в беловатом оттенке. В



настоящее время внесён в Красную Книгу Республики Узбекистан как «находится в состоянии близком к исчезновению, аральский эндемичный подвид – 3 (NT) КК РУз [9]. Включён в критерий МСОП [LC]».

Результаты измерений количества лучей на плавниках: анальный III 5 штук, на груди I 7–8 штук, на брюхе I–II 6 штук, на хвосте 21–22 штуки.

Амударьинская форель – *Salmo oxianus* Kessler, 1874

Обитает в основном притоке р. Амударьи, с северной стороны – в р. Кизилсу и р. Сурхаб [11]. Тело покрыто ярко-красными и синими пятнами. В настоящее время внесён в Красную Книгу Республики Узбекистан как «сокращающийся, амударьинский эндемичный реликтовый подвид» (2VU:D – КК РУз) [9].

Результаты измерений следующие: количество лучей на плавниках; на плечах III 9–10 штук, анальный III 7–8 штук, на груди I 12 штук, на брюхе I–II 7–8 штук, на хвосте 29–30 штуки (в среднем 31), количество мелких чешуек на боковой линии составляет 114–126 штук (в среднем 118).

По литературным сведениям [4, 12] меристические признаки *Glyptosternon oschanini*: на плечевых плавниках I 6 штук, анальный плавник II–III 5 штук, на грудном плавнике I 11 шт. (2019, I 10) штук, на брюшном плавнике I 5 штук. Меристические признаки *Cottus jaxartensis*: на первом плечевом плавнике 7–8 штук, на втором плечевом плавнике 16–18 штук, анальный плавник II 13 штук, на грудных плавниках 13–14 штук, на брюшном I 4 штук, количество мелких чешуек на боковой линии составляет 32–35 штук. Меристические признаки *Luciobarbus conocephalus*: на плечевых плавниках III–IV 7–9 штук, анальный плавник III 4–6 штук; меристические признаки *Alburnus oblangus*: на плечевых плавниках III 8 штук, анальный плавник III 10–11 штук, количество мелких чешуек на боковой линии составляет 50–55 штук [13]. Меристические признаки *Sabanejewia aralensis*: на плечевых плавниках II–III 6–7 шт. (II 6), анальный плавник II–III 5–6 (II 5), [14]. Меристические признаки *Salmo oxianus*: на плечевых плавниках III–IV 9–11, анальный плавник III 8, на брюшном плавнике II 8 штук, на грудном плавнике II 11–12, количество мелких чешуек на боковой линии составляет 105–120 штук [11].

Таким образом представлен краткий морфологический анализ 6 охраняемых видов, таких как *Glyptosternon oschanini*, *Cottus jaxartensis*, *Luciobarbus conocephalus*, *Alburnus oblangus*, *Salmo oxianus* и *Sabanejewia aralensis*, внесённых в Красную Книгу Республики Узбекистан [9] и обитающих в различных водоёмах республики. При сравнении с литературными данными морфологических отличий не обнаружено.

#### Библиографический список

1. Варпаховский Н., Герценштейн С. М. Заметка по ихтиологии бассейна река Амура и прилежащих стран. СПб. : тип. В. Демакова, 1887. С. 3–66.
2. Кесслер К. Ф. Рыбы. СПб., М. : тип. М. Стасюлевича, 1874. 63 с.
3. Берг Л. С. Рыбы пресных вод Российской империи. М. : тип. т-ва Рябушинских, 1916. 563 с.

4. Мирзаев У. Т. Экология рыб Чаткальского заповедника // Труды заповедников Узбекистана. 2001. № 3. С. 56–62.
5. Куватов А. К. Ихтиофауна водоемов реки Чирчик : спец. 03.00.06 : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 2022. 20 с.
6. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
7. Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М., Л. : изд-во и 1-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР, 1949. Ч. 2. 468–925 с.
8. Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М., Л. : изд-во и 1-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР, 1949. Ч. 3. 927–1381 с.
9. Красная книга Республики Узбекистан. Т. 2. Животные. Ташкент : Chinog ENK, 2019. С. 106–125.
10. Кесслер К. Ф. Рыбы, водящиеся и встречающиеся в Арало-Каспийско-понтийской ихтиологической области. СПб. : тип. М. Стасюлевича, 1877. 360 с.
11. Федченко А. П. Путешествие в Туркестан члена-основателя Общества А. П. Федченко, совершенное от Общества любителей естествознания по поручению Туркестанского генерал-губернатора К. П. фон-Кауфмана. Т. 2. Ч. 6. Отд. 1 (вып. 3) : Зоогеографические исследования. Рыбы (Pisces) СПб., М. : тип. М. Стасюлевича, 1874. 63 с.
12. Devonova N. M. Morphological characteristics of the Turkestan catfish *Glyptosternum reticulatum* (Siluriformes, Sisoridae) water reserves Surkhan Nature Reserve. DOI: 10.21275/SR20207165340 // International Journal of Science and Research (IJSR). 2020. Vol. 9. No. 2. P. 841–843.
13. Ўзбекистон ва қўшни худудлар балиқлари аниқлагичи. Ўқув қўлланма / И. М. Мирабдуллаев, У. Т. Мирзаев, А. Р. Кузметов, З. О. Кимсанов. Тошкент : Сано стандарт, 2011. 108 с.
14. Vasil'eva E. D., Vasil'ev V. P. Caspian spined loach *Sabanejewia caspia*: Well-known but practically unexplored species of the Cobitidae family: Peculiarities of morphology, karyotype, distribution, and postulated phylogenetic links. DOI: 10.1134/S0032945219020206 // Journal of Ichthyology. 2019. Vol. 59. No. 2. P. 144–159.

## ПАРАЗИТОФАУНА РЫБ В РЕКЕ СЕХЕ И РЕКЕ ПОНГЕ НА ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦИНА

*Д. Д. Малышева<sup>1</sup>, Л. В. Мурадова<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Костромской государственный университет,  
<sup>2</sup> ГПЗ «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына,  
*dashamalysheva\_0\_0\_0@mail.ru, mlv44@mail.ru*

В статье представлена количественная оценка зараженности паразитами рыб в р. Сехе и р. Понге, находящихся на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына за 2024 г. В р. Сехе отмечено 4 вида паразитов, относящихся к 3 классам: *Trematoda*, *Cestoda*, *Clitellata*. В р. Понге отмечено 2 вида паразитов, относящихся к 2 классам: *Cestoda*, *Clitellata*. Определена общая зараженность рыб паразитами, экстенсивность и интенсивность инвазии.

Ключевые слова: паразитофауна, индекс обилия, интенсивность инвазии, экстенсивность инвазии, заповедник «Кологривский лес».

Паразиты рыб могут вызывать различные заболевания, которые снижают жизнеспособность рыбы. Они ослабляют иммунитет, нарушают обмен веществ, повреждают ткани и приводят к интоксикации организма. В некоторых случаях паразитарные заболевания могут ухудшать качество мяса рыбы и приводить к её гибели. Понимание особенностей паразитов помогает разрабатывать эффективные методы профилактики и лечения заболеваний рыб, контролировать вспышки болезней и сохранять биоразнообразие. Кроме того, изучение паразитов способствует научным исследованиям в различных областях биологии и экологии. Заражённость рыб паразитами является одним из показателей состояния экосистемы и может использоваться для мониторинга и оценки её благополучия.

Исследования проводились в летний период 2024 г. на территории заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына. Объектом исследования были 66 особей разных видов рыб, обитающих в р. Сехе и 26 особей, обитающих в р. Понге. Длина р. Сехи составляет 34 км, ширина – 4–6 м и глубина – от 0,3 до 1,5 м, скорость течения невысокая – 0,2–0,3 м/с [1]. Река Понга имеет длину 73 км, ширина русла в верхнем течении – 12 м, в нижнем – 15 м, среднюю глубину – 0,4 м, скорость течения – 0,3 м/с [2]. Видовую принадлежность рыб устанавливали с помощью определителя [3]. Все рыбы подвергались полному гельминтологическому вскрытию по общепринятой методике [4]. На наличие паразитов исследовались: кровь, кожа, плавники, носовая и ротовая полости, жабры, желчный и мочевой пузыри, брюшная полость, почки, сердце, пищеварительный тракт, печень, селезенка, гонады, головной и спинной мозг, хрящи, мышцы, глаза. Определение видов паразитов проводили с помощью определителя [5]. Для количественной характеристики зараженности рыб паразитами рассчитывали экстенсивность инвазии (%) по формуле 1:

$$E = n / N \cdot 100, \quad (1)$$

где  $n$  – количество зараженных особей-хозяев,  $N$  – число исследованных особей хозяев.

Среднюю интенсивность инвазии – по формуле 2:

$$I = m / n, \quad (2)$$

где  $m$  – число обнаруженных гельминтов,  $n$  – число зараженных особей хозяев.

Индекс обилия – по формуле 3:

$$M = m / N, \quad (3)$$

где  $m$  – число обнаруженных гельминтов,  $N$  – число исследованных особей хозяев.

Математическая обработка данных выполнялась общепринятыми статистическими методами [6].

В результате проведенных исследований в р. Сехе отловленные особи рыб относились к 3 семействам: Карповые (Cyprinidae), Окунёвые (Percidae), Лососёвые (Salmonidae), – и к 7 видам: елец обыкновенный – *Leuciscus leuciscus*, плотва обыкновенная – *Rutilus rutilus*, пескарь обыкновенный – *Gobio gobio*, окунь речной – *Perca fluviatilis*, хариус европейский – *Thymallus thymallus*. Полученные данные представлены на рисунке 1.

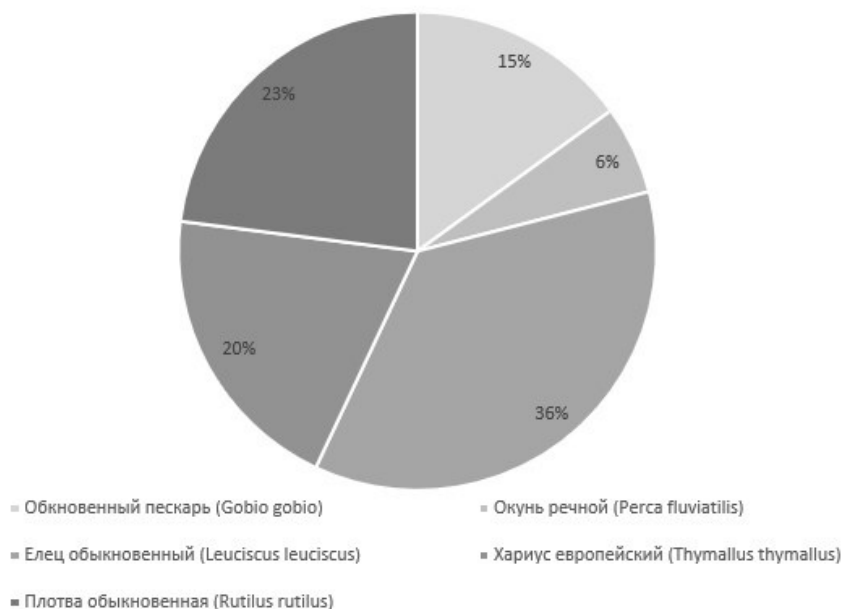


Рис. 1. Соотношение видов в уловах на р. Сехе

В результате проведенных исследований в р. Сехе наиболее распространённым видом является *Leuciscus leuciscus* – 36% от общего улова и *Rutilus rutilus* – 23%. Широкое распространение этих видов рыб обусловлено их предпочтением к проточным водоемам с хорошей кормовой базой. Елец обыкновенный, как правило, водится в небольших чистых реках с медленным течением. По питанию *Leuciscus leuciscus* всеяден, питается беспозвоночными животными: планктоном, червями, кузнечиками, бабочками, мухами, водной растительностью и бентосом. Плотва обычно предпочитает места со слабым течением и хорошо развитой водной растительностью, неприхотлива и неизбирательна в кормах, питается водорослями и различными мелкими животными [7].

Наиболее распространённым видом в р. Понге является *Perca fluviatilis* – 40%, который широко распространён в пресных водоёмах Европы и Северной Азии, является хищником. Полученные данные представлены на рисунке 2.

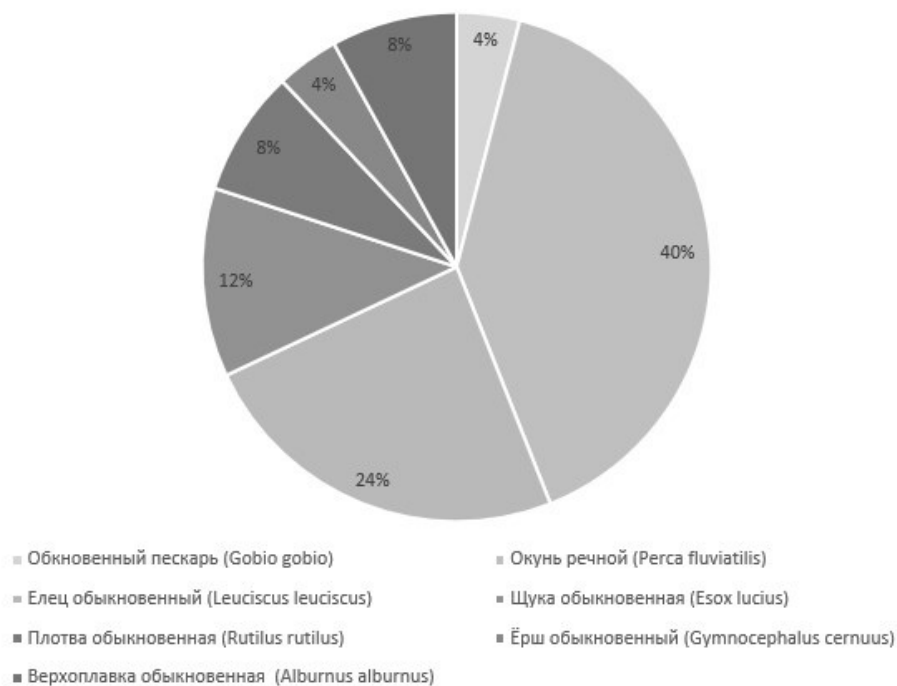


Рис. 2. Соотношение видов в уловах на р. Понге

В результате исследования рыб в р. Сехе было обнаружено 4 вида паразитов, относящихся к 3 классам: Trematoda, Cestoda, Clitellata (табл. 1).

Таблица 1

**Видовой состав и количество паразитов у рыб в р. Сехе**

Виды гельминтов и их систематическое положение	Хозяин	Место локализации паразита	Заражено особей, %	Количество гельминтов, мин.-макс. (всего)
<i>Sphaerostoma bramae</i> (Müller, 1776) Класс Trematoda	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Желудок	12,5	1–4 (7)
	<i>Rutilus rutilus</i>	Желудок	6,6	1 (1)
<i>Allocreadium transversale</i> (Rudolphi, 1802) Класс Trematoda	<i>Thymallus thymallus</i>	Желудок	7,7	1 (1)
<i>Ligula intestinalis</i> (Linnaeus, 1758) Класс Cestoda	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Кишечник	24	1–5 (20)
<i>Piscicola geometra</i> (Linnaeus, 1758) Класс Clitellata	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Поверхность тела	4,1	1 (1)

Наиболее часто рыба заражена повсеместно распространенным паразитом *Ligula intestinalis*: у *Leuciscus leuciscus* – 24% особей в улове. Это связано с употреблением в пищу инвазированных рачков и частым посещением этих водоемов рыбацкими птицами, в том числе инвазированными половозрелыми стадиями гельминта, что и служит источником распространения инвазии. *Sphaerostoma bramae* отмечена у *Leuciscus leuciscus* – 12,5% и *Rutilus rutilus* –

6,6% особей в улове. Метацеркарии паразитируют у моллюсков *B. tentaculata* и *Acroloxus lacustris*, а также у пиявок. *Allocreadium transversale* отмечена у *Thymallus thymallus* – 7,7% особей в улове. Данный вид заражает многих карповых, гольца, форель, хариуса, налима, окуня, щуку. На поверхности тела у 4,1% особей *Leuciscus leuciscus* обнаружен широко распространенный вид *Piscicola geometra*. Низкая зараженность рыб пиявками связана с тем, что пиявки нападают на больную или ослабленную рыбу.

В результате анализа материала у рыб в р. Понге было обнаружено 2 вида паразитов, относящихся к 2 классам: Cestoda, Clitellata (табл. 2).

Таблица 2

**Видовой состав и количество паразитов у рыб в р. Понге**

Виды гельминтов и их систематическое положение	Хозяин	Место локализации паразита	Заражено особей, %	Количество гельминтов, мин.-макс. (всего)
<i>Ligula intestinalis</i> (Linnaeus, 1758) Класс Cestoda	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Кишечник	33,3	5–10 (15)
	<i>Perca fluviatilis</i>	Кишечник	10	1 (1)
<i>Piscicola geometra</i> (Linnaeus, 1758) Класс Clitellata	<i>Esox lucius</i>	Поверхность тела	33,3	1 (1)
	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Поверхность тела	16,6	1 (1)

В р. Понге также наиболее распространенным паразитом была *Ligula intestinalis*: у *Leuciscus leuciscus* – 33,3% особей в улове; у *Perca fluviatilis* – 10% в улове. Данный паразит локализуется в кишечнике, в одной особи рыб может встретиться от 1 до 15 лигул. *Piscicola geometra* была обнаружена у 33,3% особей в улове *Esox lucius*, у 16,6% особей в улове *Leuciscus leuciscus*. На местах присасывания пиявок к рыбе образуются кровоточащие ранки и кровоподтеки, рыбы начинают беспокойно двигаться, упитанность их снижается, появляются признаки общей анемии. *Piscicola geometra* является эктопаразитом, встречалась на особях единично. Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Количественная оценка зараженности рыб паразитами в р. Сехе**

Паразит	Хозяин	Экстенсивность инвазии, E,%	Средняя интенсивность инвазии, I	Индекс обилия, M
<i>Sphaerostoma bramae</i>	<i>Leuciscus leuciscus</i>	12,5	3,5	0,3
	<i>Rutilus rutilus</i>	6,6	1	0,07
<i>Allocreadium transversale</i>	<i>Thymallus thymallus</i>	7,7	1	0,08
<i>Ligula intestinalis</i>	<i>Leuciscus leuciscus</i>	24	2,9	0,83
<i>Piscicola geometra</i>	<i>Leuciscus leuciscus</i>	4,1	1	0,04

Наиболее высокие показатели экстенсивности инвазии были у *Ligula intestinalis* – 24% при средней интенсивности инвазии – 2,9 и индексе обилия – 0,83. Менее распространенный паразит *Sphaerostoma bramae* чаще поражал *Leuciscus leuciscus* – экстенсивность инвазии 12,5% при высокой интенсивности инвазии – 3,5. У паразита *Allocreadium transversale* у *Thymallus thymallus* экстенсивность инвазии составляет 7,7% при средней интенсивности инвазии – 1. Данные показатели связаны с низким распространением в нашем регионе данного паразита. Редко встречаемым паразитом был *Piscicola geometra*.

В р. Понге *Ligula intestinalis* имеет высокую экстенсивность инвазии – 33,3% у особей *Leuciscus leuciscus*, что говорит о широком распространении паразита среди рыб данного вида. Средняя интенсивность инвазии составила 5, индекс обилия – 2,5. В выборке *Esox lucius* высокую экстенсивность инвазии – 33,3% имел вид *Piscicola geometra*, средняя интенсивность инвазии 1 и индекс обилия 0,33. Полученные данные представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Количественная оценка зараженности рыб паразитами в р. Понге**

Паразит	Хозяин	Экстенсивность инвазии, Е, %	Средняя интенсивность инвазии, I	Индекс обилия, М
<i>Ligula intestinalis</i>	<i>Leuciscus leuciscus</i>	33,3	5	2,5
	<i>Perca fluviatilis</i>	10	1	0,1
<i>Piscicola geometra</i>	<i>Esox lucius</i>	33,3	1	0,33
	<i>Leuciscus leuciscus</i>	6,6	1	0,17

С возрастом у животных происходят различные изменения в спектре питания, характере и интенсивности обмена веществ, которые отражаются и на паразитофауне [8, 9]. В результате наших исследований установлено, что в р. Сехе паразитами *Ligula intestinalis* заражены особи *Leuciscus leuciscus* в возрасте 2+ и 3+ лет – 42,9% и 57,1% соответственно. При этом интенсивность инвазии у двухлетних особей составила 2,3, у трехлетних – 3,3. Зараженность *Leuciscus leuciscus* в возрасте 3+ паразитом *Sphaerostoma bramae* составила 75%, интенсивность инвазии – 2,5. Паразиты *Allocreadium transversale* и *Piscicola geometra* встречались единично у особей *Thymallus thymallus* в возрасте 5+ и *Leuciscus leuciscus* в возрасте 3+ соответственно.

В р. Понге установлена аналогичная закономерность, заражению *Ligula intestinalis* в большей степени подвержены особи *Leuciscus leuciscus* в возрасте 2+ и 3+ лет. Интенсивности инвазии у трехлетних особей составила – 5, индекс обилия – 1,7. Максимальная зараженность *Ligula intestinalis* у *Perca fluviatilis* наблюдается в возрасте 4+ лет, интенсивность инвазии – 1, индекс обилия – 0,25. Заражение эктопаразитом *Piscicola geometra* особей *Leuciscus leuciscus* в возрасте 3+ лет и особей *Esox lucius* в возрасте 2+ лет встречалось единично.

Одним из факторов, влияющих на зараженность рыб паразитами, является пол хозяина [10]. В ходе исследования зараженности паразитами самцов и самок разных видов рыб установлено, что все особи, зараженные *Ligula intestinalis*, *Sphaerostoma bramae* у *Leuciscus leuciscus* и *Rutilus rutilus* в р. Сехе и особи, зараженные *Ligula intestinalis* у *Leuciscus leuciscus* и *Perca fluviatilis* в р. Понге были самцами. Причинами различия зараженности паразитами самок и самцов являются особенности в спектре питания и пищевая активность рыб разного пола [11].

Таким образом, паразитофауна рыб в 2024 г. в р. Сехе на территории заповедника «Кологривский лес» представлена четырьмя видами: *Sphaerostoma bramae*, *Allocreadium transversal*, *Ligula intestinalis*, *Piscicola geometra*; в р. Понге – двумя видами: *Ligula intestinalis* и *Piscicola geometra*. Наиболее распространенным паразитом в обеих реках является *Ligula intestinalis*.

#### Библиографический список

1. Малышева Д. Д., Мурадова Л. В. Паразитофауна рыб в реке Сехе на территории Государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Книга 2. Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 297–301.
2. Лебедев А. В., Гемонов А. В., Чернявин П. В. Характеристика водосборов территории заповедника «Кологривский лес» // Научные труды Государственного природного заповедника «Кологривский лес» : сб. науч. трудов. Вып. 1. Кологрив, 2017. С. 60–66.
3. Евдокимов В. Д., Кривошеин В. В., Назарова А. В. Определитель позвоночных животных Костромской области. Кострома : КГУ имени Н. А. Некрасова, 2007. 190 с.
4. Паразитологическое исследование рыб : методическое пособие / Н. Б. Чернышёва, Е. В. Кузнецова, В. Н. Воронин, Ю. А. Стрелков. СПб. : ГосНИИОРХ, 2009. 20 с.
5. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР / под ред. О. Н. Бауера. Т. 3 : Паразитические многоклеточные. Ч. 2. / сост. В. В. Авдеев и др.; отв. ред. О. Н. Бауер. Л. : Наука, 1987. 583 с.
6. Лакин Г. Ф. Биометрия : учебное пособие для биологических специальностей вузов. М. : Высшая школа, 1990. 352 с.
7. Оценка состояния ихтиофауны в реке Сехе на территории Кологривского участка заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына / А. С. Максимов, Л. В. Мурадова, Д. Д. Малышева, П. С. Стрекалова // Научные труды государственного природного заповедника «Кологривский лес» : сб. науч. трудов. Кологрив, 2023. С. 139–145.
8. Кириллова Н. Ю., Кириллов А. А. Влияние пола и возраста хозяина на структуру сообщества гельминтов Рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*) // Поволжский экологический журнал. 2012. № 1. С. 33–41.
9. Старовойтов В.К. Влияние пола и возраста хозяев на структуру популяции паразита (на примере судака и моногенеи *Ancyrocephalus paradoxus*) // Паразитология. 1995. Т. 29, № 5. С. 433–439.
10. Дугаров Ж. Н., Ринчинов З. А. Линейный рост плотвы при заражении плероцеркоидами *Ligula intestinalis* в Чивыркуйском заливе оз. Байкал // Российский паразитологический журнал. 2016. Т. 37, № 3. С. 312–318.
11. Евланов И. А. Экологические аспекты устойчивости паразитарных систем (на примере паразитов рыб) : спец. 03.00.19 : дис. ... д-ра биол. наук. Тольятти, 1993. 382 с.



## РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ВОЛКА В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*В. В. Масленникова, О. В. Масленникова*

*Вятский государственный агротехнологический университет,  
nauka\_vsaa@mail.ru, olgamaslen@yandex.ru*

В статье представлены данные по регуляции численности волка в Кировской области с 2022 по 2024 гг., включая два охотничьих сезона. Из 39 районов области активная борьба с волком ведется не везде. Большую роль в регулировании численности волка играют хозяйства Россохотрыболовсоюза, ООО «КировОхоты» и другие. Не все районы области поддержали инициативу премий охотникам за добытых хищников, поэтому в ряде районов такая охота носит случайный характер, несмотря на высокую численность волка.

Ключевые слова: регулирование численности, добыча, волк, охотники, способы охоты.

Численность волка определяется на территории Российской Федерации по данным зимнего маршрутного учета, который проходит до периода размножения хищника (февраль-март), и экстраполяции на приплод не проводится. Даже при фактическом проведении учета данные все равно получают заниженными. Практически уже признано, что зимний маршрутный учет не дает достоверных данных по численности хищника. Поэтому относительная численность волка определяется чаще по его добыче.

Основу трофических связей хищника составляют копытные, на территории Кировской области – это лось и кабан [1, 2]. Многовековая зависимость волка от циклов численности лося известна [3]. После 1990-х годов сокращение населения лося в России произошло из-за многочисленных хищников, в первую очередь волков [4]. В РСФСР за 1980–1982 гг. от волков погибло 21,8% от численности лося, за 1986–1987 гг. – 33,1%, кроме того, 32,6% лосей убили браконьеры, 16,8% погибло подранков и 11,7% от прочих и неустановленных причин [5].

Усиливающаяся синантропизация волка на территории Кировской области, привела к тому, что волк с начала осени стал посещать населенные пункты первоначально в северных районах области, затем и в южных. В 2020 г. разрешенный срок охоты на волка был увеличен на 2 месяца – с 1 августа по 31 марта. С 2022 г. в Кировской области внедряется премия за добытого волка. До ужесточения законов на добычу волка – он мог добываться в течение всего года [6, 7].

Материалом для настоящего исследования послужили данные Управления охраны и использования животного мира министерства охраны окружающей среды Кировской области, любезно предоставленные нам, за период с

января 2022 г. по апрель 2024 г. Мы сгруппировали добытых хищников по годам и по охотничьим сезонам. Поскольку основная масса волков добывается после охоты на копытных с января по март, мы выделили и эти месяцы. Все данные по добыче волка в последние три года приведены в таблице 1.

*Таблица 1*

**Регулирование численности волка в Кировской области в 2022–2024 гг.**

Распределение добытых волков по годам			
Годы	2022	2023	2024
Добыча (особи)	237	255	148
Распределение добытых волков по охотничьим сезонам			
Годы	2022–2023	2023–2024	
Добыча (особи)	277	209	
Распределение добытых волков по годам с января по март			
Годы	2022	2023	2024
Добыча (особи)	152	195	148

Как следует из таблицы 1 добыча волка увеличилась в 2023 г., по сравнению 2022, а если смотреть по охотничьим сезонам, то ситуация иная. В сезон охоты 2022–2023 гг., когда была объявлена премия за добычу волка, добыча увеличилась и составила 277 особей, но в следующий охотничий сезон она упала до 209. Не потому, что волка стало меньше, а потому, что не все охотники, добывшие волков, получили премии. Об этом же свидетельствуют и цифры добычи волка за три основных месяца – с января по март.

Заход волков в населенные пункты способствовал на местах принять необходимые меры и усилить борьбу с хищником. Стали создаваться бригады по борьбе с волком. В Лузском районе за добытых волков охотники получали преимущество в выдаче разрешений на копытных, в частности, лося.

Данные по добыче волка по годам и районам приведены в таблице 2.

*Таблица 2*

**Распределение добытых волков по районам Кировской области**

№	Районы области	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Итого
1	2	3	14	8	6
1	Афанасьевский	14	0	0	36
2	Арбайский	5	4	11	5
3	Богородский	2	7	2	17
4	Белохолуницкий	10	10	1	19
5	Верхнекамский	12	0	0	23
6	Верхошижемский	2	14	0	2
7	Даровской	3	3	2	17
8	Зуевский	11	10	8	16
9	Котельничский	12	5	4	30
10	Кикнурский	3	6	1	12
11	Куменский	4	4	0	11
12	Кильмезский	2	14	8	6
13	Лебяжский	4	0	0	4
14	Лузский	7	9	12	28
15	Малмыжский	1	3	2	6

1	2	3	4	5	6
16	Мурашинский	14	18	4	36
17	Нагорский	10	26	7	43
18	Немский	2	1	0	3
19	Нолинский	7	5	0	12
20	Опаринский	10	8	0	18
21	Оричевский	7	6	3	16
22	Орловский	3	2	3	8
23	Омутнинский	2	0	0	2
24	Пижанский	2	0	0	2
25	Подосиновский	14	9	8	31
26	Советский	1	0	0	1
27	Сунский	6	1	1	8
28	Слободской	14	13	26	53
29	Свечинский	0	9	2	11
30	Санчурский	4	7	7	18
31	Тужинский	3	0	0	3
32	Уржумский	1	2	0	3
33	Унинский	4	5	2	11
34	Фаленский	7	15	7	29
35	Шабалинский	21	21	18	60
36	Юрьянский	11	10	6	27
37	Яранский	2	8	3	13
	Всего	237	255	148	640

Два района Вятскополянский и Кирово-Чепецкий не вошли в данную таблицу из-за отсутствия за три года добытых хищников. Плохо поставлена работа по регулированию численности волка в таких районах, как Арбажский, Верхошижемский, Лебяжский, Кильмезский, Немский, Омутнинский, Пижанский, Советский, Сунский, Тужинский. Довольно успешно проходит регуляция численности хищника в таких районах, как Афанасьевский (36 волков), Белохолуницкий (19), Вехнекамский (23), Котельничский (30), Лузский (28), Мурашинский (36) Опаринский (18), Подосиновский (31), Фаленский (29), Юрьянский (27). Лучше всего поставлена эта работа в трех районах области: Нагорском (43), Слободском (53) и Шабалинском (60).

Успешно идет борьба с волком в охотничьих хозяйствах Росохотрыболовсоюза. В 2022 г. из всех добытых волков на долю охотобществ пришлось 46,4% хищников, в 2023 – 50,6%, в 2024 – 42,6%. Усиленно добывают волков хозяйства ООО «КировОхота». В 2022 г. в этих охотхозяйствах было добыто 44 хищника, в 2023 г. – 36, а за неполный 2024 год – 24 особи. В Шабалинском районе в 2022 г. из 21 добытых волков 7 приходилось на охотобщество, а 14 волков добыли охотники из ООО «КировОхоты».

Если проанализировать способы добычи хищника, то их сравнительно много, но большая часть озвучивается охотниками как ружейная охота. Выборка данных по способам охоты приведена в таблице 3. Такие способы, как охота на вабу, с помощью капкана и на приваду распространены не слишком

широко в Кировской области и практикуются, как правило, в осенний период. Охоту с лабаза или вышки можно считать случайной охотой, т. к. таким образом подстерегают кабанов или медведей. Охота загоном также связана больше с охотой на лося, и лишь изредка применяется при охоте на волка. Кроме этого, сравнительно много регистрируется случайных встреч с волком, особенно в 2023 г. – 23 случая, когда был добыт хищник. В 2024 г. приведены данные за период с января по март, когда идет целенаправленная охота на волка, и то в 12 случаях добыча волка была случайной. Все эти данные свидетельствуют о высокой численности хищника в угодьях и необходимости усиливать контроль за регуляцией его численности.

Таблица 3

**Количество добытых волков в Кировской области  
в зависимости от способа охоты**

№	Способы охоты	2022 г.	2023 г.	2024 г. (январь–март)
1.	Ружейная охота (в том числе с подхода)	107 (7)	119	62
2.	Охота с флажками	60	75	57
3.	Охота загоном	28	11	15
4.	Охота с лабаза, вышки	13	13	1
5.	Охота на приваду	12	5	1
6.	Охота на вабу	7	4	0
7.	Охота с помощью капкана	6	5	1
8.	Случайные встречи	4	23	12
	Всего	237	255	148

Таким образом, невозможность или нежелание районных властей премировать охотников, добывающих волков, приводит к тому, что в ряде районов, особенно южных, но и не только в них, регулирование численности волка не происходит. Возможно, не хватает охотников, умеющих добывать этого хищника. Добыча волка увеличилась в охотничий сезон 2022–2023 гг. до 277 особей, но в охотничий сезон 2023–2024 гг. снизилась до 209. Лучше всего поставлена работа по регулированию численности хищника в трех районах: Нагорском (43 особей), Слободском (53 особей) и Шабалинском (60 особей). Необходимо продолжить и расширить работу по премированию охотников, иначе вновь волки будут посещать населенные пункты.

**Библиографический список**

1. Масленникова О. В., Масленникова В. В. Трофические связи волка на Севере Нечерноземья // Вестник Вятского ГАТУ. 2021. № 4 (10).
2. Масленникова О. В. Роль волка в регуляции численности собак // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 85-летию ВНИИОЗ. Киров, 2007. С. 267–268.
3. Гиляров А. М. Популяционная экология. М. : МГУ, 1990. 191 с.
4. Messier F. Undulate population models with predation: a case study with the North American moose // Ecology. 1994. Vol. 75. No. 2. P. 478–488.
5. Данилкин А. А. Олени (Cervidae). Млекопитающие России и сопредельных регионов. М. : ГЕОС, 1999. 552 с.

6. Масленникова О. В., Масленникова В. В. Синантропизация вятского волка // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию института и 150-летию со дня рождения Б. М. Житкова. Киров, 2022. С. 105–108.

7. Масленникова В. В., Масленникова О. В. Трансформация поведения волков в Кировской области // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XX Всерос. науч.-практ. конф. Киров : ВятГУ, 2022. С. 393–396.

## **БИОРАЗНООБРАЗИЕ ИХТИОФАУНЫ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ВЯТКИ**

*Н. Д. Митькиных<sup>1,2</sup>, О. В. Масленникова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный агротехнологический университет,  
natysik\_mit@mail.ru, olgamaslen@yandex.ru*

<sup>2</sup> *Государственный природный заповедник «Нургуш», natysik\_mit@mail.ru*

Статья посвящена изучению ихтиофауны среднего течения р. Вятки. Выявлено видовое разнообразие, рассмотрены биологические характеристики рыб и выполнен их паразитологический анализ. Проведено исследование жабр, мышц, печени и пищеварительного тракта рыб на зараженность гельминтами. Представлено разнообразие классов паразитов у исследованных видов рыб.

Ключевые слова: биоразнообразие, ихтиофауна, р. Вятка, паразитофауна.

Состав ихтиофауны является важным показателем водных биоценозов. Изучение популяций и процессов, происходящих в них, позволяют контролировать состояние экосистемы и прогнозировать её возможные изменения. Изучение ихтиофауны и ее паразитов также важно для определения возможности хозяйственного использования водоёма.

Цель исследования – изучить видовое разнообразие ихтиофауны, а также оценить ее биологические и паразитологические характеристики.

Мы исследовали ихтиофауну р. Вятки в период с июня по октябрь 2023 г. в среднем течении в трех точках: д. Большая Гора, д. Лянгасы, слобода Лосево. Вылов рыбы производился с помощью поплавочной удочки, спиннинга и фидера. Выловлено и исследовано 61 экз. рыб. С помощью определителя позвоночных животных фауны СССР и пресноводных рыб фауны СССР определен видовой состав исследуемой пробы [1, 2]. Рыб промеряли и исследовали возрастной состав выборки. Возраст рыб определяли по чешуе по числу годовых колец. Чешую брали с середины тела выше боковой линии под основанием спинного плавника. С каждой рыбы брали 5–10 чешуек для исследования [3, 4]. При анализе половой структуры степень зрелости гонад определялась по 6-балльной шкале Г. В. Никольского [4].

Методом паразитологического вскрытия изучалось наличие гельминтов, локализованных на жабрах, в пищеварительном тракте, печени и мышцах

рыб. Для исследования жабр убирали жаберную крышку и скальпелем делали соскоб с верхней поверхности первой жабры (до проведения вскрытия рыбы) и помещали на предметное стекло. После чего просматривали под микроскопом Микромед 3 вар. 3–20 при увеличении 10×20. Для исследования пищеварительного тракта и печени все содержимое помещали между компрессорными стеклами и просматривали под стереомикроскопом МБС-1 при увеличении 2×12,5. Для изучения мышц рыбы отбирали материал в спинной части туловища и помещали между двух предметных стекол. При просмотре под стереомикроскопом МБС-1 и микроскопом Микромед 1 при увеличении 9×15 и 9×9 измеряли размер метацеркариев и фотографировали их [5, 6].

Ихтиофауна исследуемой акватории представлено 5 отрядами, 5 семействами и 17 видами, что составляет 42,5% от общего количества рыб, обитающих в реке Вятке. Семейство карповые – *Cyprinidae*: язь – *Leuciscus idus* L., белоглазка – *Ballerus sapa* Pallas, пескарь обыкновенный – *Gobio gobio* L., лещ – *Abramis brama* L., голавль обыкновенный – *Leuciscus cephalus* L., густера – *Blicca bjoerkna* L., плотва – *Rutilus rutilus* L., чехонь – *Pelecus cultratus* L., укляя – (*Alburnus alburnus* L., жерех – *Aspius aspius* L., карась серебряный – *Carassius gibelio* Bloch; семейство окуневые – *Percidae*: окунь речной – *Perca fluviatilis* L., судак – *Sander lucioperca* L, ёрш обыкновенный – *Gymnocephalus cernua* L.; семейство щуковые – *Esocidae*: щука обыкновенная – *Esox lucius* L.; семейство осетровые – *Acipenseridae*: стерлядь – *Acipenser ruthenus* L; семейство сомовые – *Siluridae*: – сом обыкновенный – *Silurus glanis* L.

Доминирующими видами оказались чехонь и укляя. Частота встречаемости данных видов в уловах составила 37,7% и 35,5% соответственно. Остальные виды представлены в пределах от 1,4 до 15,6%.

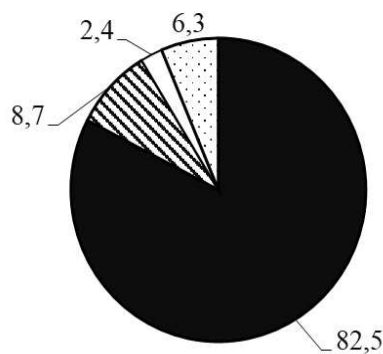
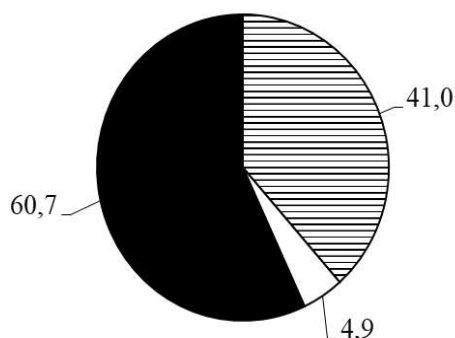
Рыбное население среднего течения р. Вятки представлено возрастными группами от 1+ до 7+ лет. Большинство особей в исследуемой пробе имеют возраст 2+ (59,02%). 29 особей оказались неполовозрелыми (47,5%). Соотношение самок и самцов составило 59,4% и 40,6%, соответственно.

Исследуемые виды рыб относятся к различным трофическим группам. Бентофагами являются лещ, густера, белоглазка, пескарь. К типичным планктонофагам относится чехонь. Однако данный вид был пойман с помощью донного удилица и при вскрытии кишечника были обнаружены раковины моллюсков. Остальные рыбы имеют смешанный спектр питания (укляя, плотва, язь, голавль).

Паразитофауна рыб р. Вятки на территории Кировской области в течение полувека не изучалась. Последние исследования были проведены М. А. Гревцевой в 1976 г. [7]. В ходе паразитологического исследования была выявлена инвазированность 65,6% рыб. Отсутствовали паразиты у таких видов рыб как ёрш обыкновенный, язь, окунь речной из-за небольшой выборки. Локализация гельминтов зарегистрирована на жабрах, в пищеварительном тракте, печени и в мышцах рыб (рис. 1).

Доминировали паразиты, локализующиеся в мускулатуре рыб – 60,7%. В пищеварительном тракте и печени локализовалось лишь 4,9% паразитов.

Зарегистрированы паразиты, относящиеся к 4 классам: Nematoda, Monogenoidea, Trematoda, Bivalvia (рис. 2).



□ Жабры □ Пищеварительный тракт / печень ■ Мышцы ■ Trematoda ■ Nematoda □ Monogenoidea □ Bivalvia

Рис. 1. Локализация паразитов на жабрах, в пищеварительном тракте, печени и в мышцах рыб в процентном соотношении

Рис. 2. Процентное соотношение классов паразитофауны рыб среднего течения р. Вятки

Доминирующим в паразитофауне рыб р. Вятки стал класс трематод. Метацеркарии были обнаружены у плотвы, чехони, густеры, голавля, белоглазки, уклей, леща и щуки.

На жабрах некоторых видов рыб были обнаружены моногенеи и паразитирующие личинки двустворчатых моллюсков – глохидии. Их процентное соотношение составило 54,2% и 45,8% соответственно.

Данные по разнообразию классов паразитов среди исследованных видов рыб представлены в таблице.

Таблица

**Разнообразие классов паразитов у исследованных видов рыб**

Класс паразитов \ Вид рыб	Trematoda	Monogenoidea	Nematoda	Bivalvia
Щука	+	-	-	-
Чехонь	+	+	-	+
Уклея	+	+	+	+
Лещ	+	+	-	-
Пескарь	-	+	-	-
Густера	+	-	-	+
Плотва	+	-	-	+
Белоглазка	+	-	-	-
Голавль	+	+	-	-

Примечание: + обозначает присутствие вида паразита, – его отсутствие.

У чехони и уклей выявлено наибольшее число паразитов, относящихся к 3 и 4 классам соответственно. Всего определено у рыб 9 видов гельминтов.

В кишечнике у самки уклей (3+) обнаружено 18 особей *Rhabdochona denudate* (Dujar, 1845), относящихся к классу Nematoda. Данный вид у уклей в

Кировской области регистрируется впервые, ранее был обнаружен только у язя [7].

Таким образом, в результате изучения ихтиофауны среднего течения р. Вятки было зарегистрировано 17 видов рыб из 5 семейств и 5 отрядов, что составляет 42,5% от общего количества рыб, обитающих в реке Вятке. Доминирующие виды: чехонь – 37,7% и укляя – 35,5%. При анализе половозрастной структуры большинство особей в исследуемой пробе имели возраст 2+ (59,0%) и были неполовозрелыми (47,5%). Соотношение самок и самцов составило 59,4% и 40,6% соответственно. Инвазировано 65,6% рыб. Локализация гельминтов зарегистрирована на жабрах (41,0%), в пищеварительном тракте (4,9%) и в мышцах (60,7%) рыб. Зарегистрированы виды гельминтов, относящиеся к 4 классам: нематоды, трематоды, моногенеи, двустворчатые моллюски. Впервые у укляи на территории области зарегистрирована нематода *Rhabdochona denudate* (Dujar, 1845).

#### Библиографический список

1. Веселов Е. А. Определитель пресноводных рыб фауны СССР : пособие для учителей. М. : Просвещение, 1977. 238 с.
2. Кузнецов Б. А. Определитель позвоночных животных фауны СССР. Ч. 1. Круглоротые, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся. М. : Просвещение, 1974. 190 с.
3. Основы ихтиологии / Г. К. Плотников, Т. Ю. Пескова, А. Шкуте и др. // Сборник классических методов ихтиологических исследований для использования в аквакультуре. Даугавпилс : Сауле, 2018. 253 с.
4. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищ. промышленность, 1966. 376 с.
5. Быховская-Павловская И. Е. Паразитологическое исследование рыб. Ленинград : Наука, Ленингр. отд., 1969. 109 с.
6. Паразитологическое исследование рыб : методическое пособие / Н. Б. Чернышева., Е. В. Кузнецова, В. Н. Воронин, Ю. А. Стрелков. СПб. : ГосНИОРХ, 2009. 20 с.
7. Гревцева М. А. Систематический обзор гельминтов рыб бассейна реки Вятки // Труды Кировского СХИ. Пермь, 1976. 7 с.



## К ВОПРОСУ ДИАГНОСТИКИ *TRICHINELLA PSEUDOSPIRALIS* У МЛЕКОПИТАЮЩИХ И ПТИЦ

А. И. Русских<sup>1</sup>, О. Б. Жданова<sup>1,2</sup>, О. В. Часовских<sup>2</sup>, Д. И. Редькин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. П. Коваленко Российской академии наук, russkikh-arina17@yandex.ru, oliabio@yandex.ru,

<sup>2</sup> Вятский государственный агротехнологический университет, dima.redkin.01@inbox.ru, beoli@mail.ru

В статье представлен опыт экспериментального заражения животных личинками *Trichinella pseudospiralis*. Продемонстрировано распределение трихинелл и установлены группы мышц. Определена сравнительная характеристика наиболее заселяемых групп мышц у сельскохозяйственных птиц и млекопитающих *Trichinella pseudospiralis*.

Ключевые слова: трихинеллез, трихинеллоскопия, нематодозы, куры-несушки, дикие животные, сельскохозяйственные животные.

*Trichinella pseudospiralis* является уникальным видом паразитических червей, относящихся к роду *Trichinella*, который занимает особое место в биологии и медицине. Данный вид является единственным среди трихинелл, обнаруживаемым как у птиц, так и у млекопитающих, включая человека. Инвазия трихинеллезом, вызванная этим паразитом, может оказать серьёзное влияние на здоровье животных и человека, поскольку приводит к повреждению мышечной ткани и другим системным проявлениям [1, 2].

*Trichinella pseudospiralis* была впервые описана в начале 1990-х годов, и с тех пор было зарегистрировано множество случаев её обнаружения у различных видов животных. Яркими примерами можно считать следующие случаи. В Камчатском крае в 1996 г. была зарегистрирована крупная вспышка трихинеллеза (порядка 49 человек) после употребления мяса домашней свиньи, зараженного этим возбудителем. Позднее в 2003 г., случаи заболевания регистрировали в Алтайском крае, при этом был установлен диагноз трихинеллеза у людей, причиной которого явилось употребление в пищу мяса домашних кур. В 2011 г. возбудитель *Trichinella pseudospiralis* был обнаружен у 5 свиней из свиноводческого хозяйства Камчатского края. По данным С. В. Мезенцева в 2010–2013 гг. мониторинговым исследованиям на территории Алтайского края было подвергнуто 189 голов различных видов птиц, в том числе 81 курица. Однако, за этот период трихинеллы у домашней птицы не выделены, хотя в крае достоверно установлены случаи заболевания людей, употреблявших в пищу мясо диких голубей и домашних кур. Благодаря исследованиям Б. Л. Гаркави (1972–2002), А. С. Бессонова (1985, 2000),

А. Я. Ярошенко, А. Я. Сапунова (1985, 2000), были зарегистрированы многочисленные случаи паразитирования бескапсульных трихинелл у ряда синантропных и диких видов животных [3–5].

Характерные случаи наблюдаются и за рубежом, так в 2011 г. в Италии вспышка трихинеллеза была зарегистрирована в районе Лацио у уток и лебедей. Первые симптомы заболевания испытали охотники, которые в дальнейшем и выяснили, что часть из пойманной дичи оказалась инвазированной *Trichinella pseudospiralis*. Исследование показало, что птицы заразились паразитом из-за кормления зараженной пищей, содержащей остатки грызунов, в которых также могли находиться паразиты.

Эти случаи указывают на риск передачи болезни человеку через потребление необработанного мяса диких животных и птиц [6].

Учитывая вышесказанное, было проведено экспериментальное заражение кур-несушек и белых беспородных крыс *Trichinella pseudospiralis* в дозе 2500 личинок на голову, для изучения распределения личинок и установления групп мышц, наиболее поражаемых *Trichinella pseudospiralis*. После выведения птиц из эксперимента через 3 месяца провели компрессорную трихинеллоскопию (КТ). При помощи КТ обнаружено, что личинки *Trichinella pseudospiralis* располагаются в мышцах у птиц крайне неоднородно. Это отмечали как при изготовлении срезов из одной локализации в пределах одной группы мышц, так и в различных группах исследуемых мышц. Наибольшее количество личинок у кур-несушек обнаружено в мышцах головы и языка, меньшее в мышцах шеи и межреберных, в то время как у крыс наиболее пораженными оказались ножки диафрагмы. Межреберные мышцы у кур несушек и у крыс поражаются личинками одинаково интенсивно (табл.) [7, 8].

Таблица

**Распределение личинок *Trichinella pseudospiralis* в мышцах кур-несушек и крыс при исследовании методом КТ**

Группа мышц	Среднее количество личинок в срезе	
	у кур-несушек	у крыс
Мышцы головы:		
Язык	3,70±0,50	4,50±0,25
Жевательные	5,20±0,30	4,20±0,10
Мышцы шеи	2,20±0,30	3,5±0,30
Диафрагма (ножки)	1,50±0,30	5,25±0,30
Межреберные	0,5±0,4	1,55±0,25

По некоторым данным личинки не проникают в так называемое «белое мясо» кур, и ряд исследователей отмечает их отсутствие в грудных мышцах, однако при исследовании в КТ были обнаружены личинки в области прикрепления к коракоидной кости. В малой грудной мышце (*m. pectoralis minor*) у кур-несушек личинок при данной инвазии не обнаружили. При сравнении данных исследований, полученных в КТ и при пептолизе, установлено, что в вышеуказанных группах мышц (без препарирования) обнаруживали личинок.

В итоге установлено, что количество личинок составило  $0,30 \pm 0,08$  на 1 г мышечной ткани грудки [9, 10].

Подводя итоги проведенного экспериментального заражения животных, можно сделать вывод, что полученные результаты продемонстрировали сложное распределение паразитов в мышцах. Данные о том, что наибольшее количество личинок находится в мышцах головы и языка птиц, в то время как у крыс поразились ножки диафрагмы, подчеркивают особую важность анализа локализации паразитов для оценки риска заражения. А также использование метода пептолиза при низкой интенсивности инвазии позволяет выявить личинок даже при отрицательных КТ. Поэтому необходимо применять метод пептолиза при отрицательных результатах у подозреваемых образцов в сомнительных случаях (например, при наличии только полуфабрикатов – грудки) для установления окончательного диагноза ветеринарными специалистами.

#### Библиографический список

1. Трихинеллез: некоторые аспекты его мониторинга и профилактики / Л. А. Написанова, О. Б. Жданова, С. П. Ашихмин и др. // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2016. № 17. С. 280–282.
2. Успенский А. В. Некоторые особенности распространения трихинеллез в России // Восьмая Всероссийская конф. по трихинеллезу : статьи и тез. докл. М., 2000. С. 68–72.
3. Одоевская И. М. Значение птиц в диссеминации личинок *Trichinella* spp. в прибрежных и водных биоценозах // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 2011. № 1. С. 12–16.
4. Одоевская И. М. О роли птиц в эпизоотологии трихинеллеза морских млекопитающих Арктического заполярья // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 2010. № 3. С. 32–37.
5. Успенский А. В., Арисов М. В., Гулюкин М. И. Особенности ограничительных мероприятий при трихинеллезе // Российский паразитологический журнал. 2019. Т. 13, № 3. С. 88–92.
6. Мартусевич А. К., Жданова О. Б. Исследование зависимости кристаллогенной активности биосреды от интенсивности экспериментальной инвазии *Trichinella spiralis* // Российский паразитологический журнал. 2013. № 2. С. 64–71.
7. Мартусевич А. К., Жданова О. Б. Информативность исследования свободного кристаллообразования при зоонозах на модели лабораторных животных // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2006. № 1 (22). С. 30–39.
8. Трихинеллоскопия туш домашних и диких животных / А. В. Успенский, О. Б. Жданова, О. Н. Андреев и др. // Российский паразитологический журнал. 2021. Т. 15, № 3. С. 71–75.
9. Правила ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясопродуктов : сборник нормативных документов. М. : Изд-во Минсельхозпрода РФ, 1988. 223 с.
10. Эпидемиологический надзор за трихинеллёзом : методические указания. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2014. 26 с.

## ПОКАЗАТЕЛИ ВОЗРАСТА И РОСТА СУДАКА АЙДАР-АРНАСАЙСКОЙ СИСТЕМЫ ОЗЁР

С. М. Намозов<sup>1</sup>, Ж. Ж. Собиров<sup>1</sup>, Д. Р. Дехконова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт зоологии АН РУз, Республика Узбекистан,  
sirojiddin.namozov.90@mail.ru, sobirov-jobir@mail.ru,

<sup>2</sup> Ташкентский государственный аграрный университет,  
Республика Узбекистан, dilora.dehqonova@mail.ru

Исследования проводились с февраля 2023 г. по март 2024 г. на Айдаро-Арнасайской системы озер Узбекистана. Проанализировано 175 особей судака. Изучили темп роста, зависимость между стандартной длиной и массой тела рыб.

Ключевые слова. Айдаро-Арнасайская система озер, судак – *Perca lucioperca*, показатели длины и массы тела, корреляционная зависимость.

На сегодняшний день стремительное увеличение численности населения мира неизбежно приводит к росту объемов потребления сельскохозяйственных продуктов, в том числе рыбы и рыбной продукции.

Айдар-Арнасайская система озер (Узбекистан) расположена в солончаковой впадине на востоке пустыни Кызылкум в среднем течении р. Сырдарьи и имеет общую площадь более 400 тысяч га и простирается более чем на 250 км в длину (рис. 1). Система связанных между собой озер Айдаркуля, Тузкана и Восточно-Арнасайского водохранилища (ранее – Восточно-Арнасайская протока озер) является крупнейшим рыбохозяйственным водоемом по площади и уловам рыб в республике.



Рис. 1. Айдаро-Арнасайская система озер и её расположение на территории Узбекистана

Судак – *Perca lucioperca* (L., 1758), ранее обитал в Аральском море (где исчез по мере развития экологического кризиса), в естественном состоянии отмечен в низовьях р. Амударьи, Сырдарьи. Был акклиматизирован на рав-

нинных участках среднего течения Сырдарьи и Амударьи, а также в бассейнах р. Зарафшан, Кашкадарья, куда был завезен из р. Урал. В настоящее время обитает на всех равнинных участках всех рек Узбекистана [1].

Судак – крупная, быстрорастущая рыба, достигающая длины до 1 м и более, массы тела до 15 кг. Очень пластичный вид. Обитает в реках, озерах, водохранилищах. Есть полупроходные и жилые формы. Держится на открытых участках. Чувствителен к дефициту растворенного в воде кислорода. Узкоглоточный хищник, питается преимущественно рыбой [1, 2].

Половозрелости достигает в 2–4-годовалом возрасте при достижении длины тела в разных водоемах от 29–31 см до 38–40 см. Нерест проходит в марте–апреле при температуре воды 8–17 °С. Устраивает простые гнезда в виде ямки или откладывает икру на корневища тростника и других растений на небольшой глубине (0,5–1,5 м). Икра клейкая, приклеивается к растениям. Самец охраняет кладку. Плодовитость 80–800 тысяч икринок. Диаметр зрелых икринок 0,7–1 мм [1, 2].

Материал собирали с февраля 2023 до марта 2024 г. в Айдар-Арнасайской системе озер (ААСО), используя ставные сети с ячейей 32, 36, 40, 50, 55, 60, 65 и 70 мм. Было добыто и исследовано 175 особей судака. У рыб измеряли общую длину (TL) с точностью до 1 мм и общую массу тела (W) с точностью до 1 г. Многие ихтиологи в качестве основного параметра длины тела использовали стандартную длину (расстояние от начала рыла до конца чешуйного покрова), поэтому мы также измеряли этот показатель (SL) с точностью до 1 мм у каждой особи. Возраст определяли по чешуе, собранной с середины тела выше боковой линии под основанием спинного плавника, а также по чешуе восстанавливали темп роста, используя метод Леа-Фрезера [3, 4].

*Зависимость измеряемых показателей длины и массы тела.* Между стандартной длиной и массой тела судака отмечена сильная корреляционная зависимость, которая достоверно описывается уравнением регрессии:  $y = 2E-05 * SL^{2,9141x}$ ,  $R^2 = 0,9951$  ( $P < 0,01$ ) (рис. 1).

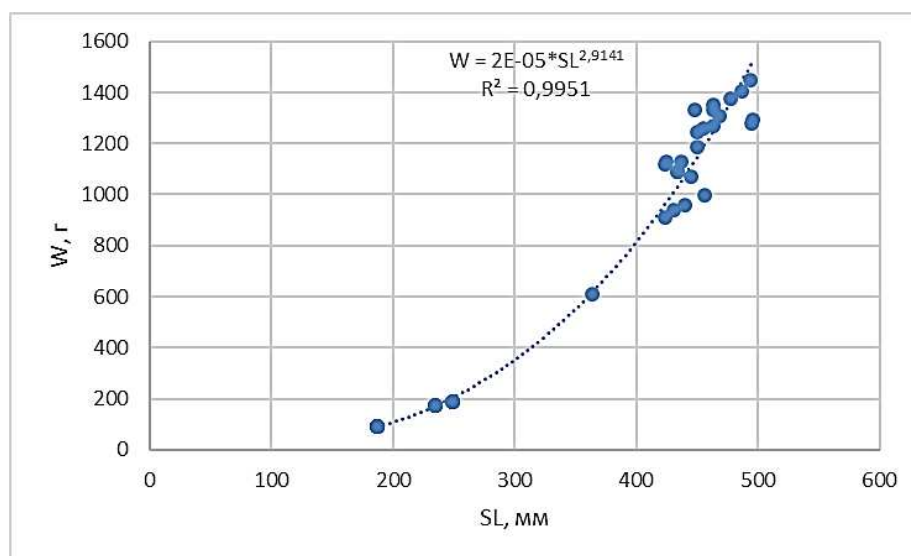


Рис. 1. Зависимость между стандартной длиной и массой тела судака ААСО

Изменение (увеличение) длины и массы тела судака относительно возраста показано на рисунке 2.

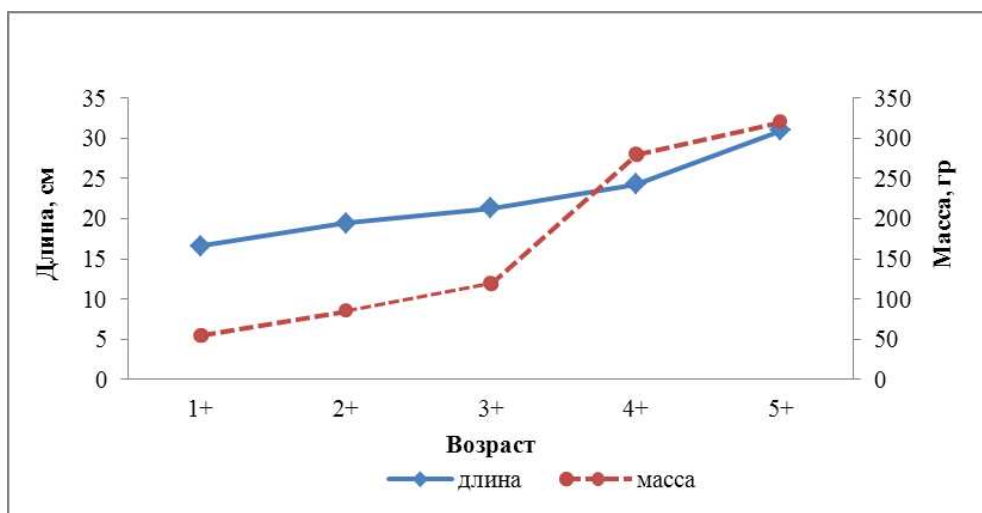


Рис. 2. Изменение длины и массы тела судака ААСО в зависимости от возраста

Темпы роста судака Айдар-Арнасайской системы озер в 2024 г. по результатам обратного расчисления (самки и самцы объединены) представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Темп роста судака Айдар-Арнасайской системы озер в 2024 г.**

Возраст, лет	N, шт.	Общая длина тела, см					
		l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>	l <sub>5</sub>	l <sub>6</sub>
1+	33	26,24					
2+	77	26,13	43,11				
3+	20	25,26	42,35	52,80			
4+	34	28,31	50,29	63,14	69,23		
5+	5	23,41	37,23	50,40	61,07	68,25	
6+	6	26,24	41,48	54,76	62,05	72,17	76,20
Среднее		26,40	44,45	53,35	67,37	70,39	76,20
Средний прирост, см/год		26,40	18,05	8,90	14,02	3,02	5,81

Представленные показатели темпов роста показывают, что прирост судака в возрасте 1+, 2+, 3+ составлял, в среднем, 17,78 см в год, а в возрасте 4+, 5+, 6+, – в среднем, 7,62 см.

Таким образом, исследование судака ААСО показало, что доля годовалых рыб составила 18,86%, двухлетних – 44%, трехлетних – 11,43%, четырехлетних – 19,43%, пятилетних и шестилетних – 2,86 % и 3,43% соответственно. В контрольных уловах преобладают годовалые, двух- и четырехлетние рыбы.

### Библиографический список

1. Салихов Т. В., Камилов Б. Г., Атаджанов А. К. Рыбы Узбекистана (определитель). Ташкент : Chinog ENK, 2001. 152 с.
2. Камилов Г. К. Рыбы и биологические основы рыбохозяйственного освоения водохранилищ Узбекистана. Ташкент : ФАН, 1973. 234 с.
3. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М. : Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
4. Чугунова Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М. : Изд-во АН СССР, 1959. 165 с.

## БИОРАЗНООБРАЗИЕ МИКРОМАМАЛИЙ г. КИРОВА И СЕЛИТЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*М. А. Сенникова, О. В. Масленикова*

*Вятский государственный агротехнологический университет,  
sennikova2000@yandex.ru, olgamaslen@yandex.ru*

В статье рассматривается биоразнообразие мелких млекопитающих. В г. Кирове и на селитебных территориях, подвергающихся различному антропогенному воздействию, выявлено 12 видов микромаммалий. Наиболее обычными из них являются домовая мышь, полёвка обыкновенная и бурозубка обыкновенная. У микромаммалий обнаружено 9 видов паразитических червей.

Ключевые слова: мелкие млекопитающие, микромаммалии, грызуны, насекомоядные, паразитические черви.

Процесс урбанизации является неотъемлемой чертой развития общества и природы. В городах формируются специфические условия для обитания животных, в том числе грызунов и насекомоядных. Это, прежде всего, выражается в создании своеобразного микроклимата в условиях города, по сравнению с естественной природной средой. Наибольшим образом климатические особенности конкретного сезона влияют на динамику численности мелких млекопитающих весной и в начале лета. Города и посёлки городского типа являются для многих грызунов и насекомоядных источником убежищ и пищи [1].

Мониторинг состояния численности и определение границ распространения этих зверьков является необходимым в целях предупреждения возможных вспышек тех или иных инфекций в разных городах [2]. Грызуны являются носителями целого ряда инфекционных болезней: чума, псевдотуберкулёз, туляремия, бруцеллёз, листериоз, сибирская язва, лептоспироз, клещевой спирохетоз, крысиный сыпной тиф, ку-лихорадка, бешенство, геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, крымская геморрагическая лихорадка, клещевой энцефалит, боррелиоз и др. [3].

Объектом исследования являлись мелкие млекопитающие. Использованы два основных метода вылова микромаммалий. Первый метод включает в себя закладывание пятнадцатиметровой траншеи шириной и глубиной 25 см и вкапывание в них, на расстоянии 10 м друг от друга, конусов высотой около 50 см (радиус цилиндра должен быть равен ширине канавки). На дне цилиндра пробивали несколько отверстий для стока дождевой воды, чтобы зверьки не тонули в ней [4, 5].

Второй метод – устанавливаются плашки Геро. В качестве приманки используется подсушенный чёрный хлеб, пропитанный растительным маслом [4, 5]. Плашки использовались, как правило, в жилых и подсобных помещениях.

У всех пойманных зверьков снимались морфометрические показатели: масса тела, длина тела, длина хвоста без концевых волос, длина задней ступни без когтей, высота уха. Определялся вид мелких млекопитающих по определителю [6]. Далее проводилось вскрытие с целью определения пола, плодовитости самок, а также проводилось полное гельминтологическое вскрытие мелких млекопитающих на обнаружение гельминтов, кроме того, все отловленные мелкие млекопитающие были исследованы на личинок трихинелл [7].

Всего было зарегистрировано в г. Кирове и на селитебных территориях 12 видов мелких млекопитающих (табл.). Пойманные зверьки относятся к трем отрядам: грызуны – Rodentia (7 видов), насекомоядные – Eulipotyphla (4 вида) и хищные Carnivora (1 вид). Всего отловлено 151 особь. Из всех отловленных зверьков, к отряду Rodentia принадлежит 115 зверьков, а к отряду Eulipotyphla 35 особей и 1 зверек из отряда Carnivora.

Таблица

**Видовой состав грызунов г. Кирова и селитебных территорий**

№	Вид с латинским названием	Количество (n)
Грызуны (Rodentia)		
1.	Домовая мышь ( <i>Mus musculus</i> L., 1758)	84
2.	Полёвка обыкновенная ( <i>Microtus arvalis</i> Pall.)	14
3.	Полёвка рыжая ( <i>Clethrionomys glareolus</i> Schreber, 1780)	3
4.	Серая крыса ( <i>Rattus norvegicus</i> Berkenhout, 1769)	3
5.	Полевая мышь ( <i>Apodemus agrarius</i> Pallas, 1771)	2
6.	Лесная мышь ( <i>Apodemus uralensis</i> Pallas, 1811)	8
7.	Водяная полёвка ( <i>Arvicola terrestris</i> L., 1758)	1
Насекомоядные (Eulipotyphla)		
8.	Бурозубка обыкновенная ( <i>Sorex araneus</i> L., 1758)	12
9.	Бурозубка средняя ( <i>Sorex caecutiens</i> Laxmann, 1788)	6
10.	Бурозубка малая ( <i>Sorex minutus</i> L., 1766)	5
11.	Крот обыкновенный ( <i>Talpa europaea</i> L., 1758)	12
Хищные (Carnivora)		
12.	Ласка обыкновенная ( <i>Mustela nivalis</i> L.)	1
Всего:		151

Всего из отряда Rodentia было зарегистрировано 7 видов: домовая мышь – *Mus musculus*, полёвка обыкновенная – *Microtus arvalis*, полёвка ры-



жая – *Clethrionomys glareolus*, серая крыса – *Rattus norvegicus*, полевая мышь – *Apodemus agrarius*, лесная мышь – *Apodemus uralensis*, водяная полёвка – *Arvicola terrestris*. Доминирующий вид – домовая мышь (73%). Далее следуют полёвка обыкновенная – 12%, лесная мышь – 7%, 3% составила серая крыса и по 2% – полёвка рыжая и полевая мышь, 1% – водяная полёвка.

Основную долю отловленных мелких млекопитающих составил род домовых мышей (*Mus*).

Насекомоядных отловлено 4 вида: бурозубка обыкновенная – *Sorex araneus*, бурозубка средняя – *Sorex caecutiens*, бурозубка малая – *Sorex minutus*, крот обыкновенный – *Talpa europaea* и 1 вид из отряда хищные: ласка обыкновенная – *Mustela nivalis*. Доминирующими видами являются бурозубка обыкновенная и крот обыкновенный – по 34%. Средняя и малая бурозубки составили 17% и 15% соответственно.

Таким образом, доминирующим видом мелких млекопитающих г. Кирова и селитебных территорий выявлена домовая мышь, далее распределение видов выглядит следующим образом: полёвка обыкновенная, бурозубка обыкновенная, крот обыкновенный, лесная мышь. Остальные виды были немногочисленны.

Домовая мышь наиболее экологически пластичный вид, которая размножается с большой скоростью и легко приспосабливается к изменяющимся условиям существования. Распространена она в самых разнообразных местообитаниях – от природных биотопов до квартир в многоэтажных домах. Основные местообитания домовой мыши – постройки человека различного назначения, где она живет круглый год. Представители этого вида встречаются также в огородах, садах, полях и др. В теплое время года зверьки выселяются из построек человека, но зимой стремятся в населенные пункты.

Домовые мыши отлавливались нами с сентября по январь, причём в сентябре и октябре преобладали молодые особи, а в ноябре и декабре – взрослые. При благоприятных условиях (в отапливаемых помещениях) домовые мыши могут размножаться круглый год.

Из 84 отловленных домовых мышей было 44 самки (52,4%) и 40 самцов (47,6%). У трех самок обнаружены эмбрионы от 3 до 9. У одной – 3 крупных эмбриона массой 2,9 грамма, у другой – 9 более мелких эмбриона массой 1,0±0,01 г. Самка с девятью эмбрионами имела высокую упитанность и была отловлена 24.10.2024 в пятиэтажном старом доме с деревянными перекрытиями.

У исследованных мелких млекопитающих нами зарегистрировано 9 видов паразитических червей, относящихся к 2 классам: Cestoda, Nematoda с преобладанием нематод. Личинок трихинелл у микромаммалий нами не выявлено. По 3 вида паразитических червей зарегистрировано у серой крысы, домовой мыши и полёвки обыкновенной, у лесной мыши и рыжей полёвки по 1 виду.

Таким образом, в г. Кирове и на селитебных территориях зарегистрировано 12 видов мелких млекопитающих. Доминирующим видом является до-

мовая мышь, субдоминантами выступают полевка обыкновенная, крот обыкновенный и бурозубка обыкновенная. У микромаммалий зарегистрировано 9 видов гельминтов, относящихся к 2 классам – Cestoda и Nematoda.

#### Библиографический список

1. Гапонов С. П., Транквилевский Д. В. Динамика численности мышевидных грызунов в Воронеже и его окрестностях в 2001–2007 гг. // Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. 2009. № 1. С. 67–72.
2. Мелкие млекопитающие города – резервуар антропопатогенных возбудителей. Особенности распределения мелких млекопитающих на территории Нижнего Новгорода / А. И. Речкин, Г. Н. Ладыгина, А. И. Дмитриев, Ж. А. Заморева // Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. Серия : Биология. 2001. № 1. С. 49–51.
3. Кучерук В. В. Избранные труды. М. : КМК, 2006. 528 с.
4. Карасева Е. В., Телицына А. Ю., Жигальских О. А. Методы изучения грызунов в полевых условиях. М. : ЛКИ, 2008. 416 с.
5. Попов В. А. О стандартизации методики учета мелких млекопитающих и мышевидных грызунов // Фауна и экология грызунов. Вып. 8. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1967. С. 197–202.
6. Наземные звери России. Справочник-определитель / И. Я Павлинов, С. В. Крускоп, А. А. Варшавский, А. В. Борисенко. М. : изд-во КМК, 2002. 298 с.
7. Ивашкин В. М., Контримавичус В. Л., Назарова Н. С. Методы сбора и изучения гельминтов наземных млекопитающих. М. : Наука, 1971. 121 с.

#### ПОКАЗАТЕЛИ КОРМЛЕНИЯ И РОСТА ТОЛСТОЛОБИКА (*HYPOPTHALMICHTHYS MOLITRIX*) СПИРУЛИНОЙ (*SPIRULINA PLATENSIS*)

*К. С. Туйчиев*<sup>1</sup>, *Е. Н. Гинатуллина*<sup>1</sup>, *Ж. Н. Номонов*<sup>1</sup>,  
*Н. К. Атабаева*<sup>2</sup>, *Ш. А. Хужамов*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт рыбоводства,  
Республика Узбекистан, *touchiyevkamoliddin4@gmail.com*,  
*E-ginatullina@yandex.ru*, *jnomonov656@gmail.com*,

<sup>2</sup> Национальный университет Узбекистана имени М. Улугбека,  
Республика Узбекистан, *atabaeva\_nargis@inbox.ru*,

<sup>3</sup> Узбекско-финский педагогический институт,  
Республика Узбекистан, *xujatovshaxboz479@gmail.com*

В данной работе представлены результаты исследования по изучению спирулины в качестве корма для толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*). В качестве эксперимента определяли показатели роста и питания толстолобика в суспензии спирулины. Прирост массы при кормлении 100% спирулиной составил 66,67%, среднесуточный прирост составил 4,28±0,015 г.

Ключевые слова: выживаемость, скорость роста, спирулина, толстолобик, *Hypophthalmichthys molitrix*.

Толстолобик – *Hypophthalmichthys molitrix*, или белый толстолобик, – важный объект аквакультуры благодаря своей способности фильтровать фитопланктон и быстро расти. Это делает его популярным для разведения как в коммерческих хозяйствах, так и в экологических целях для очистки водоемов [1].

Поскольку одним из условий содержания крупной и здоровой рыбы на ферме является правильное питание, приготовление и разведение живых кормов очень важно. Разные виды микроводорослей обладают разной степенью поглощения, и некоторые из них вредны для рыб. Несмотря на высокую важность микроводорослей как основных продуцентов водных экосистем, их чрезмерный рост вызывает проблемы с такими качественными показателями воды, как цвет, запах, вкус, растворенный кислород и мутность воды. Таким образом, контроль биомассы водорослей является одной из основных целей управления в любом источнике воды. Использование толстолобика является одним из методов биологического контроля биомассы водорослей и управления качеством воды [2].

В настоящее время недостаточно информации об использовании водоросли спирулины в качестве корма для рыб толстолобика в Узбекистане. Соответственно, наши исследования основных показателей питания толстолобика спирулиной и особенности его роста являются актуальными.

Опытные участки и выращивание водорослей. Наши исследования проводились в научно-исследовательском институте рыбоводства в весенне-летний период 2024 г., в лаборатории «Корма и кормление рыб». Исследования проводили в стеклопластиковых бассейнах размерами 2,00×2,20×0,25 м (рис.). В качестве эксперимента определяли показатели роста и питания толстолобика в суспензии спирулины. Температура воды составляла  $25 \pm 0,81$  °С, рН = 8, содержание  $O_2$  – 5,2 мг/л. Для предотвращения погружения суспензии в воду использовался небольшой компрессор (*SOBO SB-666A*).



Рис. Суспензия спирулины (А) и экспериментальные бассейны (Б)

В опытах использовали спирулину – *Spirulina platensis* из института ионно-плазменных и лазерных технологий Узбекистана. Суспензию спирулины выращивали в стеклянных колбах (13 л) в течение 15 суток при температуре  $28 \pm 2$  °С с фотопериодом 12/12 ч на модифицированной среде Журдана, содержащей 8,0 г/л  $NaHCO_3$  [3]. Все пробы продували (барботировали) атмосферным воздухом в течение светового фотопериода, используя

воздушные компрессоры для аквариумов SOBO SB-666 А (Китай) и стеклянные трубки. В качестве источника света использовалась лампы LED Tube 600mm 8w с обеих сторон колбы.

Суспензию спирулины культивировали в 20-литровых контейнерах и высаживали в 200-литровые бассейны еврокубов с толстолобиками. Перед высадкой, для нормализации pH, биомассу водорослей отделяли с помощью сита с ячейей 25 микрон.

Температуру воды измеряли ежедневно с 10:00 до 12:00, параметры воды регистрировали каждые 2 недели (табл. 1). Концентрация растворенного кислорода, pH воды определяли с помощью вспомогательного набора для проверки качества воды (модель Pro1020). Жесткость воды проверяли по ГОСТ 4151-72. Полученные результаты были рассчитаны в Excel.

Таблица 1

### Гидрохимические показатели в бассейне

Показатели	Вода в бассейне	Артезианская вода
Температура, °С	26	19,8
pH	8	6,5
Содержание кислорода, мг/л	5,2	1,5
Аммонийный азот, мг/л	0,8	0,67
Аммиачный азот, мг/л	0,04	0,03
Нитриты, мг/л	0,20	0,04
Жесткость воды, мг-экв/л	10,7	13,02

Суспензию спирулины пропускали через сито и сушили в сушильном шкафу при температуре 60 °С. Химический состав полученной биомассы определяли на анализаторе SupNIR 2700 (табл. 2).

Таблица 2

### Химический состав спирулины (%)

Показатели	Среднее значение
Влажность	4,66±0,24
Сырой белок	49,25±3,10
Сырой жир	1,75±0,69
Зола	11,03±6,14
Клетчатка	0,93±0,005

Экспериментальное разведение рыб. В апреле только что вылупившихся мальков толстолобика выпускали в бассейн с зоопланктоном и содержали в течение 2 месяцев до кормления фитопланктоном. В начале исследования рыбу взвешивали и разделяли на бассейны, в которые помещали суспензию спирулины (оптическая плотность – 0,73).

Тестирование в бассейнах. В конце эксперимента воду в рыбных бассейнах удаляли и рыб взвешивали, измеряли длину, рассчитывали скорость роста и процент выживаемости толстолобика [4–6].

Среднесуточную скорость роста рыб старших возрастных групп вычисляли по формуле 1:

$$A = [(m_k / m_0)^{1/t} - 1] \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $m_k$  и  $m_0$  – масса рыбы в конце и в начале опыта,  $t$  – продолжительность опыта в сутках.

Абсолютный прирост вычисляли по формуле 2:

$$P_{аб} = m_k - m_0, \quad (2)$$

где  $m_k$  – конечная масса молоди,  $m_0$  – начальная масса молоди.

Среднесуточный прирост вычисляли по формуле 3:

$$P_{ср.сут.} = (m_k - m_0)/t, \quad (3)$$

где  $m_k$  – конечная масса молоди  $m_0$  – начальная масса молоди,  $t$  – продолжительность опыта в сутках.

Кроме того, для определения скорости роста рыбы вычисляли коэффициент массонакопления (формула 4):

$$K_M = (m_k^{1/3} - m_0^{1/3}) \cdot 3 / t, \quad (4)$$

где  $K_M$  – общий продукционный коэффициент скорости роста;  $m_k$  и  $m_0$  – конечная и начальная масса рыбы,  $t$  – время выращивания в сутках [7, 8].

Следует отметить, что при массе толстолобика от 118 до 1150 г, он демонстрирует более высокую степень отбора фитопланктона, органического детрита и бактерий, чем зоопланктона [9]. Толстолобик способен выбирать фитопланктон размером 8–20 мкм, а также может выделять и поедать фрагменты размером всего 4,5–10 мкм. В нашем исследовании были проведены эксперименты по питанию и росту толстолобика в суспензиях спирулины. Нами было выявлено, что толстолобик растет лучше ( $4,33 \pm 0,002$ ) в бассейнах содержащих спирулиновые водоросли. По нашему мнению, благодаря размеру клеток (33–55 мкм) этих водорослей они хорошо поедаются толстолобиком.

Действительно, автор [1] в своих исследованиях обнаружил, что в кишечнике мальков толстолобика присутствуют группы водорослей *Cyanobacteria*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Euglenophyta* и *Pyrrophyta*. Соответственно, в бассейнах со спирулиной были получены результаты, представленные в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

### Скорость роста рыбы

Дата	Общий вес рыбы, г	Выживаемость, %	Средняя масса, $M \pm m$ , г
03.07.2024	$10,01 \pm 0,002$	100	$0,22 \pm 0,004$
31.07.2024	$129 \pm 0,03$	91,48	$4,3 \pm 0,012$
21.08.2024	$130 \pm 0,02$	66,67	$4,33 \pm 0,02$

Таблица 4

### Рыбоводно-биологические показатели выращивания толстолобика

Показатели	Средние значения
Длина начальная, см	$1,15 \pm 0,21$
Длина конечная, см	$3,4 \pm 0,14$
Абсолютный прирост, г	$119,99 \pm 0,7$
Среднесуточный прирост, г	$4,28 \pm 0,015$
Коэффициент массонакопления, ед.	$0,31 \pm 0,057$
Среднесуточную скорость роста рыб, %	$9,59 \pm 0,002$

В работах зарубежных учёных показана выживаемость 94,5% за счет присутствия в водоемах диатомовых водорослей (70%) и хлореллы (30%) [6]. Однако в лабораторных условиях, 100% корм со спирулиной показал хорошие результаты во всех экспериментальных группах [10].

Следует отметить, что толстолобик обычно хорошо растет в крупных водоемах [10]. Размер спирулины составляет 33–55 мкм, и она широко используется в качестве живого корма для мальков толстолобика и промысловых рыб в нашей республике.

Наши исследования показали, что использование *Spirulina platensis* в качестве корма для мальков толстолобика значительно улучшает их рост и выживаемость (66,67%). Также было отмечено, что благодаря оптимальному размеру клеток спирулины (33–55 мкм), этот вид водорослей лучше усваивается толстолобиком, что способствует более высокому уровню роста и улучшению общего состояния мальков. Таким образом, *Spirulina platensis* является эффективной кормовой добавкой для выращивания толстолобика, обеспечивая высокие показатели роста и выживаемости.

#### Библиографический список

1. Миронов А. В. Рыбоводство в пресноводных водоемах. М. : ВНИИРХ, 2017. 256 с.
2. Farhangi M. The comparison of effects fertilizer in fresh water and marine ponds // The Second National Conference on Fisheries Sciences and Aquatic Organisms. Lahijan : Islamic Azad University, 2011. P. 10–21.
3. Выращивание спирулины в Узбекистане с целью ее использования в рыбоводстве / К. С. Туйчиев, Е. Н. Гинатуллина, Н. К. Атабаева и др. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Кн. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2024. С. 191–194.
4. Brown M. E. Experimental studies on growth // The Physiology of fishes / Ed. M. E. Brown. Vol. 1. Metabolism. New York : Academic Press, 1957. P. 361–400.
5. Effects of organic fertilizer and supplementary feeds on growth performance of silver carp (*Hypophthalmichthys Molitrix*) and bata (*Cirrhinus Reba*) fry in nursery ponds / I. Hossain, S. Ahmed, S. Reza, et al. // International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences. 2013. Vol. 1. P. 117–123.
6. Study on growth of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fed by diatoma microalgae in pond / F. S. Tahami, R. Safari, A. Keyhan Sani, R. Rahmati. DOI: 10.31579/2690-8808/161 // Journal of Clinical Case Reports and Studies. 2023. Vol. 4. No. 2. P. 1–5.
7. Баранов Ф. И. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Изв. отдела рыбоводства и научно-промысловых исследований. 1918. Т. 1, № 2. С. 84–128.
8. Использование протеин-хитинового концентрата личинок черной львинки *Hermetia illucens* в рационе всеядных рыб на примере красной тиляпии / Н. А. Ушакова, С. В. Пономарев, Ю. В. Федоровых, А. И. Бастраков. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-0-3-57-62 // Известия Уфимского научного центра РАН. 2018. № 3. С. 57–62.
9. Silver carp – Natural food and feeding habits [Internet recourse] – URL: <https://www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/silver-carp/natural-food-and-feeding-habits/en/> (accessed: 13.09.2024).
10. Toyub M. A., Miah M. I., Habib M. A. B. Growth performance of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Barodes gonionotus* fingerlings by feeding microalgae cultured on fertilizer factory effluent // Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research. 2010. Vol. 45. No. 4. P. 315–322.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

БИОДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И  
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

Материалы

XXII Всероссийской научно-практической конференции

с международным участием

18–19 ноября 2024 г.

Компьютерная верстка: Е. М. Кардакова

Дизайн обложки: Ю. Д. Иванова

Вятский государственный университет,

610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

Подписано к печати 25.12.2024. Формат 60 x 84/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Усл. печ. л. 20,01. Тираж 30 экз. Заказ № 96.

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](mailto:raduga-press@list.ru)